

и неоднородность твердости (в местах перекрытия точек сварки в результате отпуска твердость снижается);

– наличие пор в покрытии по причине быстрого перехода металла из жидкого состояния в твердое.

### 3.5.11. Импульсно-дуговая наплавка

*Импульсно-дуговая наплавка* представляет собой разновидность электродуговой наплавки. В этом случае на основной сварочный ток непрерывно горящей дуги с помощью специального генератора налагают кратковременные импульсы тока, которые ускоряют перенос капель металла и уменьшают их размер. Наплавку ведут на прямой и обратной полярностях.

Наплавляют наружные цилиндрические поверхности с износом до 0,5 мм и с ограничениями по температуре нагрева детали. Применяют этот метод при восстановлении гладких валов и осей на установках УММ-6, ОКС-27415 и др.

### 3.5.12. Плазменная наплавка

*Плазменная наплавка* – это процесс нанесения покрытий плазменной струей, когда деталь включена в цепь тока нагрузки. В этом случае с помощью плазменной струи нагреваются поверхность восстанавливаемой детали и наносимый материал. Материал перемещается плазменной струей. Температура ее может превышать 20 000 К.

При плазменной наплавке в отличие от аргонодуговой наплавки электрическая дуга сжимается стенками водоохлаждаемого сопла. Газ, продуваемый сквозь эту дугу, приобретает свойства плазмы – становится ионизированным и электропроводящим. Слой газа, соприкасающийся со стенками сопла, интенсивно охлаждается, утрачивает электропроводность и выполняет функции электрической и тепловой изоляции, что приводит к уменьшению диаметра плазменной струи, который составляет 0,7 диаметра сопла.

В качестве плазмообразующего газа чаще применяется аргон (табл. 3.55). Наплавка с заменой аргона воздухом (до 90 %) значительно снижает стоимость восстановления деталей. Для плазменной наплавки в воздушной среде разработаны порошковые сплавы на железной основе, в состав которых входят сильные раскислители и нитридообразующие элементы.

### 3.55. Состав плазмообразующих газов

Наименование газа	Содержание основного вещества, мас. %
<b>Азот газообразный технический повышенной чистоты в баллонах:</b>	
– первый сорт	99,99
– второй сорт	99,95
<b>Аргон газообразный:</b>	
– высший сорт	99,992
– первый сорт	99,987
<b>Гелий газообразный:</b>	
– особой чистоты	99,995
– высокой чистоты	99,985
– технический	99,8
<b>Смесь аргон-азотная (аргон технический)</b>	86...88 % Ar, 12...14 % N <sub>2</sub>

Плотность энергии, передаваемой нагреваемой поверхности плазменной струей на один-два порядка больше, чем от открытой несжатой дуги, и приближается к плотности энергии, передаваемой от электронно-лучевых и лазерных источников тепла. При такой плотности энергии скорость ввода тепла в деталь больше скорости теплопередачи в ее массу, поэтому поверхность детали быстро расплавляется. Процесс протекает с малым проплавлением и большим термическим КПД.

Плазменную струю получают с помощью плазмотронов, которые по различным классификационным признакам образуют следующие группы:

- по способу взаимодействия дугового разряда с изделием (прямого действия, косвенного, комбинированного);
- по способу сжатия дугового разряда (стенками канала сопла, газовым потоком и комбинированный);
- по числу дуг (одно- и многодуговые);
- по составу плазмообразующих газов (работающие на инертных газах, нейтральных и кислородсодержащих);
- по способу подачи плазмообразующего газа (с тангенциальной и аксиальной подачей);
- по виду сварочного тока (переменного и постоянного прямой и обратной полярности);

– по способу дополнительного сжатия дуги (с системой каналов, выходящих на торец сопловой части; с системой каналов, выходящих внутрь канала сопла и комбинированной системой каналов);

– по способу подачи наносимого материала (радиальной боковой подачей, осевой подачей через вольфрамовый электрод);

– по величине тока (для микроплазменной наплавки – ток 0,1...15 А, для плазменной наплавки – ток 10...100 А и для наплавки с глубоким проплавлением – ток > 100 А).

Наибольшее применение нашли плазмотроны: прямого действия, с комбинированным способом сжатия дугового разряда, однодуговые с тангенциальной подачей инертного газа, работающие на постоянном токе прямой полярности и с радиальной подачей материала. У плазмотрона различают основную дугу – между анодом и деталью и вспомогательную – между анодом и соплом. Токи обеих дуг регулируются балластными реостатами, включенными в соответствующие цепи.

Самые теплонапряженные детали плазмотрона – это электрод и сопло. Материал электрода определяется составом плазмообразующей среды. В плазмотронах, работающих с применением инертных и нейтральных газов (аргон, азот, гелий, смеси: аргон и азот, аргон и водород, азот и водород), используют электроды из вольфрама. В плазмотронах, работающих в кислородсодержащих средах, применяют катоды из гафния и циркония. Водоохлаждаемое сопло выполнено из меди. Сопло, рассчитанное на ток силой 260...310 А, имеет диаметр отверстия для выхода плазмы 3...4 мм. Диаметр насадки для подачи защитного газа 10...13 мм.

Преимущества плазменной наплавки по сравнению с другими способами нанесения покрытий сводятся к следующему. Гладкая и ровная поверхность покрытий позволяет оставлять припуск на обработку 0,4...0,9 мм. Малая глубина проплавления (0,3...3,5 мм) и небольшая зона термического влияния (3...6 мм) обуславливают долю основного металла в покрытии ≤ 5%. Малое вложение тепла в обрабатываемую деталь обеспечивает небольшие деформации и термические воздействия на структуру основы. При восстановлении обеспечивается высокая износостойкость наплавленных поверхностей. Наблюдается снижение усталостной прочности деталей на 10...15%, что намного меньше, чем при использовании некоторых других видов наплавки.

Плазменная наплавка нашла применение при восстановлении ответственных деталей, к которым, например, относятся: коленчатые, кулачковые и распределительные валы, валы турбокомпрессоров, оси, крестовины карданных шарниров, направляющие оборудования, щеки и седла задвижек, шнеки экструдеров и др. Область применения способа – нане-

сение тонкослойных покрытий на нагруженные детали с малым износом. Плазменная наплавка тонкослойных покрытий составляет конкуренцию процессам нанесения гальванических покрытий.

При плазменной наплавке получают покрытия толщиной 0,2...6,5 мм и шириной 1,2...45 мм. Если наносится легкоплавкий материал, то возможно нанесение покрытия с проплавлением очень тонких поверхностных слоев без оплавления поверхности.

Термический КПД наплавки в 2...3 раза выше, чем при электродуговом процессе. Производительность процесса 0,4...5,5 кг/ч. Производительность плазменно-порошковой наплавки аустенитных нержавеющей сталей не уступает производительности электродуговой наплавки.

Различают наплавку по винтовой линии с непрерывной подачей плазмотрона и широкослойную наплавку с его гармоническими колебаниями относительно оси вращающейся детали. Для нанесения покрытий толщиной > 4 мм применяют многослойную наплавку.

Материалы для плазменной наплавки весьма разнообразны, включая железоуглеродистые высоколегированные сплавы, колмонои, стеллиты, инструментальные и быстрорежущие стали. Применяют прутки, проволоку, порошки и комбинации материалов.

При наплавке седел клапанов (в том числе и при изготовлении двигателей) Россия, Великобритания, Германия, США и Япония применяют хромокобальтовые сплавы – стеллиты, которые обладают более высокой жаростойкостью при температуре 600...650 °С, чем самофлюсующиеся хромоникелевые сплавы, легированные бором и кремнием.

Произошел переход с индукционной наплавки и наплавки намораживанием этого материала на плазменную наплавку. Это связано с тем, что железо является вредной примесью в наплавочных сплавах Co–Cr–W–C. Разбавление наплавленного металла железом приводит к снижению жаропрочности и коррозионной стойкости покрытий. При этом твердость сплавов при комнатной температуре остается практически постоянной, но при высоких температурах она резко снижается. Скорость коррозии в растворах соляной и азотной кислот у стеллитов с добавкой железа увеличивается примерно в 10 раз.

Следует отметить, что для наплавки фасок клапанов используют также свободную аргоновую дугу, ацетиленокислородное пламя или индукционную наплавку кольцами из сплава ВЗК (аналог Stellite 6, выпускаемого фирмой «Deloro Stellite», США). Коэффициент термического расширения последнего сплава близок к соответствующему показателю клапанной стали 55Х20Г9АН4, а горячая твердость имеет высокое значение. Попытки намораживания литых колец из сплава ВЗК на клапаны

двигателя ВА3-2112 положительных результатов не дали в связи с сильным перегревом металла. Достаточно большое различие в температурах плавления хромоникелевых сплавов (980...1080 °С) и хромокобальтовых сплавов (1250...1400 °С) является причиной повышенного нагрева и главным препятствием применению индукционной наплавки кобальтовых сплавов на малогабаритные детали, подверженные тепловым и механическим нагрузкам. Плазменная наплавка позволяет уменьшить в этом случае расход наплавочного материала в 1,5...2,0 раза.

Прочные и вязкие покрытия получают из сталей, легированных ванадием. Ванадий обладает высоким сродством к углероду; его карбиды сохраняют стехиометрическое строение и высокую твердость в процессе наплавки. Нерасплавленные частицы карбида ванадия стимулируют образование из расплава мелкозернистой структуры. Высокая твердость карбидов ванадия (2900...2940 HV<sup>0,2</sup>) обеспечивает высокую износостойкость покрытия.

Хорошие результаты при восстановлении деталей плазменной наплавкой дает применение порошковых материалов. В этом случае:

- возможно изменение в широких пределах толщины покрытия (0,1...7 мм), скорости (0,5...25 м/мин) и производительности наплавки (0,6...15 кг/ч), ширины шва (1...45 мм) и состава наплавляемого металла за счет изменения применяемых материалов и режимов процесса;
- обеспечивается простота управления вводом тепла в материал детали и глубиной его проплавления независимо от подачи материала;
- облегчается выбор присадочного материала для получения покрытий (в том числе композиционных) различных составов и структур с заданными свойствами путем смешения разных порошков;
- достигается минимальный припуск на механическую обработку покрытий;
- возможна автоматизация процесса;
- обеспечивается наиболее продолжительная непрерывная работа оборудования для плазменно-порошковой наплавки по сравнению с аргодуговой и газопламенной наплавкой.

Широко применяют порошки самофлюсующихся сплавов на основе никеля (ПР-Н73Х16С3Р3 или ПР-Н70Х17С4Р4) с температурой плавления 1000...1100 °С. В этом случае создаются локальные участки с металлургической связью покрытия с основой, а перемешивание наплавленного металла с основным минимальное. Чтобы увеличить термический КПД наплавки и снизить тепловложения в деталь, наплавку ведут с малым шагом подачи при большой скорости наплавки. В качестве материала для наплавки трущихся поверхностей рекомендован порошковый ма-

териал Х5, имеющий состав по ТУ 348-90: 0,7 % С, 4,8...5,5 % Cr, 1,0...1,3 % V, 3,5...4,2 Мо, 0,9...1,2 % Mn, 0,6...0,8 % Si, 0,2...0,5 % Nb, 0,2...0,3 % В. Твердость покрытия 60...62 HRC. Порошковый материал ПР-Х4ГСР (ПР-Х4Г2Р4С2ФЮД) обеспечивает твердость покрытия 58...60 HRC.

Оптимальный размер частиц порошка 60...100 мкм. Лучше подавать присадочный порошок вдоль оси плазменной струи через отверстие анода, в этом случае и полностью расплавляются частицы размером 200...250 мкм, и создаются наилучшие условия для расплавления и формирования покрытия.

Высокое значение термического КПД (до 0,44) плазменной наплавки и уменьшение вложения тепла в материал детали достигаются при выполнении двух требований. Во-первых, частицы должны расплавляться в плазменной дуге и попадать на поверхность детали в жидком состоянии. Если частицы попадают на поверхность в твердом состоянии, то требуется время для их расплавления непосредственно в сварочной ванне, что приводит к увеличению ее размеров и, соответственно, глубины проплавления. Во-вторых, частицы должны перемещаться близко к оси плазменной струи. Движение частиц по периферии струи и вне ее приводит не только к потерям порошка, но и к дефектам покрытия. Этим объясняется наибольшая тепловая эффективность плазмотронов с аксиальным вводом порошка.

Температура наплавляемой поверхности детали изменяется под действием тепла предварительного подогрева, тепла от предыдущих валиков и тепла от валика, наносимого в рассматриваемый момент времени. Спустя некоторое время отвод тепла уравнивается с его подводом, что приводит к достижению материалом детали *теплового насыщения*. Повышение термического КПД плазменной наплавки и исключение перегрева детали обеспечиваются предварительным нагревом детали и ограничением мощности плазмотрона примерно на 40 % непосредственно в процессе наплавки. Это относится и к плазменно-порошковой наплавке, тепловая мощность которой может регулироваться независимо от расхода подаваемого порошка.

ВНИИТУВИД «Ремдеталь» разработал руководящие технические материалы по расчету режимов плазменной наплавки, которые включают рекомендации по наплавке с локальным подогревом и в режиме предельного теплового насыщения. Прежде, например, детали турбокомпрессоров, с диаметром шеек 15...20 мм наплавляли сплавами системы Ni-Cr-B-Si с температурой плавления 1000...1100 °С по механизму пайки без расплавления основы. Наплавка в режиме предельного теплового

насыщения с предварительным подогревом до 750 °С уменьшает вложение тепла в материал детали при наплавке стали на 30 %.

Для снижения термического влияния процесса наплавки на материал основы необходимы источники высококонцентрированного нагрева, позволяющие дозировать степень нагрева детали, что выполняется при плазменной наплавке.

Для плазменной наплавки перспективно применение смесей порошков. Используют, например, порошковые смеси железа, быстрорежущего сплава и нержавеющей стали: ПЖВ-1 (60...75 %), ПР-М6Ф3 (15...30 %) и ПР-Х18Н9 (10 %). Химический состав составляющих порошков следующий (мас. %): ПЖВ-1 (Fe – основа, 0,02 С, 0,08 Si, 0,10 Mn, 0,015 S, 0,015 P, 0,15 O); ПР-М6Ф3 (Fe – основа, 1,15 С, 4,2 Cr, 6,2 Mo, 2,5 V); ПР-Х18Н9 (Fe – основа, 0,2 С, 18 Cr, 9,5 Ni, максимум 0,8 Si).

Добавка в приведенную смесь 10 % нержавеющей стали ПР-Х18Н9, даже при малом содержании углерода согласно диаграмме Шеффлера обеспечивает мартенситную структуру сплава.

Режимы плазменно-порошковой наплавки типовых деталей при их восстановлении приведены в табл. 3.56. Оптимальные размеры и форма валиков наплавки получаются при значении погонной энергии 1600...1700 кДж/м.

Комбинированный способ плазменной наплавки за счет подачи в сварочную ванну порошка и токоведущей проволоки обеспечивает толщину наплавленного слоя до 4 мм за один ход и широкую возможность регулирования состава наплавленного металла и термического цикла наплавки, исключая отбеливание и трещины. Особенно важно применять способ для полностью изношенных чугунных коленчатых валов.

Источники питания постоянного тока для плазменной наплавки имеют напряжение холостого хода  $\geq 120$  В, силу тока до 600 А и крутопадающую внешнюю характеристику.

Для плазменной наплавки применяют установки УД-417 (разработка ИЭС им. Е.О. Патона), УПН-303 (завод «Электрик»), УН-602 и др. Можно применять установки плазменной сварки УПС-301, УПС-403, УПС-804, а также установки для плазменного напыления УМП-5, УМП-6, УПУ-3, УПУ-5 после изменения электрической схемы и замены плазмотрона. Для плазменно-порошковой наплавки валов диаметром до 50 мм ВНИИТУВИД «Ремдеталь» и ИЭС им. Е.О. Патона совместно разработали установку УД-609.09 с источником питания ВДУ-506. Производственный интерес представляет комплект КПН-01.23-215 Ремдеталь из поста 01.23-21 и установки плазменно-порошковой наплавки 01.05.185 с вращателем деталей.

3.56. Режимы плазменно-порошковой наплавки

Деталь	Материал	<i>I</i>	<i>U</i>	<i>g</i>	$\delta$
Распределительный вал 53-1006020	ПР-Н70Х17С4Р4	140...150	35...38	10	0,22
Шток гидроцилиндра 18-28-497	ПР-ХН80СР2	180	30	30	0,64
Ролик прокатного стана	ПГ-СР3	160...180	35...37	33	До 2
Распределительный вал 238-Г006020 (вершина кулачков)	ПГ-ФБХ6-2	140...150	30...35	8...12	
Коленчатый вал из чугуна ВЧ-50	Fe – основа, 1,6 % Mn, 0,4 % В, 2,4 % Ni, 1,2 % Cu, 0,6 % Mo	220...250	35	40...50	До 3
Лезвие ножевого барабана	ПР-10Р6М5	300		90	До 4
Заготовка концевых фрез		170	35	3,5	
Опытные образцы	Стеллит 6 с карбидами ванадия	100	26	60	До 2

Условные обозначения: *I* – сила тока, А; *U* – напряжение, В; *g* – расход порошка, г/мин;  $\delta$  – толщина покрытия, мм.

#### Технические характеристики установки 01.05.185 Ремдеталь

Производительность по расходу порошка, кг/ч.....0,72...2,4  
Толщина наплавленного покрытия, мм.....0,15...1,5  
Высота центров, мм.....200  
Расстояние между центрами, мм.....600

насыщения с предварительным подогревом до 750 °С уменьшает вложение тепла в материал детали при наплавке стали на 30 %.

Для снижения термического влияния процесса наплавки на материал основы необходимы источники высококонцентрированного нагрева, позволяющие дозировать степень нагрева детали, что выполняется при плазменной наплавке.

Для плазменной наплавки перспективно применение смесей порошков. Используют, например, порошковые смеси железа, быстрорежущего сплава и нержавеющей стали: ПЖВ-1 (60...75 %), ПР-М6Ф3 (15...30 %) и ПР-Х18Н9 (10 %). Химический состав составляющих порошков следующий (мас. %): ПЖВ-1 (Fe – основа, 0,02 С, 0,08 Si, 0,10 Mn, 0,015 S, 0,015 P, 0,15 O); ПР-М6Ф3 (Fe – основа, 1,15 С, 4,2 Cr, 6,2 Mo, 2,5 V); ПР-Х18Н9 (Fe – основа, 0,2 С, 18 Cr, 9,5 Ni, максимум 0,8 Si).

Добавка в приведенную смесь 10 % нержавеющей стали ПР-Х18Н9, даже при малом содержании углерода согласно диаграмме Шеффлера обеспечивает мартенситную структуру сплава.

Режимы плазменно-порошковой наплавки типовых деталей при их восстановлении приведены в табл. 3.56. Оптимальные размеры и форма валиков наплавки получаются при значении погонной энергии 1600...1700 кДж/м.

Комбинированный способ плазменной наплавки за счет подачи в сварочную ванну порошка и токоведущей проволоки обеспечивает толщину наплавленного слоя до 4 мм за один ход и широкую возможность регулирования состава наплавленного металла и термического цикла наплавки, исключая отбеливание и трещины. Особенно важно применять способ для полностью изношенных чугунных коленчатых валов.

Источники питания постоянного тока для плазменной наплавки имеют напряжение холостого хода  $\geq 120$  В, силу тока до 600 А и крутопадающую внешнюю характеристику.

Для плазменной наплавки применяют установки УД-417 (разработка ИЭС им. Е.О. Патона), УПН-303 (завод «Электрик»), УН-602 и др. Можно применять установки плазменной сварки УПС-301, УПС-403, УПС-804, а также установки для плазменного напыления УМП-5, УМП-6, УПУ-3, УПУ-5 после изменения электрической схемы и замены плазмотрона. Для плазменно-порошковой наплавки валов диаметром до 50 мм ВНИИТУВИД «Ремдеталь» и ИЭС им. Е.О. Патона совместно разработали установку УД-609.09 с источником питания ВДУ-506. Производственный интерес представляет комплект КПН-01.23-215 Ремдеталь из поста 01.23-21 и установки плазменно-порошковой наплавки 01.05.185 с вращателем деталей.

3.56. Режимы плазменно-порошковой наплавки

Деталь	Материал	<i>I</i>	<i>U</i>	<i>g</i>	$\delta$
Распределительный вал 53-1006020	ПР-Н70Х17С4Р4	140...150	35...38	10	0,22
Шток гидроцилиндра 18-28-497	ПР-ХН80СР2	180	30	30	0,64
Ролик прокатного стана	ПГ-СР3	160...180	35...37	33	До 2
Распределительный вал 238-Г006020 (вершина кулачков)	ПГ-ФБХ6-2	140...150	30...35	8...12	
Коленчатый вал из чугуна ВЧ-50	Fe – основа, 1,6 % Mn, 0,4 % В, 2,4 % Ni, 1,2 % Cu, 0,6 % Mo	220...250	35	40...50	До 3
Лезвие ножевого барабана	ПР-10Р6М5	300		90	До 4
Заготовка концевых фрез		170	35	3,5	
Опытные образцы	Стеллит 6 с карбидами ванадия	100	26	60	До 2

Условные обозначения: *I* – сила тока, А; *U* – напряжение, В; *g* – расход порошка, г/мин;  $\delta$  – толщина покрытия, мм.

#### Технические характеристики установки 01.05.185 Ремдеталь

Производительность по расходу порошка, кг/ч.....0,72...2,4  
Толщина наплавленного покрытия, мм.....0,15...1,5  
Высота центров, мм.....200  
Расстояние между центрами, мм.....600

Технологические расчеты плазменно-порошковой наплавки выполняются в такой последовательности.

Определяют диаметр детали до наплавки  $D_0$ , мм, после наплавки  $D_n$ , мм, и длину наплавленной шейки  $l$ , мм.

Толщина наплавленного слоя, мм,

$$z = \frac{D_n - D_0}{2}. \quad (3.23)$$

Число наплавленных слоев  $n_c$  при  $z \leq 2,5$  мм принимают равным единице, при  $2,5 < z \leq 5$  мм  $n_c = 2$  и при  $5 < z \leq 7,5$  мм  $n_c = 3$ .

Назначают расход наносимого порошка в зависимости от диаметра восстанавливаемой детали из отрезка значений  $Q_n = 0,3 \dots 3,0$  кг/ч. Меньшее значение расхода порошка соответствует наплавке детали диаметром 10 мм. Большее значение можно применять для деталей начиная с диаметра 50 мм.

Устанавливают силу плазмообразующего тока (в амперах) из зависимости

$$I = (80 \dots 100) Q_n. \quad (3.24)$$

Выбирают марку плазменной горелки по силе тока.

Для определения скорости наплавки необходимо провести некоторые промежуточные расчеты.

Масса  $m_b$  (кг) одного валика

$$m_b = \frac{\pi(D_n^2 - D_0^2)}{4 \cdot 10^6} S_n \rho, \quad (3.25)$$

где  $S_n$  – подача плазменной горелки, мм/об;  $\rho$  – плотность порошка, кг/м<sup>3</sup>.

Число валиков металла  $n_b$ , наносимых в одну минуту (мин<sup>-1</sup>), равно:

$$n_b = \frac{1000 v_n}{\pi D_0}, \quad (3.26)$$

где  $v_n$  – скорость наплавки, м/мин.

Масса металла, наплавленного в минуту (кг/мин), равна

$$\frac{Q_n}{60 k_n} = m_b n_b = \frac{(D_n^2 - D_0^2) S_n \rho v_n}{4 \cdot 10^6 D_0}, \quad (3.27)$$

где  $k_n$  – коэффициент использования порошка, доли единицы.

Скорость наплавки (м/мин)

$$v_n = \frac{10^6 Q_n D_0}{15 k_n (D_n^2 - D_0^2) S_n \rho}. \quad (3.28)$$

Основное время наплавки (мин)

$$t_0 = \frac{l}{S_n n}, \quad (3.29)$$

где  $n$  – частота вращения детали, мин<sup>-1</sup>.

Расход порошка  $m_d$  (кг/изделие) на восстанавливаемую деталь

$$m_d = \frac{Q_n t_0}{60 k_n}. \quad (3.30)$$

Приведенная методика технологических расчетов принципиально применима и для других процессов нанесения порошковых материалов.

### 3.5.13. Электромагнитная наплавка

Сущность электромагнитной наплавки заключается в нанесении покрытия из порошка на поверхность заготовки в магнитном поле при пропускании постоянного тока большой силы через зоны контакта частиц порошка между собой и с заготовкой.

Магнитное поле создают в зазоре между заготовкой и полюсным наконечником. Оно выстраивает мостики частиц ферромагнитного порошка между указанными элементами. На магнитное поле, в свою очередь, налагают электрическое поле путем приложения напряжения к заготовке и полюсному наконечнику. Восстановительное покрытие получается за счет нагрева частиц порошка в зазоре, их оплавления и закрепления на восстанавливаемой поверхности.

Процесс разработан и совершенствуется в Беларуси. В настоящее время плодотворные исследования ведет научная школа БАТУ (Минск) под руководством проф. Л.М. Кожуро.

Хорошую обрабатываемость и износостойкость имеют покрытия из высокохромистого чугуна С-300 эвтектического состава и из быстрорежущих сталей Р6М5К5 и Р6М5Ф3. Плотность мощности достигает значений  $5 \cdot 10^4 \dots 5 \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>.

Процесс характеризуется некоторой нестабильностью из-за хаотического формирования многоэлектродной системы и дискретного расплавления цепочек-электродов из зерен порошка в рабочем зазоре. Устранить этот недостаток можно подачей в рабочий зазор присадочного материала в виде непрерывно поступающего слоя пасты и последующим ее расплавлением изолированным неплавящимся электродом. Основой паст служат легированные порошки на железной основе (Fe-V, Fe-Ti, Fe-Cr, С-300, ПЖРВ2) зернистостью 150...300 мкм, которые перемешиваются со связующим (жидким стеклом) непосредственно перед наплавкой в объемном соотношении 2:1. Это позволяет повысить производительность за счет увеличения плотности тока до 3 А/мм<sup>2</sup>. Можно получить покрытие толщиной ~ 2 мм. Стабильность наплавки еще больше повышается, если ферромагнитный порошок подают в рабочую зону в потоке рабочей жидкости.

Устройства для реализации электромагнитной наплавки могут быть выполнены по одно- или двухполюсной схеме. Двухполюсная схема при прочих равных условиях дает более высокую стабильность и производительность наплавки, но однополюсная более универсальна. Наплавка в пульсирующем магнитном поле за счет вибрации полюсного наконечника исключает короткое замыкание в цепи разрядного тока, что позволяет использовать неимпульсные источники тока и стабилизировать процесс. Можно восстанавливать как цилиндрические, так и плоские поверхности.

Способ позволяет совмещать во времени процессы нанесения покрытия и поверхностного пластического деформирования. Совмещение обеспечивает получение сжимающих остаточных напряжений в наплавленном слое (усталостная прочность увеличивается в 1,2...1,4 раза), повышение его износостойкости в 1,8...2,7 раза, снижение коэффициента трения о контртело на 10...20 % как при работе со смазкой, так и без нее.

Электромагнитную наплавку можно совмещать со шлифованием абразивными частицами наносимого материала.

Область применения процесса – восстановление и упрочнение деталей с износом до 0,6 мм в мелко- и среднесерийном производствах с одновременным их поверхностным пластическим деформированием.

#### 3.5.14. Лазерная наплавка

*Лазерная наплавка* использует в качестве источника тепла концентрированный луч лазера.

С помощью лазеров выполняют: наплавку, оплавление напыленных поверхностей, поверхностное легирование, поверхностную закалку и

аморфизацию материала. Лазерный вид нагрева позволяет также устранять повреждения в виде трещин в высоконагруженных деталях с нерегулярным режимом нагружения, соединять детали в труднодоступных местах и керамические изделия. После лазерной обработки деталей с трещинами по режиму, обеспечивающему их частичное оплавление, с последующей нормализацией детали работа разрушения детали на 30 % выше по сравнению с образцами, имеющими начальные трещины.

Исключительная локальность воздействия луча за счет высокой плотности энергии определяет область применения лазерной наплавки. Она применяется при восстановлении ответственных деталей (гладких валов и деталей со сложным профилем) с местным износом. Способ наиболее эффективен при восстановлении поверхностей площадью 5...50 мм и величиной износа 0,1...1,0 мм, при этом расход порошков невелик, глубина термического влияния обычно не превышает 0,5...0,6 мм, а деформации детали отсутствуют. С помощью лазерной наплавки восстанавливают, например, кулачки распределительных валов, поверхности ротора турбокомпрессора, оси фильтров тонкой очистки масла, фаски клапанов.

В качестве оборудования чаще применяют установки ЛГН-702, УЛГН-502 и ЛОК-3М.

При лазерной наплавке реализуют следующие преимущества этого вида нагрева:

- большую скорость выполнения операции;
- широкие технологические возможности;
- высокое качество поверхности после обработки;
- возможность местной обработки;
- легкость автоматизации;
- обработку внутренних поверхностей больших и малых диаметров с помощью несложных оптических устройств.

Порошковая лазерная наплавка заключается в получении покрытий путем принудительной подачи порошка газовым потоком непосредственно в зону лазерного излучения. Частицы порошка начинают нагреваться в лазерном луче и расплавляются в поверхностном слое. Этот вид наплавки определяется следующими параметрами (интервалы оптимальных значений приведены в скобках):

- мощностью лазерного излучения (1...3 кВт);
- скоростью перемещения восстанавливаемой поверхности под облучением (16,7...33,3 мм/с);
- диаметром пятна нагрева, определяемым условиями фокусировки излучения (10...15 мм);

– массовым расходом порошка, подаваемого в зону обработки (2,1...3,2 кг/ч);

– углом ввода порошка (30...35°).

Увеличение мощности лазера приводит к увеличению количества расплавленного порошка, вследствие чего возрастает ширина и высота наплавленных валиков.

Повышение скорости обработки приводит к существенному уменьшению геометрических размеров наплавленных валиков. Это связано с тем, что с увеличением скорости обработки при постоянной мощности уменьшается удельная погонная энергия, а также массовый расход порошка.

Влияние степени фокусировки на геометрические параметры наплавленных валиков неоднозначно. С уменьшением степени фокусировки при постоянной мощности снижается плотность мощности излучения, что приводит к уменьшению количества расплавленного порошка и высоты расплавленного валика. Ширина же валика первоначально возрастает за счет увеличения размеров пятна излучения, а затем уменьшается.

Важным параметром является направление подачи порошка относительно движения детали при лазерной наплавке. Подача порошка в направлении движущейся детали обеспечивает хорошее формирование наплавленных валиков. Процесс формирования при такой схеме стабилен: колебания высоты и ширины валика незначительны (10...15 %). При подаче порошка навстречу движущейся поверхности детали газопорошковая струя отесняет жидкий металл от закристаллизовавшейся части, вследствие чего он несколько растекается по поверхности, увеличивая площадь ванны плавления. При этом растет количество частиц порошка, попадающих в расплав, и немного увеличиваются размеры валиков по сравнению со случаем подачи порошка вслед движущейся детали. Однако геометрические размеры отличаются нестабильностью, разброс высоты и ширины валика достигают 50...60 %.

Увеличение расстояния от переноса материала приводит к увеличению площади сечения струи порошка с одновременным снижением плотности потока частиц в месте обработки, вследствие чего ширина наплавленных валиков несколько увеличивается, в то время как их высота уменьшается.

Качество покрытий зависит также от толщины наплаваемого слоя и перекрытия валиков. Зависимость высоты наплавки от угла ввода порошка носит экстремальный характер.

Один из видов лазерной наплавки – это оплавление шликерных покрытий. Наплавка шликерных обмазок целесообразна при восстановле-

нии плоских поверхностей или локально изношенных участков деталей в труднодоступных местах. Наносимый материал готовят в виде коллоидной смеси порошка в растворе целлюлозы. В этом случае наплавочный материал используется полностью. Для получения качественных покрытий хорошего качества лазером киловаттной мощности толщина обмазки не должна превышать 1 мм, а для лазера мощностью 2,5 кВт быть  $\leq 2$  мм. Коэффициент перекрытия при этом должен составлять не менее половины диаметра рабочего пятна.

Твердость покрытий из самофлюсующихся порошков составляет 35...60 HRC для подложки из стали и 45...60 HRC для подложки из чугуна. Толщина нанесенного слоя достигает 40...50 мкм. Прочность соединения покрытия с материалом подложки  $\geq 250$  МПа.

Лазерное оплавление напыленных покрытий – один из способов улучшения их свойств. Структура оплавленных лазером слоев характеризуется чрезвычайной дисперсностью, отсутствием оксидных включений и пор. Содержание легирующих элементов в оплавленных участках мало отличается от исходного. При лазерном оплавлении покрытий на оптимальном режиме, полученных напылением, можно добиться такого состояния поверхности, при котором последующая механическая обработка представляет собой отделку (например, шлифование). Поверхностное легирование – это введение в оплавленный слой практически любых легирующих элементов и даже карбидов. Продолжительность процесса измеряется секундами, в то время как при химико-термической обработке (ХТО) – часами. Регулируя мощность лазерного луча, продолжительность нагрева, скорость вращения изделия и шаг перемещения луча, можно достичь различной ширины оплавления: 0,05...5 мм.

Порошок на поверхность детали наносят как пасту, замешанную на жидком стекле, в виде наплавленного слоя или фольги нужного состава. Имеется способ легирования вдуванием порошка в оплавляемый слой. Углерод вводят в виде графита, а легирующие элементы – в элементном виде или как ферросплавы. Аналогично вводят релит, сплавы типа ВК и др. Твердость и глубина легированного слоя зависят от мощности луча и числа импульсов.

ХТО с лазерным нагревом ведут в камерах с аммиаком при азотировании. Плотность потока энергии изменяется от  $10^4$  до  $10^5$  Вт/см<sup>2</sup>. Микротвердость азотированного слоя 12 ГПа. При лазерном поверхностном легировании можно получать высокое пересыщение твердых растворов, более высокую твердость (1200 HV) и износостойкость.

Особенность поверхностной закалки заключается в нагреве и охлаждении поверхности со скоростями, достигающими  $10^5$  К/с, при этом



нагрев проводится по режиму, не дающему оплавления поверхности. Вследствие высокой скорости охлаждения металл не перегревается, имеет место полная гомогенизация структуры. При охлаждении образуется бесструктурный мартенсит, что способствует повышению твердости и износостойкости ( $> 1000 \text{ HV}$ ).

Остеклование поверхности (аморфизация) получается при нагреве детали с оплавлением. Твердость поверхности достигает  $2000 \text{ HV}$ , долговечность при этом повышается. Слои укладываются плотными рядами или с перекрытием. В обоих случаях на границе слоя будет мягкая зона или на участке теплового влияния, или в зоне перекрытия. На износостойкость эти мягкие участки не влияют, скорее даже имеют положительное значение, так как после небольшого износа они станут местом для задержания смазки и для отвода продуктов изнашивания. Особенно заметно уменьшение твердости между слоями и под слоем при лазерном упрочнении предварительно термически обработанной стали.

Структура и фазовый состав лазерных покрытий отличаются от других. В структуре не обнаруживаются первичные карбиды, а наблюдаются ячеистые зерна твердых растворов и эвтектики, причем размеры структурных составляющих очень малы. Твердый раствор значительно пересыщен легирующими компонентами, а в состав эвтектики входят метастабильные фазы, представляющие собой карбиды или бориды.

### 3.5.15. Электронно-лучевая наплавка

Сущность *электронно-лучевой наплавки* заключается в нагреве материала и поверхности детали потоком электронов. Способ обеспечивают высококонцентрированное вложения энергии в нагреваемую поверхность.

Малый объем обрабатываемого металла и кратковременность теплового воздействия гарантируют незначительные термические деформации соединяемых деталей. Толщина покрытий составляет от нескольких десятых миллиметра до  $1,0...1,5 \text{ мм}$  на сторону.

Электронно-лучевая наплавка обладает широкими технологическими возможностями.

В последние три десятилетия внимание исследователей привлечено к изучению аморфного состояния поверхностных слоев металлических сплавов, в том числе образуемых при восстановлении деталей. Эти слои, получаемые охлаждением из жидкого состояния конденсацией, вакуумным или ионно-плазменным напылением, а также облучением покрытий электронами или ионами, характеризуются отсутствием дальнего порядка

во взаимном расположении атомов и называются *металлическими стеклами*.

Металлическим стеклам присуще уникальное сочетание необычных электрических, магнитных, механических и химических свойств. Так, часть из них имеет удовлетворительную пластичность наряду с высокими твердостью и прочностью при растяжении, приближающуюся к теоретической. Например, твердость сплава  $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$  составляет  $1100 \text{ HV}$ , а предел его прочности  $\sigma_b = 3130 \text{ МПа}$ , для сплава  $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{10}\text{B}_{12}$  —  $890 \text{ HV}$  и  $3330 \text{ МПа}$  и для сплава  $\text{Fe}_{80}\text{Ni}_{13}\text{C}_7$  —  $760 \text{ HV}$  и  $3040 \text{ МПа}$  соответственно. В то же время эти сплавы обладают хорошей пластичностью.

При этом металлические стекла имеют характеристики упругости (модули Юнга  $E$  и сдвига  $G$ ), на  $25...30\%$  более низкие по сравнению со свойствами сплавов в кристаллическом состоянии. Коэффициент теплового расширения части таких материалов близок к нулю. При переходе в аморфное состояние сплавов на основе переходных металлов (железа, кобальта, никеля) значительно снижаются намагниченность и температура Кюри. При комнатной температуре коэрцитивная сила и индукция насыщения магнитомягких металлических стекол несколько ниже, а удельное электрическое сопротивление на два–четыре порядка выше по сравнению с материалами в кристаллическом состоянии, т.е. уровень электромагнитных потерь в аморфных сплавах значительно ниже.

Признано, что изготовление сердечников распределительных трансформаторов из аморфных сплавов только в США дает экономию  $2/3$  электроэнергии. В то же время существуют сплавы, которые в аморфном состоянии имеют довольно высокую критическую температуру перехода в сверхпроводящее состояние  $T_k$  и стабильность при комнатной температуре. Так, сплав  $\text{Mo}_{80}\text{P}_{10}\text{B}_{10}$  имеет температуру  $T_k = 9 \text{ К}$ . Для аморфных сплавов системы  $\text{Ti-Nb-Si-B}$  достигнута плотность проходящего тока  $7 \cdot 10^4 \text{ А/см}^2$ .

Еще одним достоинством металлических стекол является их уникальная коррозионная стойкость, в частности устойчивость к питтингу в растворах кислот. Она объясняется образованием на поверхности материала очень однородной пассивной пленки. Ряд классов металлических стекол может быть использован в качестве катализаторов в химических технологиях, стойких против радиационных воздействий и катодного распыления материалов.

Применение новых промышленных ускорителей электронов с энергией  $1,5 \text{ МэВ}$  и более и мощностью  $50 \text{ кВт}$  позволяет осуществлять наплавку углеродистых, легированных и жаропрочных сталей, серого чугуна и меди. Применяют наплавочные материалы в виде порошков никеля

и железа: ПР-Н80Х13С2Р, ПР-Н67Х18С5Р4, ПР-Н73Х16С3Р3, ПР-Н70Х17С4Р4, ПР-10Р6М5, ПГ-10Н-04, ФБХ-6-2. Толщина насыпного слоя изменяется от 1 до 5 мм, ширина слоя 8...40 мм, мощность электронного пучка 1,5...15 кВт, скорость наплавки 8...110 мм/с.

Покрyтия, полученные электронно-дуговой наплавкой, содержат небольшое количество кислорода и азота:  $(4...19) \cdot 10^{-3}$  и  $(1...7) \cdot 10^{-3}$  % соответственно. Столь низкое содержание газов в металле, наплавленном без защиты, объясняется возникающим в зоне облучения порошка потоком из активированных газов, паров металла и ультрадисперсных частиц. Этот поток препятствует контакту расплавленного металла с воздухом. Наличие такой защиты обеспечивает отсутствие пор в покрытии. Лишь при использовании порошка ПР-Н67Х18С5Р4 в наплавленном слое встречаются единичные поры.

Электронно-лучевая наплавка обеспечивает высокую производительность и широкие технологические возможности. Например, по сравнению с индукционной наплавкой производительность наплавки пучком электронов выше в 10...15 раз. Данный способ практически применим для наплавки любых материалов, позволяет точно дозировать энергию, вводимую в металл, изменяя тем самым глубину проплавления основного металла, структуру основного и наплавленного металла.

Для электронно-лучевой наплавки чаще применяют установки ЭЛУ-4 и А.306.05.

### 3.5.16. Индукционная наплавка

Технология *индукционной наплавки* основана на использовании токов высокой частоты для подогрева металла детали и присадочного материала.

Индукционный нагрев по удельной мощности тепловложения превосходит газовый и электродуговой, обеспечивает реальную скорость роста температуры до 200 °С/с и высокую производительность процесса. Мощность ТВЧ превосходит мощность газового пламени в 15...20 раз. Однако при наплавке ТВЧ отсутствует защитная среда, что требует очистки деталей и введения дополнительных флюсов.

Технологический процесс индукционной наплавки следующий. Восстанавливаемую поверхность детали предварительно обрабатывают для получения необходимых геометрической формы и размеров. На эту поверхность наносят шихту. Толщина слоя шихты определяет нужную толщину наплавленного слоя.

Деталь с нанесенной шихтой вводят в индуктор ТВЧ установки. Конструкция индуктора и расположение детали зависят от конфигурации наплавляемой поверхности. При прохождении ТВЧ через контур индуктора в поверхностных слоях детали возникают токи Фуко и наружный слой основного металла нагревается. Шихта, расположенная между индуктором и нагреваемой поверхностью детали, вследствие большого электрического сопротивления и мелких размеров частиц слабо реагирует на воздействие переменного электромагнитного поля. Она нагревается главным образом за счет теплопередачи от основного металла. Температура плавления шихты на 100...150 К ниже температуры плавления основного металла, а скорость нагрева поверхности детали – выше скорости теплоотвода в глубину детали.

Флюс шихты плавится, взаимодействует с оксидами и разрушает их на поверхности основного металла и порошкообразного металлического сплава. Флюс также предотвращает последующее образование оксидов и сдерживает теплоотдачу в окружающую среду. Дальнейшее повышение температуры шихты вызывает плавление ее металлической части. При этом жидкий сплав вытесняет отработавший флюс с наплавленной поверхности. Высокая температура нагрева материала и различный химический состав флюса, металлического сплава и основного металла способствуют развитию диффузии, которая обеспечивает прочное соединение наплавленного слоя с поверхностью детали.

После всплытия шлаков индукционный нагрев детали прекращают. Деталь охлаждают на воздухе или в песке.

Преимущества процесса:

- высокая производительность;
- отличное качество наплавленного слоя по химическому составу, плотности, структурной однородности и шероховатости поверхности;
- незначительное проплавление основного металла при высокой прочности соединения;
- возможность получения тонких слоев при обеспечении жесткого допуска на толщину покрытия.

Шихта состоит из магнитного порошкообразного твердого сплава и немагнитного флюса со связующим веществом. Если применяют саморазогревающийся порошок, то флюс не требуется.

В качестве материалов для наплавки применяют: высоколегированные чугуны УЗОХ28Н4С4 (сормайт № 1), У45Х35ГЗР2С (ФБХ-6-2), У35Х2Н5 (нихард), Ж4НДХ-15-7-2 (нирезист); сплавы на основе кобальта, вольфрама и никеля – стеллиты В2К и В3К; композиционные материалы (псевдосплавы) на основе карбидов вольфрама (релиты) и хрома (табл. 3.57).

## 3.57. Псевдосплавы для индукционной наплавки

Сплав	Размер частиц, мм	Твердость, HRC	Содержание элементов, %	
			C	Cr
ПС-14-80	0,40...1,25	61...64	5,2...7,1	49
ПС-14-60	0,50...1,20	58...63	4,0...5,7	35,7
ПС-15-30	0,80...1,25	46...50	2,3...3,8	28

Продолжение табл. 3.57

Сплав	Содержание элементов, %				
	Ni	Mn	Si	B	Cu
ПС-14-80	0,3...1,0	0,3	2,0	0,4...0,18	0,22...0,63
ПС-14-60	0,7...1,8	0,7	2,0...3,0	0,10...0,32	0,52...1,13
ПС-15-30	1,3...1,25	1,3	2,5...4,0	0,20...0,53	0,95... 1,88

Порошкообразные твердые сплавы обеспечивают высокие эксплуатационные характеристики наплавленных деталей. Материалы имеют минимальную магнитную проницаемость (являются парамагнитными) и обладают необходимым гранулометрическим составом. При толщине слоя шихты 1,5...4,5 мм размер частиц меняется от 0,2...0,4 до 0,8...1,2 мм. Температура плавления присадочного материала должна быть на 150...350 К ниже температуры плавления основного металла.

При увеличении в наплавленном металле содержания хрома и углерода возрастают твердость и износостойкость в абразивной среде, но снижаются пластичность и стойкость к ударным нагрузкам. При уменьшении содержания хрома и углерода при одновременном увеличении содержания никеля, как правило, несколько ухудшается твердость, но одновременно повышаются пластичность и стойкость к ударным нагрузкам.

При наплавке сормайтотом и псевдосплавами применяют флюсы, содержащие 43...62 % борной кислоты, 30...42 % кристаллической буры и 5...15 % силикокальция. В зависимости от толщины наплавленного слоя в шихте должно содержаться 10...16 % флюса.

Индукционная наплавка дает высокую износостойкость наплавленного слоя (в 2...5 раз и более, чем поверхностей без покрытия), не требует сложной оснастки и обеспечивает высокую культуру производства.

Высокая мощность ТВЧ позволяет наплавлять крупногабаритные детали с большими площадями износов. К таким деталям относятся: лемеха, лезвия, диски тяжелых борон, лапы культиваторов, траки гусениц и др.

Приведем примеры использования индукционной наплавки при восстановлении.

1. Индукционная центробежная наплавка зеркала гильзы цилиндра. Ось восстанавливаемой гильзы располагают горизонтально, в деталь засыпают смесь самофлюсующегося порошка с железом или твердого сплава с флюсом, деталь приводят во вращение, в нее вводят индуктор и включают высокочастотное напряжение. За счет теплопередачи от нагретой гильзы шихта расплавляется, а центробежные силы формируют из расплавленного металла износостойкий слой.

2. Восстановление (изготовление) биметаллических вкладышей. Собирают пару вкладышей и между их стыками устанавливают антипригарную прокладку. Изделие устанавливают на валу, во внутреннюю его полость засыпают порошкообразную бронзовую шихту (БрОС1-22, БрОС12-17 или БрОЦС5-55) и приводят во вращение с частотой 2000 мин<sup>-1</sup>. Во внутреннюю полость вкладышей вводят высокочастотный индуктор и включают нагрев изделия. При достижении температуры оплавления шихты, которая фиксируется бесконтактным автоматическим пирометром, нагрев изделия отключают и продолжают вращать последнее, охлаждая до температуры 300...500 °С. После остановки вала детали снимают и охлаждают до комнатной температуры.

Основная часть технологического процесса наплавки протекает в индукторе, частями которого являются: индуктирующий провод, токоподводящие шины, контактные колодки для соединения индуктора с понижающим трансформатором и устройство для подачи воды. В зависимости от формы индуктирующего провода индукторы применяют для нагрева цилиндрических, плоских поверхностей или поверхностей сложной формы.

Индуктирующий провод изготавливают обычно из медных трубок или полосок. Во время работы индуктор охлаждается проточной водой. Форма и размеры индуктора зависят от условий нагрева, величины и конфигурации нагреваемой поверхности, а также от мощности и частоты источника питания.

На работу индуктора влияют ширина индуктирующего провода, а также величина зазора между внутренней рабочей поверхностью и поверхностью нагрева.

В зависимости от соотношения требуемой мощности нагрева детали и мощности источника выбирают один из способов наплавки:

– одновременный, при котором наплаваемая поверхность полностью вводится в индуктор;

– последовательный, когда поочередно наплавляют несколько участков детали;

– непрерывно-последовательный – наплавляемая поверхность перемещается в поле индуктора.

Ширина индуктирующего провода при одновременном способе нагрева определяется требуемой шириной зоны нагрева. В этом случае индуктированный ток сосредоточен в зоне, почти равной ширине индуктирующего провода. Обычно ширина зоны нагрева меньше ширины индуктирующего провода на 10...20 %.

Недостатки процесса:

- высокая энергоемкость;
- сложность использования для восстановления деталей с неравномерным износом.

### 3.5.17. Наплавка намораживанием

Сущность *наплавки намораживанием* заключается в последовательном затвердевании сплава на очищенной от оксидной пленки поверхности заготовки, погруженной в расплав.

Заготовку после кратковременной выдержки извлекают из расплава с образовавшимся на ее поверхности слоем наплавленного металла.

Совершенствование процесса ведет научная школа БАТУ (Минск) под руководством проф. Г.Ф. Бетеня.

Процесс нашел наибольшее применение при восстановлении почво-режущих элементов (плужных лемехов, стрелчатых лап, плугов бульдозеров, зубьев ковш) сельскохозяйственной и строительной техники. Эти элементы испытывают одно из самых интенсивных видов механического изнашивания – абразивное. Для их изготовления в основном применяют стали 45, 65Г, 70Г. Как правило, рабочую часть закаливают. Однако это не дает существенного эффекта, так как закалка деталей из конструкционных сталей не исключает прямого разрушения их рабочей части микроцарапанием и микрорезанием кварцевыми частицами. Это объясняется тем, что микротвердость карбида железа (7...10 ГПа) меньше микротвердости кварца (11 ГПа), а хрупкость цементита очевидна.

Эффективным средством повышения долговечности деталей, работающих в абразивной среде, является применение их с биметаллической рабочей частью. В этом случае основной металл обеспечивает прочность, а наплавленный твердый сплав – абразивную износостойкость.

Применяемые ранее способы наплавки покрытий (индукционный, электродуговой и газопламенный) позволяют получить покрытия практи-

чески любой толщины, различного химического состава, с высокими твердостью и износостойкостью. Однако при этом наблюдаются отрицательные явления: крупнозернистость, дендритное строение, шлаковые включения, трещины и раковины, газовые пузыри, химическая и структурная неоднородность.

Основные операции наплавки намораживанием из расплава – подготовка присадочного материала и восстанавливаемой поверхности, погружение заготовки в расплав, выдержка, извлечение из расплава и охлаждение.

Присадочный материал (сплав Сормайт №1, смеси КБХ и ФБХ-6-2, псевдосплавы ПС-14-60, ПС-14-80 и др.) нагревают в индукционных печах до температуры, превосходящей на 30...50 °С температуру его плавления. Применяют тигли из графита или огнеупорного материала на основе нитридов бора и кремния. Выгоранию легирующих элементов препятствует слой расплавленного флюса АН-348А на поверхности присадочного материала.

Невосстанавливаемые поверхности заготовки, соприкасающиеся с расплавом, защищают нанесением на них тонкого слоя меловой обмазки. На восстанавливаемые поверхности последовательно наносят слои водного раствора жидкого стекла и порошкообразного флюса, состоящего на 4 % (по массе) из буры и 60 % борного ангидрида. Заготовку помещают в высокочастотный индуктор для активации наплавляемой поверхности при температуре 850...900 °С. Процесс активации протекает в течение 10...12 с, при этом флюс плавится, очищает поверхность от оксидов и защищает ее от последующего окисления.

Нагретую заготовку погружают в расплав. Детали типа ковшовых зубьев выдерживают в расплаве в течение 0,8...1,2 с. За это время на поверхности заготовки затвердевает слой сплава толщиной 2,5...3,0 мм. Затем деталь охлаждают на воздухе.

На качество и толщину наплавленного металла влияют температура заготовки и расплава и продолжительность их контактирования. Износостойкость наплавленных намораживанием деталей в 1,8...3,5 раза выше, чем новых изделий. По производительности способ конкурирует со всеми видами наплавки, исключая электрошлаковую.

Наплавка намораживанием обеспечивает повышение износостойкости восстанавливаемых элементов за счет придания их материалу необходимой текстуры. Износостойкость текстурированных поликристаллических материалов анизотропна. Наибольшая износостойкость наблюдается при трении перпендикулярно к главным осям карбидной фазы. Последнее обеспечивается направленным отводом тепла при кристаллизации материала.

Наличие в наплавочных материалах хрома и углерода способствует образованию карбидов хрома, микротвердость которых в 1,3...1,5 раза выше микротвердости кварца. Такие структурные составляющие в наплавленном покрытии и их текстурная направленность снижают интенсивность абразивного изнашивания.

Предложена разновидность способа нанесения покрытия погружением разогретой детали в порошковую шихту. Температура нагрева детали в этом случае превышает температуру плавления металлической шихты. Частицы шихты в процессе контакта с деталью расплавляются, а образовавшийся расплав под действием молекулярных сил удерживается на поверхности детали и кристаллизуется на ней, образуя покрытие. Применение процесса уменьшает время пребывания наносимого материала в расплавленном состоянии, что позволяет сохранить его наследственные свойства. Толщину покрытия регулируют температурой нагрева детали.

### 3.5.18. Газовая наплавка

Этот вид наплавки получил распространение при нанесении покрытий из цветных металлов в виде проволоки и твердых сплавов в виде порошка. Несмотря на невысокую мощность газового пламени, оно дает мягкий и локальный нагрев, позволяет наносить покрытия на малогабаритные детали с небольшим износом в труднодоступных местах.

Ручная *газопорошковая наплавка* имеет небольшую производительность. Она включает фазы нагрева восстанавливаемой поверхности, нанесения покрытия и его оплавления. Этот вид наплавки применяют при восстановлении профильных поверхностей типа кулачков распределительного вала, бойков коромысел, концов оттяжных рычагов сцепления и других деталей, которые входят в кинематические пары с линейным или точечным контактом. Такие поверхности подвержены интенсивному изнашиванию и должны обладать высокой твердостью. При их наплавке необходимо поддерживать постоянную линейную скорость перемещения сопла горелки относительно восстанавливаемой поверхности, что трудно обеспечить с помощью механизмов.

При нагреве горелками применяют ацетилен или пропан с кислородом. Из-за дефицита ацетилена чаще используют пропан-бутан. Газокислородное пламя должно быть нейтральным или восстановительным. Температуру предварительного нагрева выбирают с учетом состава и свойств основного металла и наплавочного материала.

Применяют горелки ГАЛ-2-68, ГН-2, ГАЛ-4-72, ГАЛ-6-73 конструкции «Автогенмаш» (Москва), которые устроены по схеме двухступенчатой инъекции.

Для работы на пропане горелка ГН-2 прошла модернизацию (установлено устройство для подогрева газокислородной смеси) и получила марку ГН-2П.

Прочную металлургическую связь между покрытием и основой легко получают при газопорошковой наплавке самофлюсующимися сплавами. При этом высокая стоимость наносимых материалов компенсируется относительной простотой процесса, универсальностью, возможностью восстанавливать дорогие детали. Применяют порошковые самофлюсующиеся материалы системы Ni-Cr-B-Si, температура плавления которых ниже температуры плавления основы. Благодаря этому создаются благоприятные условия для диффузионных процессов в контакте материалов покрытия и основы. Другое преимущество заключается в том, что материалы имеют не точку, а интервал плавления 950...1150 °С, что расширяет технологические возможности наплавки.

Технология газопорошковой наплавки включает такие операции:

- равномерный нагрев восстанавливаемой поверхности нейтральным пламенем горелки до температуры 300...400 °С с расстояния 10...30 мм путем перемещения пламени по всей поверхности;
- однократное нанесение покрытия при полной подаче порошка, при этом наносимый порошок образует тонкий слой на поверхности;
- нагрев покрытия до расплавления;
- нанесение покрытия без расплавления основного материала при пульсирующей подаче порошка, чтобы обеспечить полное расплавление его частиц. Наплавку начинают с центра зоны наплавки и постепенно подходят к краям до полного выравнивания наружной поверхности. Ось сопла горелки перпендикулярна к восстанавливаемой поверхности;
- нагрев поверхности покрытия и прилегающего участка детали с расстояния 50...60 мм.

Для газопорошковой наплавки гладких цилиндрических наружных и внутренних поверхностей с местным износом при повышенных требованиях к их износостойкости применяют пост 01.05.148 Ремдеталь. Пост может быть использован также для сварки тонколистовых конструкций и наплавки прутковыми материалами. В состав поста входят: стол сварщика С-10020, две горелки ГН-2, две горелки 01.05.148-400 для оплавления, два стеллажа 01.05.148-100, редукторы, баллон для пропана, приспособление 01.05.148-300 для наплавки деталей типа вал, приспособление для наплавки кольцевых поверхностей. Масса наплавляемых деталей до 5 кг.

### Технические характеристики поста 1.05.148 Ремдеталь

Производительность по порошку, кг/ч.....	До 2
Используемые газы.....	Пропан, ацетилен, кислород
Толщина наплавляемого слоя, мм.....	0,3...0,2
Давление газов, МПа:	
– пропана.....	0,02...0,05
– ацетилена.....	0,01...0,07
– кислорода.....	0,6
Грануляция порошка, мкм.....	40...160
Занимаемая площадь, м <sup>2</sup> .....	15
Масса, кг.....	850

ГОСНИТИ разработал для газопорошковой наплавки пистолеты ОКС-5531, ОКС-5571 и ОКС-5574.

При наплавке кулачков распределительных валов вместе с постом 01.05.148 Ремдеталь целесообразно использовать вращатель 05.12.227 Ремдеталь, который обеспечивает механическое вращение заготовки.

## 3.6. Электроконтактная приварка металлического слоя

### 3.6.1. Сущность и классификация видов способа

Сущность электроконтактной приварки металлического слоя состоит в закреплении его на изношенной поверхности мощными импульсами тока с приложением давления (рис. 3.28).

Способ исправляет некоторые недостатки наплавки. В первую очередь наплавка сопряжена с большим вложением тепла в материал детали, что приводит к выгоранию легирующих элементов, возникновению закалочных структур, появлению трещин, трудностям механической обработки. Недостатки наплавки проявляются в случае восстановления деталей с малым износом. Минимальная толщина наплавочных покрытий ограничена. Наплавка под слоем флюса обеспечивают толщину покрытия  $\geq 3$  мм, а вибродуговая и в среде защитных газов  $\geq 2$  мм. Таким образом, основная часть наплавленного металла превращается в стружку при механической обработке покрытия. Кроме того, большинство видов наплавки связано с тяжелыми и вредными условиями труда.

Электроконтактная приварка металлического слоя получила научное развитие в результате деятельности коллектива под руководством проф.

А.В. Поляченко (ВНИИТУВИД «Ремдеталь», Москва). Этот коллектив разработал и основное оборудование.

Металл детали и слоя расплавляется в результате прохождения тока не по всей толщине покрытия, а только в точках контакта материала. Способ реализуют на установках путем совместного деформирования наносимого металла и поверхностного слоя детали, нагретых в очагах пластического деформирования короткими (0,02...0,16 с) импульсами тока 7...30 кА. Количество выделившегося тепла  $Q$  (Дж) при этом равно

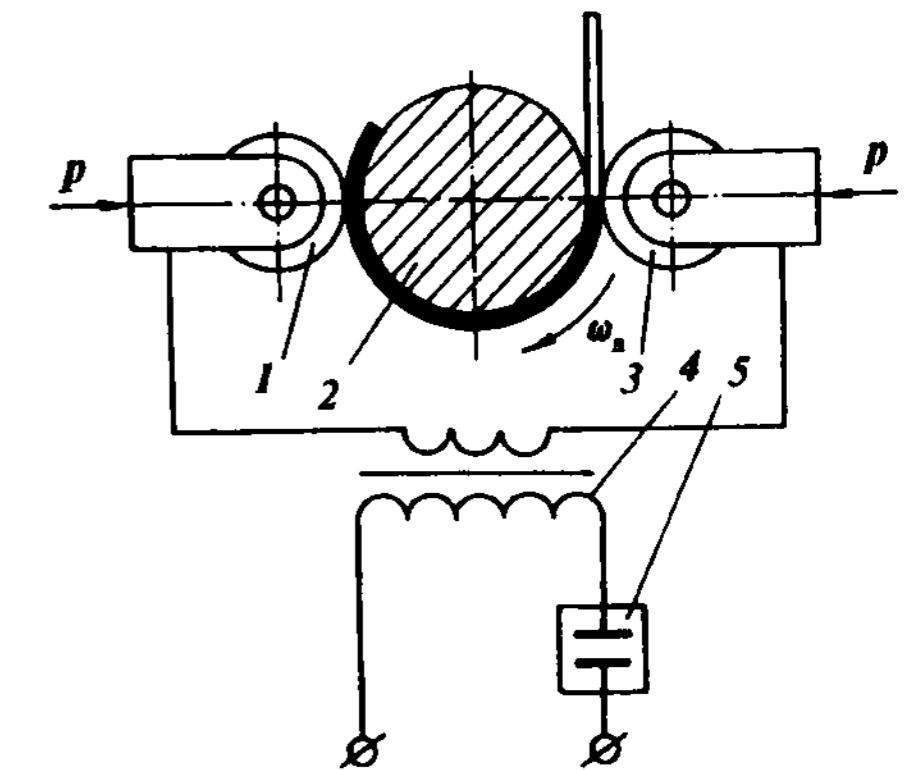


Рис. 3.28. Схема электроконтактной приварки ленты:  
1 и 3 – ролики; 2 – восстанавливаемая деталь; 4 – трансформатор; 5 – контактор

$$Q = kI^2 R t, \quad (3.31)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $I$  – ток, А;  $R$  – сопротивление участка цепи, Ом;  $t$  – время действия тока, с.

Деформирующее усилие составляет 1000...1600 Н. Слой приваривают ко всей поверхности детали перекрывающимися точками, которые располагаются по винтовой линии. Сварные точки перекрываются как вдоль рядов, так и между ними. Перекрытия точек достигают частотой импульсов тока, пропорциональной частоте вращения детали и скорости продольного перемещения сварочной головки. Такое расположение сварных точек обеспечивает высококачественную приварку. При электроконтактной приварке материал детали прогревается на малую глубину, что обеспечивает неизменность его химического состава и исключает применение флюсов и защитных газов. Для уменьшения нагрева детали и улучшения условий заковки приваренного слоя в зону приварки подают охлаждающую жидкость.

По сравнению с дуговыми способами наплавки электроконтактная приварка металлического слоя с охлаждением рабочей зоны позволяет:

– увеличить производительность труда в 2...3 раза;

– сократить расход материалов в 3...4 раза за счет сокращения потерь на разбрызгивание металла и создания минимально необходимого припуска на обработку;

– исключить нагрев и деформацию детали;  
– обеспечить закалку слоя непосредственно в процессе приварки;  
– достичь высокой прочности соединения покрытия с восстанавливаемой поверхностью (100...250 МПа):

– наплавлять черные и цветные металлы на различные марки сталей и чугунов;  
– исключить выгорание легирующих элементов;  
– обеспечить различные сочетания присадочных материалов;  
– создать благоприятные санитарно-производственные условия.

Зона термического влияния  $\leq 0,5$  мм и при нанесении второго и последующих слоев распространяется лишь на толщину первого слоя и не достигает основного металла. При этом удается в основном сохранить предел выносливости соединения по сравнению с дуговыми способами наплавки. Электроконтактная приварка является природоохранным, ресурсо- и энергосберегающим технологическим процессом.

Разновидности способа определяются видами основного материала, применяемого для нанесения покрытий. Металлический слой создают из проволоки, ленты, порошков, сочетания порошков с лентой и др.

Способ применяют для восстановления шеек и резьбовых участков валов, наружных цилиндрических поверхностей других деталей, а также отверстий в чугунных и стальных деталях (например, гильзах и блоках цилиндров). Для восстановления типовых деталей созданы специальные установки.

### 3.6.2. Материалы и технологии

При восстановлении шеек валов применяют проволоку сплошного сечения: НП-35, Нп-40, Св-08, Св-08Г2С, Нп-30ХГСА, ПК-2 – и порошковую (например, ПП-АН-10) диаметром 1,6...2,5 мм, а также толщиной 0,5...0,6 мм из углеродистых сталей 10, 20, 40, 50, У7, У8, 65Г и легированных сталей 40Х и 50ХФА. В качестве основных материалов во время приварки порошков используют сплавы ПГ-Х20Н80, СНГН, ПГ-СР2, 3 или 4, ПГ-ХН80СР2, ПГ-10Н-01, ПГ-10Н-04, ПГ-УС25, ПГ-С27, механические смеси КБХ и ФБХ-6-2, а также различные композиции. На твердость и прочность покрытия наибольшее влияние оказывает его материал (табл. 3.58).

### 3.58. Твердость приваренного слоя в зависимости от материала ленты

Марка стали	Твердость слоя, HRC	Марка стали	Твердость слоя, HRC
20	22...27	55	51...56
40	41...46	40Х	51...61
45	46...51	65Г	61...66

Проволочный материал нашел широкое применение при восстановлении резьбы и шеек валов, ленточный – при восстановлении шеек валов и поверхности отверстий в корпусных деталях, а порошковый – при восстановлении шеек валов и конических поверхностей клапанов.

Электроконтактная приварка проволоки обеспечивает: хорошее соединение покрытия с восстанавливаемой поверхностью, постепенное изменение свойств в зоне перехода между приваренным и основным металлом, наличие зоны сплавления между витками проволоки, проникновение металла последующего валика в предыдущий, что повышает прочность соединения по сравнению со способами сварки, где имеется зона пережога, характеризующаяся низкой прочностью, формированием мелкодисперсной структуры, которая способствует не только увеличению твердости, но и ударной вязкости металла, а в конечном итоге уменьшает интенсивность изнашивания.

Диаметр проволоки при восстановлении резьбы выбирают из расчета, чтобы при нагреве и осадке проволока полностью заполнила впадину между витками и обеспечила припуск на механическую обработку. Этому условию удовлетворяет превышение диаметра проволоки на 5...10 % шага резьбы. Зависимость между усилием сжатия  $Q$  (в ньютонах) и силой сварочного тока  $I$  (в амперах) выражается формулой

$$Q = 6,4\sqrt{I}. \quad (3.32)$$

Приварка проволоки обеспечивает высшую износостойкость покрытий, но отрицательно влияет на усталостную прочность восстановленных элементов. Приварка проволок Св-08ГС и 65Г снижает усталостную прочность на 10...25 % по сравнению с этими показателями у нормализованной стали 45 и чугуна ВЧ-50. В отличие от стали 45, закаленной ТВЧ, снижение этого показателя у образцов с покрытием, нанесенным электроконтактной приваркой, значительно больше и достигает 50 %. Режимы приварки проволоки приведены в табл. 3.59. Длительность импульса составляет 0,02...0,04 с, а пауза 0,06...0,08 с. Скорость приварки 1,6...2,0 м/мин.

### 3.59. Режимы электроконтактной приварки проволоки на наружные поверхности цилиндрических деталей

Проволока	Диаметр проволоки, мм	Ток, кА	Давление на ролик, Н	Шаг приварки, мм/об
Пружинная	2	8,5...10	1300	2,0...2,2
		7,5...9		
	1,6	7...8	1100	1,6...1,8
		5...6		
Св-08	2,5	8,5...10	1500	2,5...2,8
		7,5...9		
	2,0	8...9	1300	2,0...2,2
		7...8		
	1,6		1100	1,6...1,8
			1000	

Большое распространение среди способов приварки получила электроконтактная приварка ленты. Этот способ требует применения оборудования для мерной отрезки ленты и ее предварительной гибки. К такому оборудованию относятся установка 02.11.157 Ремдеталь для продольной и поперечной размерной резки ленты и гибочный станок 01.08.001. Применение установки 02.11.157 Ремдеталь повышает производительность труда в 5 раз по сравнению с изготовлением ленты вручную.

#### Технические характеристики установки 02.11.157 Ремдеталь

Производительность, ед/ч.....	400
Размеры заготовок, мм:	
– толщина.....	0,1...1,0
– ширина.....	80
– длина.....	20...2000
Привод:	
– резки.....	Электромеханический
– рубки.....	Пневматический
Габаритные размеры, мм.....	600×600×1100
Масса, кг.....	200

Прочность соединения покрытия из ленточного материала при силе тока 7,72 кА, усилии на электроде 1,3 кН, длительности импульса тока 0,04 с и скорости наплавки 1,2...1,5 м/мин находится в пределах 300...400 МПа. Меньшее значение соответствует предварительной обработке точением до третьего класса шероховатости, большее – дробеструйной обработке. Микротвердость у поверхности шва и перекрытий зон покрытия из сталей 50, 40Х, 65Г, У-8А составляет соответственно 5600, 6300, 5800, 7150 и 7150, 7900, 7500, 8400 МПа. Режимы приварки металлической ленты на поверхности отверстий корпусных деталей и шейки валов приведены в табл. 3.60.

Предел выносливости образцов диаметром 40 мм с покрытием из ленты в зависимости от ее марки снижается на 54...67%. Поверхностное пластическое деформирование в виде обкатки шариками повышает значение предела выносливости более чем в 2 раза. Применение сплошных и спеченных лент различного состава и твердости позволяет повысить из-

### 3.60. Режимы приварки металлической ленты

Параметр	Детали	
	корпусные	валы
Сила сварочного тока, кА	7,8...8,0	16,1...18,1
Продолжительность, с:		
– сварочного цикла	0,12...0,80	0,04...0,08
– паузы	0,08...0,10	0,10...0,12
Скорость сварки, м/мин	0,5	0,7...1,2
Подача электродов, мм/об	Вручную	3...4
Сила сжатия электродов, кН	1,70...2,25	1,3...1,6
Ширина рабочей части электродов, мм	8	4
Диаметр электродов, мм	50	150...180
Марка стали ленты	20	40, 45, 50
Материал детали	Чугун	Сталь
Расход охлаждающей жидкости, л/мин	0,5...1,0	1,5...2,0



носостойкость восстановленных элементов в 5...10 раз по сравнению с новыми деталями.

Покрывают шлифуют кругами из белого электрокорунда ПП 23 АСМ 1-01 К6 в следующем режиме: окружная скорость круга 35 м/с, детали 25...30 м/мин, поперечная подача круга 0,2...0,3 мм/мин. Обработку ведут при обильном охлаждении зоны шлифования 1,5...3,0%-ным водным раствором кальцинированной соды. Выбор сравнительно невысоких режимов обработки обусловлен пониженной теплопроводностью переходной зоны покрытие – основа. Применение жестких режимов обработки в этом случае может привести к концентрации тепла в приваренном слое и его отслоению вследствие теплового расширения.

Износостойкость покрытий повышается до 10...15 раз, если перед электроконтактной приваркой под стальную ленту с содержанием 0,5 % С толщиной 0,4 мм поместить зерна сплавов на основе карбидов вольфрама (ВК8, Т15К6 или релита) размером 0,3...0,5 мм. Особенности этой технологии следующие: обеспечивают нагрев подэлектродного участка до температуры 1350 °С, что приводит к плавлению эвтектики Fe-FeO; создают удельное давление на роликовый электрод 50...75 МПа при плотности импульса тока до 700 А/мм<sup>2</sup>; шейки шлифуют алмазным кругом АПП 300×27×127×5 с зернами АСВ зернистостью 100/80 на металлической связке МБ<sub>1</sub>.

Широкими технологическими возможностями, позволяющими повысить послеремонтную наработку восстановленных деталей, обладает электроконтактная приварка порошковых материалов.

Сущность процесса заключается в том, что между движущимися деталью и электродом помещают металлический порошок, через них пропускают электрический ток с приложением давления.

Вращающаяся или неподвижная деталь является одним из электродов переменного тока, второй медный электрод вращается или неподвижен. В зазор между этими двумя электродами из бункера подают порошковый материал. Материал к восстанавливаемой поверхности детали прижимают под давлением 30...60 МПа вторым электродом. Через электроды и материал пропускают электрический ток силой 5...30 кА, плотностью 1...5 А/см<sup>2</sup>, напряжением 6...12 В и импульсами длительностью 0,04...0,14 с. Скорость приварки составляет 0,17...0,37 м/мин. Схемы устройств для нанесения порошковых покрытий приведены на рис. 3.29.

В результате на поверхности восстанавливаемой детали образуется слой, толщина которого определяется углом захвата порошка роликом. От состава порошков зависят требуемые свойства восстановительных покрытий (см. рис. 3.8, б).

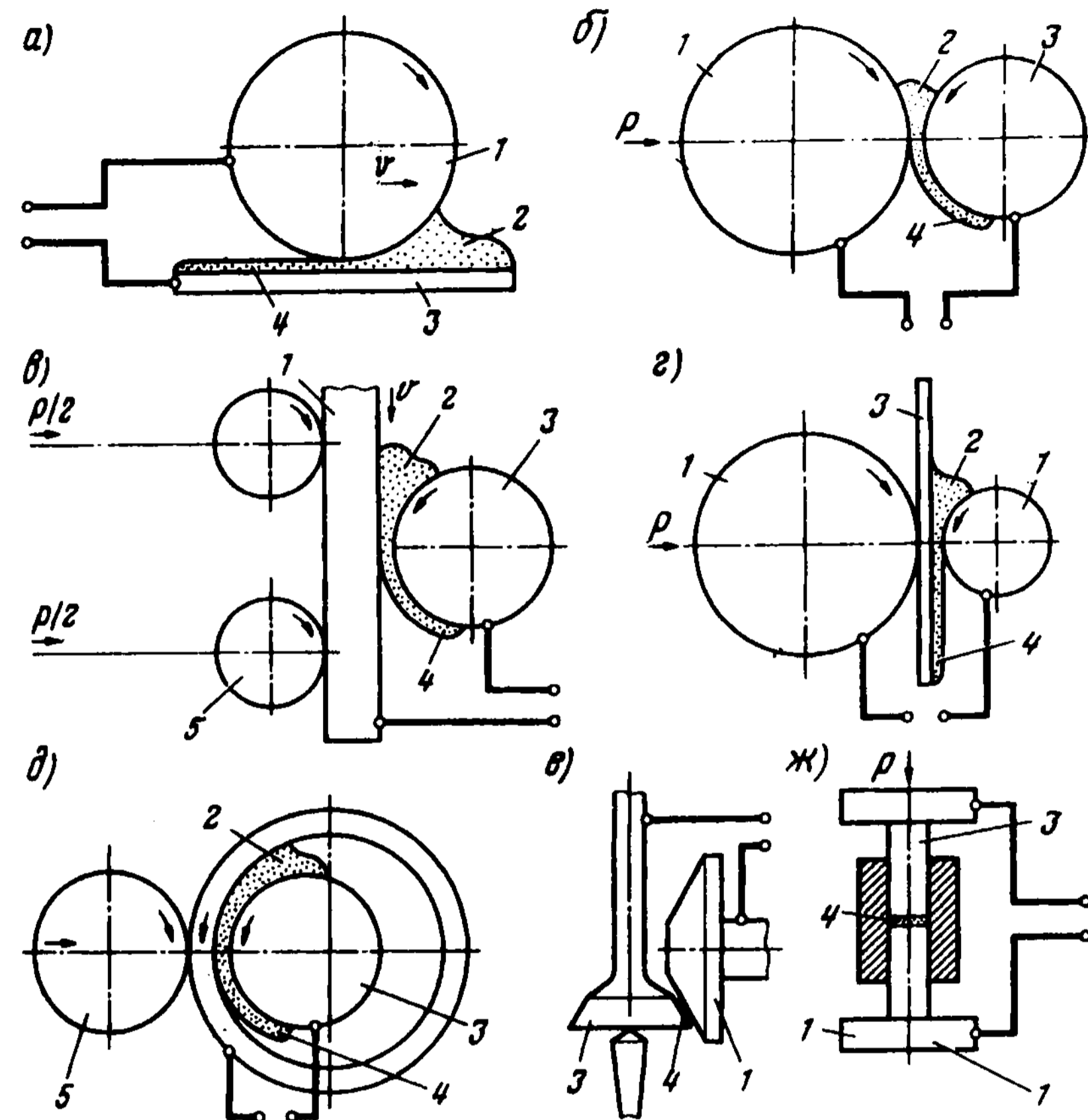


Рис. 3.29. Схема электроконтактной приварки порошков на поверхности: а – плоскую (горизонтальная схема); б – наружную цилиндрическую; в – наружную цилиндрическую плоским электродом; г – плоскую (вертикальная схема); д – наружную цилиндрическую; е – коническую; ж – торцовую; 1 – электрод; 2 – порошок; 3 – деталь; 4 – слой порошка; 5 – нажимной ролик

Высокое качество восстановления обеспечивает композиция из самонагревающегося порошка ПГ-ХН80СР2, порошков сормаита ПГ-С1 и железа ПЖ-3М в равных объемных частях с добавкой к ним меди и свинца (1,5...5,0).

Для восстановления деталей типа вал целесообразно использовать следующие порошковые композиции: 20 % ФБХ-6-2 + 80 % ПЖ-5;

20 % КБХ + 5 %  $Al_2O_3$  + 75 % ПЖ-5; 30 % ПГ-ХН80СР2 + 70 % ПГ-10Н-04; 20 % ПГ-10К-01 + 80 % ПГ-10Н-04. Применение этих композиций обеспечивает высокую износостойкость покрытий с возможностью их механической обработки в виде точения.

Прочность соединения покрытия с восстанавливаемой поверхностью находится в пределах 150...300 МПа. Пористость и твердость покрытий изменяются в широких пределах и зависят от состава составляющих покрытия. Пористость покрытий 12...25 %, а твердость 25...63 НРС. Наиболее высокая твердость наблюдается при нанесении покрытий состава ПГ-С1 + (60...70 %) ФХ-80.

Сопротивление усталости деталей с покрытиями из порошков снижается на 7...12 % по сравнению с этим показателем у новых деталей.

Покрытия обрабатывают лезвийным или абразивным инструментом. Лезвийную черновую обработку выполняют резцом из гексанита-Р при скорости резания 22...30 м/мин, подаче 0,15...0,20 мм/об, глубине резания 0,5...0,9 мм. Чистовую обработку таким инструментом ведут при скорости резания 60...80 м/мин, подаче 0,02...0,20 мм/об, глубине резания 0,1...0,5 мм.

### 3.6.3. Оборудование для электроконтактной приварки металлического слоя

Регулируемые импульсы сварочного тока получают с помощью прерывателей в серийных контактных сварочных машинах, например МШ-1 или МШК-2002 (К-421М), а также конденсаторными источниками питания с зарядным напряжением 875...900 В и емкостью рабочих конденсаторов 2000...2300 мкФ.

Специальное оборудование для создания ремонтных заготовок различных деталей разрабатывалось ВНИИТУВИД «Ремдеталь», ЧИМЭСХ, Московским государственным аграрным университетом им. В.П. Горячкина, Институтом надежности машин НАН Беларуси. Для электроконтактной приварки металлического слоя имеются передвижные посты ППКС-01-74.

Электроды установок изготавливают из специальных медных сплавов типов БрХ, БрХК, БрНБТ и БрВНТ.

Характеристика специализированного ремонтно-технологического оборудования для создания ремонтных заготовок путем электроконтактной приварки металлического слоя на восстанавливаемые элементы деталей различных типов приведена в табл. 3.61. Это оборудование блочно-модульного строения создано на базе установки 011-1-00 для наплавки валов.

3.61. Ремонтно-технологическое оборудование ВНИИТУВИД «Ремдеталь» блочно-модульного строения для электроконтактной приварки металлического слоя

Обозначение оборудования	Назначение	Восстанавливаемые детали
011-1-02	Электроконтактная приварка слоя на наружные и внутренние поверхности	Тела вращения
011-1-04	Электроконтактная приварка слоя на наружные поверхности, в том числе на шлицы	
011-1-05	Электроконтактная приварка слоя на наружные поверхности, в том числе на резьбы	
011-1-06	Электроконтактная приварка слоя на внутренние поверхности гильз цилиндров	Гильзы цилиндров
011-1-07	Электроконтактная приварка слоя на наружные поверхности гильз цилиндров	
011-1-08	Электроконтактная приварка слоя на внутренние поверхности отверстий шатунов	Шатуны двигателей
011-1-10	Электроконтактная приварка слоя на внутренние поверхности стаканов подшипников	Стаканы подшипников
011-1-11	Электроконтактная приварка слоя на внутренние поверхности отверстий корпусных деталей	Корпусные детали

Установка 011-1-02Н предназначена для предприятий с большой производственной мощностью при восстановлении изношенных элементов деталей электроконтактной приваркой ленты на наружные цилиндри-

ческие поверхности диаметром 15...250 мм и длиной до 1200 мм. Толщина привариваемого слоя составляет 0,2...1,0 мм, производительность процесса достигает 100 см<sup>2</sup>/мин.

Для электроконтактной приварки проволоки созданы установки УКН-5, -6, -8М, -9, -10, -11. Восстановление изношенных резьбовых поверхностей с шагом резьбы до 2 мм целесообразно проводить на установке 011-1-05.

#### Технические характеристики установки 011-1-5 для приварки проволоки

Диаметр восстанавливаемой детали, мм.....	10...150
Толщина слоя, мм.....	0,3...1,5
Потребляемая мощность, кВт·А.....	150
Производительность при нанесении слоя толщиной 1 мм, см <sup>2</sup> /мин.....	15
Расход охлаждающей жидкости, м <sup>3</sup> /ч.....	2,2

С помощью установки 011-1-06 приваривают стальную ленту толщиной 0,4...0,6 мм к изношенному зеркалу гильзы цилиндра диаметром 100...300 мм и длиной до 300 мм.

Установка 011-1-07 обеспечивает приварку стальной ленты толщиной 0,4...0,6 мм к наружным изношенным поясам гильз цилиндров диаметром до 180 мм.

Установка 011-1-08 служит для нанесения покрытий толщиной 0,15...1,0 мм на поверхности нижних головок шатунов диаметром 55...150 мм.

Производительность рассмотренных установок 60 см<sup>2</sup>/мин.

Установка 011-1-10 используется для нанесения покрытий на наружные диаметром 100...250 мм и внутренние диаметром 60...180 мм поверхности стальных и чугунных деталей типа стаканов подшипников. Толщина привариваемой ленты 0,2...1,0 мм.

Установка 011-1-11 служит для электроконтактной приварки ленты на внутренние поверхности отверстий корпусных деталей, в том числе на поверхности коренных опор блоков цилиндров.

Восстановление изношенных шеек и резьбовых поверхностей на валах длиной до 2000 мм производят на установке 01-11-022М. Производительность ее в 6...7 раз превышает производительность установки 011-1-05.

Для автоматизированной электроконтактной приварки различных материалов (стальной ленты, проволоки и порошков) на наружные цилиндрические поверхности создана установка 01.01.187.

На установке 01.08.005 наносят покрытия на клапанные гнезда блоков цилиндров двигателей с производительностью до 2 сб.ед./ч.

## 3.7. Напыление материала

### 3.7.1. Классификация и характеристика видов напыления

Академики В.И. Черноиванов и Э.С. Каракозов установили, что при разработке технологических процессов и оборудования для восстановления деталей необходимо учитывать основные условия формирования качественных покрытий:

– термические воздействия на деталь должны полностью или частично предотвращать фазовые или структурные превращения в основном металле;

– перемешивание материалов основы и покрытия должно быть минимальным;

– надо избегать реакций, способных изменить химический и фазовый состав покрытия по сравнению с исходным материалом;

– в зоне соединения не должны развиваться процессы релаксационного характера, способные изменить ее структуру и фазовый состав.

С учетом приведенных требований перспективно использование способов, обеспечивающих сохранение твердой фазы материала во время его нанесения. К таким способам нанесения покрытий относятся газотермическое напыление и электроконтактная приварка металлического слоя.

В качестве исходного материала при нанесении покрытий из горячего металла целесообразно использовать порошки. Это позволяет регулировать в широких пределах химический и фазовый состав покрытия смешиванием в исходном состоянии различных порошков. Покрытия из порошковых материалов наносят как способами газотермического напыления, так и газопорошковой наплавкой, электроконтактной приваркой и индукционным напеканием.

Сущность напыления материала как процесса нанесения покрытий заключается в нагреве материала, его диспергировании (дроблении), переносе движущейся средой, ударе о восстанавливаемую поверхность или покрытие, деформировании и закреплении.

Напыляемый материал нагревается за счет теплообмена с высокотемпературной средой (продуктами горения, электрической дугой, плазмой или областью прохождения вихревых токов). В ряде случаев он дробится путем плавления, частицы его разгоняются и переносятся струей движущегося газа, достигают поверхности детали в пластическом состоянии, имея большой запас кинетической и тепловой энергии, ударяются о поверхность, деформируются и закрепляются на ней, расходуя накопленную энергию (рис. 3.30).

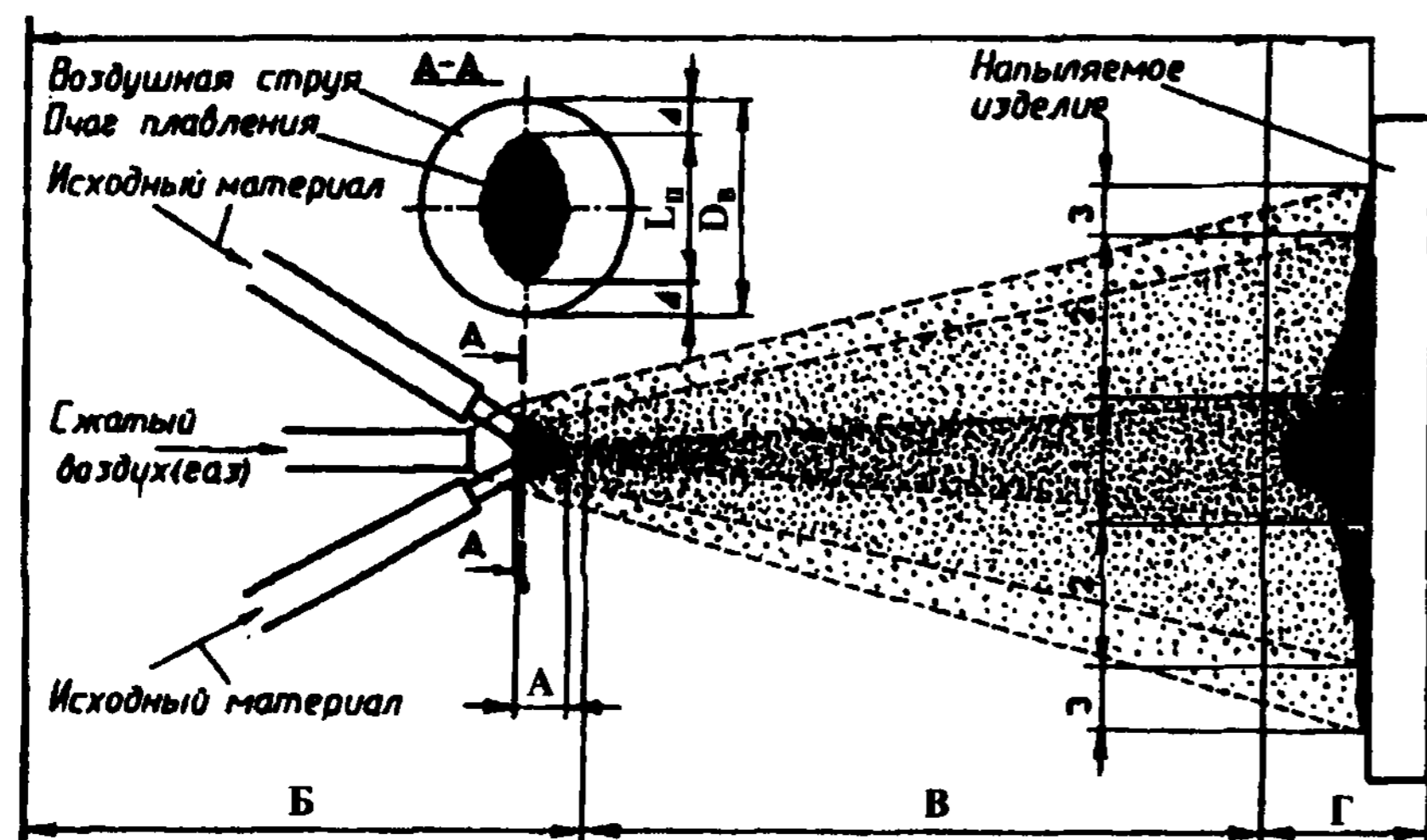


Рис. 3.30. Схема процесса напыления:

А — зона расплавления материала; Б — зона распыления; В — факел; Г — зона образования покрытия; 1, 3 — пятна насыщения соответственно максимального и минимального; 2 — кольцо среднего насыщения;  $D_в$  — диаметр воздушной струи;  $L_п$  — размер очага плавления;  $\Delta$  — перекрытие

Особенность напыления состоит в отсутствии расплавления поверхности основного металла, что обеспечивает незначительную деформацию детали. Небольшая температура подложки (до 150...200°) позволяет применять процесс для нанесения покрытий на стекло, фаянс, фарфор, дерево, пластмассу, ткань или картон.

Соединение металлических частиц с поверхностью детали и между собой носит в основном механический характер — за поры и специально подготовленный профиль в виде «рваной» резьбы. Имеются силы физического взаимодействия (например, силы Ван-дер-Ваальса), силы металлической связи за счет коллективизации валентных электронов и связи ковалентного типа.

Нагрев материала и пребывание его в ряде случаев в окислительной среде приводят к изменению структуры и окислению поверхности. Пластическое деформирование частиц при ударах о подложку и между собой придает им расплюснутую форму, вызывает наклеп материала, изменение текстуры и частичное разрушение оксидной пленки. Микроструктура напыленного покрытия выявляет его слоистое строение с оксидными пленками между соединенными частицами. Видна граница раздела между покрытием и основным металлом (см. рис. 3.3, з).

В качестве материалов для напыления покрытий используют проволоку или порошки из различных материалов.

Большое влияние на строение и свойства покрытия оказывают скорость полета, температура частиц, время пребывания их в химически активной среде и ее состав.

В зависимости от вида источника тепловой энергии, затрачиваемой на нагрев и диспергирование напыляемого материала, различают следующие основные виды напыления (ГОСТ 28076-89): электродуговое, газопламенное, детонационное и плазменное. Плазменное напыление, в свою очередь, подразделяется на индукционное и плазменно-дуговое. По виду защиты рабочей зоны напыления различают процессы без защиты, с местной защитой и в герметичной камере. Характеристика распространенных видов напыления приведена в табл. 3.62.

Повышение скорости напыляемых частиц увеличивает запас их кинетической энергии. Накопленная энергия затем расходуется на деформирование частиц и их закрепление, а малое время окисления способствует уменьшению толщины оксидных пленок, что в конечном итоге снижает пористость покрытий и резко повышает их физико-механические и эксплуатационные свойства.

3.62. Значения параметров различных способов напыления

Параметр	Виды напыления			
	электро- дуговое	газо- пламенное	плазменное	детона- ционное
Производительность процесса, кг/ч	3...50	1...10	3...12	0,1...6,0
Коэффициент использования напыляемого материала	0,80...0,95		0,70...0,90	0,30...0,60
Прочность соединения покрытия с основой, МПа	До 40	До 50	До 60	До 200
Температура частиц, °С	До 1800	До 3000		До 4000
Скорость частиц материала, м/с	50...150	20...120	50...400	600...800

Эволюция скорости напыляемых частиц такова. Скорость частиц при тигельном напылении составляла 20...30 м/с (1940 г.), при электродуговом достигнута скорость 60 м/с (1950 г.). В середине 50-х годов XX века было разработано детонационное напыление, которое обеспечило разгон частиц порошка до 800 м/с. Несколько позже появилось плазменное напыление, которое интенсивно развивалось, в 1960 г. достигнута скорость напыляемых частиц 170 м/с, в 1970 г. – 210 м/с (плазмотрон «Metco 7M»), в 1973 г. – 230 м/с (плазмотрон F4), в 1980 г. – 390 (плазмотрон ПН-21) и 610 м/с (сверхзвуковое плазменное напыление). В 1998 г. стало известно сверхзвуковое плазменно-канальное напыление (800 м/с). В 2000 г. внедрено многодуговое плазменное напыление со скоростью частиц 820 м/с.

Производительность электродугового напыления в 3...5 раз выше газопламенного. Применяемые проволочные материалы при этом имеют более низкую стоимость, чем порошковые. Степень усвоения тепла материалом достигает при электродуговом напылении 57 % по сравнению с 13 и 17 % при газопламенном и плазменном напылении соответственно.

По стоимости восстановления электродуговое напыление в 1,5...2 раза дешевле любого другого из применяемых газотермических способов или наплавки при равной износостойкости. Отсутствие кислорода в качестве окислителя топлива значительно снижает себестоимость наносимых покрытий, повышает надежность деталей и безопасность проводимых работ. Этим способом можно восстановить ~ 60 % изношенных деталей с обеспечением износостойкости выше новых деталей.

Способы напыления материала в порядке увеличения затрат располагаются в ряды:

- по удельным затратам на единицу массы покрытия: электродуговое – газопламенное – плазменное – детонационное;
- по удельным затратам на газ: электродуговое – газопламенное – плазменное – детонационное;
- по затратам на электроэнергию: газопламенное – детонационное – электродуговое – плазменное;
- по затратам на заработную плату с начислениями (трудоемкости): электродуговое – газопламенное – плазменное – детонационное.

Таким образом, напыление материала – производительный и сравнительно простой процесс, обеспечивающий небольшой нагрев детали, высокую износостойкость покрытий, возможность регулирования в ши-

роких пределах их химического и фазового состава, а также нанесения покрытий из металлов, сплавов, оксидов, карбидов, нитридов и пластмасс практически любой толщины и на различные материалы (в том числе на неметаллы). Напыление применяют для восстановления, упрочнения и коррозионной защиты поверхностей деталей. Оно не снижает усталостную прочность деталей, но не нашло широкого применения при восстановлении внутренних цилиндрических протяженных поверхностей.

К недостаткам рассмотренного процесса относятся невысокая адгезионная и когезионная прочность покрытий по сравнению с прочностью монолитного металла, окисление материала, повышенное выгорание легирующих элементов, потери материала.

Широкое внедрение напыления в ремонтном производстве сдерживается из-за высокой стоимости наносимых материалов и грубого искажения рекомендуемой технологии с субъективным подходом к оценке способа. Многолетний опыт применения напыления на передовых заводах стран СНГ, на предприятиях Австрии, Великобритании, Германии и Чехии показывает, что при учете специфических особенностей покрытий и соблюдении научных рекомендаций напыление становится рациональным способом создания ремонтных заготовок.

### 3.7.2. Технологический процесс напыления

*Технологический процесс* напыления материала в общем виде включает такие операции:

- предварительную обработку наносимого материала;
- предварительную механическую обработку восстанавливаемой поверхности;
- подготовку восстанавливаемой поверхности (нарезание «рваной» резьбы, дробеструйную обработку, обезжиривание);
- изоляцию поверхностей, не подлежащих напылению (установку заглушек в масляные каналы детали, выходящие в зону напыляемых поверхностей, установку экранов, нанесение лака);
- нагрев детали;
- нанесение подслоя;
- нанесение основного покрытия;
- оплавление покрытия;
- выдержку деталей в термосе;
- снятие экранов и заглушек, очистку детали.

Операции предварительной подготовки наносимого материала необходимы для достижения требуемой прочности соединения покрытия с восстанавливаемой поверхностью. Например, стальная высокоуглеродистая проволока очищается от консервационной смазки и других загрязнений в горячих растворах ТМС, проходит отжиг при температуре 800...850 °С в течение 1,0...1,5 ч, обрабатывается в 7,5%-ном растворе серной кислоты, промывается в проточной воде и высушивается.

Предварительная механическая обработка восстанавливаемых поверхностей необходима для придания правильной геометрической формы восстанавливаемым элементам и обеспечения равномерной толщины будущих покрытий. Следует учитывать, что напыленные покрытия работоспособны при минимальной толщине ~ 0,3 мм, что также обеспечивается указанной обработкой. Предварительная обработка заключается в точении, растачивании, подрезке или обдирочном шлифовании.

Прочность соединения покрытия с основой является одной из эксплуатационных характеристик. Ее увеличивают путем:

- создания неровностей и шероховатостей поверхности дробеструйной обработкой и наклепа поверхности, что придает ей большую химическую активность;

- очистки поверхности от загрязнений, оксидных и жировых пленок, достигаемой механическими и химическими способами (обезжиривание, травление, ультразвуковая очистка в моющих растворах);

- нанесения промежуточного слоя (подслоя) любым способом;

- предварительного подогрева поверхности до температуры ~ 150...250 °С.

Способы подготовки восстанавливаемой поверхности под напыление в зависимости от вида используемой энергии делятся на механические, химические и термические.

Механические способы подготовки поверхности включают обработку струей газа (обдув) или жидкости либо твердым материалом. В качестве инструмента при обработке твердыми материалами используют резцы, щетки, зерна абразива. Процесс может быть интенсифицирован путем наложения ультразвуковых колебаний.

Основными видами подготовки поверхности под напыление являются нарезание рваной резьбы, канавок и дробеструйная обработка.

При нарезании рваной резьбы на цилиндрической поверхности резец имеет угол при вершине 55...60°, радиус закругления при вершине 0,3...0,5 мм, угол резания 80°, вылет резца из резцедержателя 100...150 мм. Режимы нарезания рваной резьбы приведены в табл. 3.63. Нарезание такой резьбы целесообразно и на внутренних поверхностях.

3.63. Режимы нарезания рваной резьбы

Диаметр детали, мм	Смещение резца выше линии центров, мм	Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup>
10	1	300
15	1,5	210
20	2	150
25	2,5	135
30	2,5	100
35	3	95
40	3	75
45	3	70
50	3,5	60
75	4	45
100	4,5	30
150	5	20
200	6	15
250	7,5	13
300	9	10
350	11	9
400	13	7
450	15	6
500	16	5

На конических поверхностях нарезают кольцевые канавки. Применяют отрезные резцы с шириной режущей кромки 1,2...1,4 мм. Режущую кромку закругляют по радиусу 0,3...0,5 мм. Шаг канавок при обработке составляет 1,6...2,0 мм, их глубина 0,7...0,8 мм.

На плоских поверхностях деталей нарезают канавки по спирали Архимеда на токарных или карусельных станках. Параллельные канавки выполняют на строгальных станках.

Канавки должны быть расположены перпендикулярно к направлению нагрузки. В последующем вершины канавок прикатывают, а в заключение подвергают дробеструйной обработке.

Для поверхностей с твердостью  $\leq 35$  HRC применяют механическую обработку без снятия стружки – путем косой сетчатой накатки на гладких наружных цилиндрических поверхностях. Накатка увеличивает прочность соединения покрытия с деталью и почти не изменяет усталостную прочность детали. На обрабатываемую поверхность воздействуют два ролика, расположенных в одной плоскости с двух сторон детали. На роликах фрезеруют треугольные зубья с закругленными вершинами и впадинами, расположенными под углом  $30^\circ$  к оси ролика и направленными у одного ролика вправо, у другого влево. Материал роликов – У10А.

Применяется вибрационная обработка деталей в абразивной среде. Детали загружают в контейнер вибрационной установки с кусками размером 30...50 мм абразивного круга, а контейнеру сообщаются колебательные движения с частотой 1500...2000 мин<sup>-1</sup> и амплитудой 1,5...4,0 мм.

Термообработанные твердые поверхности перед напылением проходят струйно-абразивную обработку зернами корунда. Чугунные или стальные нетермообработанные поверхности проходят дробеструйную обработку стальной или чугунной колотой дробью (соответственно ДЧК или ДСК).

Режим абразивной обработки поверхности струей корунда следующий: размер зерен 500...800 мкм; давление очищенного от влаги и масла сжатого воздуха 0,55...0,65 МПа; его расход 3,0...3,5 м<sup>3</sup>/мин; расстояние от среза сопла до поверхности детали 60...90 мм; угол наклона струи абразива к поверхности детали 70... 90°. Приведенный режим обеспечивает удельную мощность потока 60...150 кВт/м. После такой обработки с последующим напылением подслоя из проволоки марки Х20Н80 обеспечивается максимальное значение прочности сцепления покрытий с шейками валов до 43...46 МПа.

В качестве абразивных зерен применяют также стружку, отходы проволоки, карбид кремния, песок, дробленый гранит и др.

Для твердых поверхностей, для которых трудно применить механическую обработку, используют электроискровую обработку. Режим обработки: окружная скорость вращения электрода-инструмента 16...18 м/с, напряжение 30 В, сила тока 180...200 А, окружная скорость детали 8...18 м/мин. Рабочие жидкости – мыльные растворы, водные растворы буры, суспензии каолина и др.

Химические способы подготовки поверхности в зависимости от вида используемых веществ разделяют на кислотные, щелочные и солевые.

Химическое травление (табл. 3.64) основано на различной скорости растворения кристаллов и межкристаллитных включений. Перерыв между травлением и нанесением покрытий не должен превышать 3 ч.

### 3.64. Растворы для химического травления поверхности перед напылением

Материал основы	Состав травителя	Продолжительность
Магний с добавками 7 % Zr и 2 % Th	2%-ный NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	8 ч
Медь	20%-ная H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 10%-ная HNO <sub>3</sub> (1:3)	70 ч
Нержавеющая сталь	40%-ная HNO <sub>3</sub> + 20%-ная HCl	10 мин
Холоднокатаная сталь	7%-ная HNO <sub>3</sub>	25 мин
Чугун	15%-ная HNO <sub>3</sub>	16 мин

При термических способах подготовки поверхности под напыление используют в качестве рабочей среды нагретый газ (неподвижный или движущийся), ионизированный газ (ионы, электроны) и излучения (инфракрасное, ультрафиолетовое или лазерное).

Чугунные детали перед напылением нагревают до температуры 250 °С в нагревательной печи для полного удаления масла из пор.

Способы подготовки поверхностей деталей под нанесение покрытий напылением и их влияние на предел выносливости, эффективный коэффициент концентрации напряжений и прочность соединения показаны в табл. 3.65.

Поверхности, на которые нет необходимости наносить покрытие, защищают металлическими щитками, асбестовыми листами или слоем недорогого лака. В масляные каналы забивают латунные или асбестовые пробки.

Нагрев поверхности детали перед напылением бывает необходим для ее активации с целью повышения прочности соединения покрытия с подложкой, однако в некоторых случаях это приводит к образованию пленки оксидов на этой поверхности и к снижению прочности соединения покрытия с основой.

Перед нанесением основного слоя иногда наносят подслоя из тугоплавкого или терморреагирующего материала. В первом случае частицы материала (например, молибдена), обладая большим запасом тепла, подплавляют поверхность детали и привариваются к ней, во втором – частицы материала (например, Al-Ni) вступают между собой в химическое взаимодействие по принципу термитной сварки с выделением тепла и образованием между собой и с поверхностью детали прочной металлической связи.

**3.65. Влияние способов подготовки поверхностей под напыление на эксплуатационные свойства деталей**

Способ подготовки	Предел выносливости, МПа	Эффективный коэффициент концентрации напряжений	Прочность соединения покрытия с основой, МПа
Обработка дробью	324	0,78	104
Накатка (прямая, косая, перекрестная)	306	0,82	100
Обдुвка песком	278	0,91	34,5
Шлифование	252	1,00	—
Нанесение треугольной накатки с последующей обработкой дробью	245	1,02	190
Электроискровая обработка на переменном токе	194	1,29	110
Нанесение нарезок:			
– круглой без прикатки вершин	194	1,29	1,67
– круглой с прикаткой вершин	188	1,33	144
– треугольной без прикатки вершин	188	1,33	188
– треугольной с прикаткой вершин	170	1,48	156
Электродуговая обработка	170	1,48	25
Нарезание кольцевых канавок без прикатки вершин	165	1,52	140
То же с прикаткой вершин	150	1,64	113

Качество покрытия, получаемого при напылении, во многом определяется процессом транспортирования диспергированных частиц материала. Энтальпия этих частиц изменяется из-за теплообмена с окружающей средой. Изменяется также их кинетическая энергия, причем частицы, движущиеся в периферийной части металловоздушной струи, интенсивно передают тепло и энергию практически неподвижной окружающей среде. Скорость их и энтальпия снижаются. В результате покрытие, сформированное из периферийных частиц, имеет низкие механические свойства и большую пористость. Поэтому слабо закрепленные частицы срываются с покрытия вращающимися металлическими щетками.

Процесс нанесения покрытия может быть без оплавления, с одновременным оплавлением, с последующим оплавлением.

Крупные ответственные детали (корпуса, валы) после нанесения покрытия выдерживаются в термосе при температуре 150...200 °С в течение 1,0...1,5 ч, для снятия внутренних напряжений в покрытии и в зоне его соединения с деталью.

### 3.7.3. Электродуговое напыление

Сущность электродугового напыления состоит в расплавлении материала металлических проволок электрической дугой, зажженной между ними; продувании через электрическую дугу струи сжатого газа; сдувании расплавленного металла и переносе его в виде частиц на восстанавливаемую поверхность.

Электродуговое напыление применяется для нанесения коррозионно-стойких покрытий из алюминия или цинка на строительные покрытия и износостойких покрытий из стали, бронзы и других материалов при восстановлении деталей. Перспективно напыление композиционных покрытий. Коррозионно-стойкие покрытия из цветных металлов рационально наносить только электродуговым напылением.

Преимущества электродугового напыления: наибольшая производительность (до 50 кг/ч) из всех способов напыления; высокий термический КПД; возможность получения покрытий с высокой адгезионной и когезионной прочностью и низкой пористостью; в 2 раза меньшие затраты на нанесение 1 кг покрытия, чем при электродуговой наплавке.

Недостатки процесса сводятся к следующему. Имеет место интенсивное взаимодействие частиц с газовой средой, из-за чего напыленный металл насыщен кислородом и азотом, а также содержит значительное количество оксидов. Необходимость применения только токопроводящих напыляемых материалов ограничивает возможности способа. Большое



выгорание легирующих элементов, содержащихся в стальных проволоках, при электродуговом напылении сужает область его применения. Потери карбидных и других упрочняющих фаз доходят до 20 %.

В качестве напыляемых материалов применяют компактную или порошковую проволоку. Материалом компактной проволоки служат: цинк, алюминий, медь, бронза, латунь, углеродистая и нержавеющая стали и др. Для нанесения износостойких покрытий широко применяют углеродистую или пружинную проволоку, а также легированные (в том числе нержавеющие) стали. Возможна комбинация из проволок с различными материалами.

Аппарат для электродугового напыления (рис. 3.31) работает следующим образом. Пары приводных роликов 1 подают в зону распыления две или более проволок. Имеются направляющие наконечники 4 и газовое сопло 5. Между направляющими наконечниками и электродными проволоками должен быть хороший электрический контакт, обеспечивающий падение напряжения  $\leq 0,02 \dots 0,03$  В при силе тока 100 А.

При запуске аппарата включается подача проволок, электрического напряжения на них и сжатого газа. Между проволоками возникает электрическая дуга, которая расплавляет металл. Расплавленные капли металла подхватываются струей газа, распыляются на частицы размером  $10 \dots 100$  мкм, разгоняются до скорости  $50 \dots 150$  м/с и в нагретом состоянии ударяются о восстанавливаемую поверхность или о закрепившиеся частицы. Расстояние от распылительного узла до напыляемой поверхности изменяется в пределах  $60 \dots 150$  мм (чаще его назначают равным 120 мм). Частицы, имея достаточный запас тепловой и кинетической

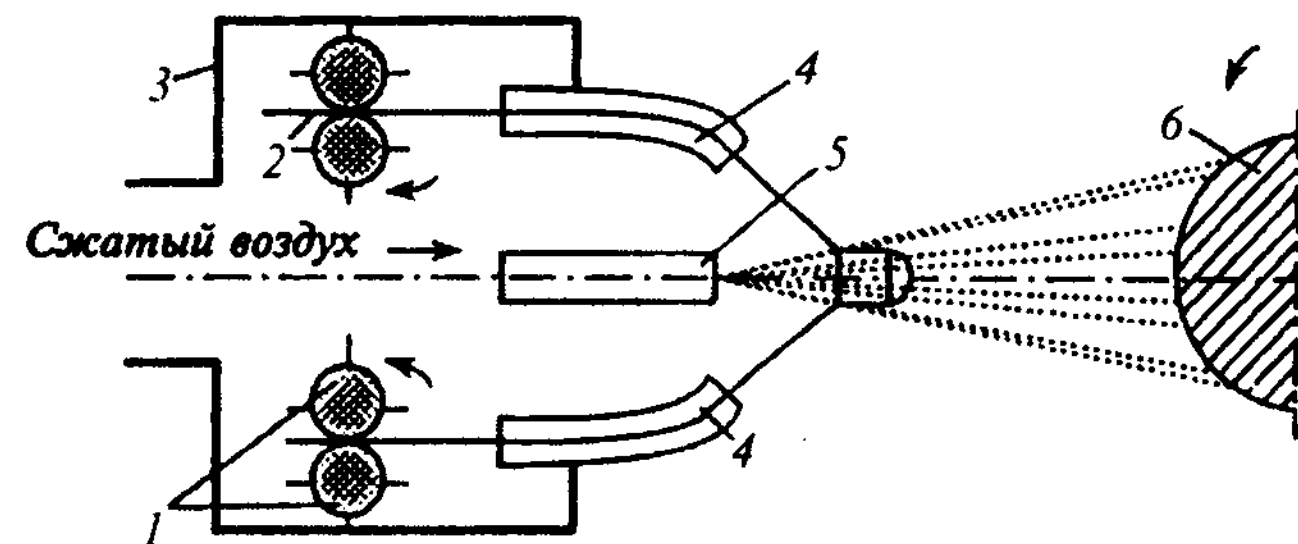


Рис. 3.31. Схема аппарата для электродугового напыления:  
1 – подающие ролики; 2 – проволока; 3 – электрические провода; 4 – направляющие наконечника; 5 – сопло; 6 – восстанавливаемая деталь

энергии, деформируются сами и деформируют покрытие, внедряются в поры и неровности и формируют покрытие. Максимальная толщина покрытия  $1,0 \dots 1,5$  мм для тугоплавких и  $2,5 \dots 3,0$  мм для легкоплавких металлов.

Диаметр распыливаемых проволок  $1,0 \dots 3,5$  мм, а угол между ними  $120^\circ$ . При увеличении диаметра проволоки увеличивается турбулентность газовой струи. Коэффициент турбулизации

$$\alpha = 1,024 d_n / d_c - \alpha_1, \quad (3.33)$$

где  $d_n$  – диаметр проволоки, мм;  $d_c$  – диаметр воздушного сопла, мм;  $\alpha_1$  – коэффициент турбулизации при свободном истечении струи в сопле.

Средний диаметр частиц металла  $d_q$  (мм) может быть ориентировочно определен из выражения

$$d_q = k_1 k_2 \sqrt[3]{q_n / \gamma \mu}, \quad (3.34)$$

где  $k_1$  – коэффициент, зависящий от вида распыляемого материала (для стали он равен 1,61, для алюминия 1,45, для цинка 1,64, для олова 0,85);  $k_2$  – коэффициент, зависящий от диаметра сопла, для цилиндрических сопел  $k_2 = 1,87 d_c + 0,29$ ;  $q_n$  – производительность напыления, кг/ч;  $\gamma$  – плотность распыляемого металла, г/см<sup>3</sup>;  $\mu$  – коэффициент, учитывающий непрерывность горения дуги, его максимальное значение равно 1.

Средний размер частиц стали при электродуговом напылении  $30 \dots 50$  мкм, из других металлов  $10 \dots 100$  мкм.

Применяют подачу в зону распыления трех электронных проволок из различного материала. В этом случае проволоки располагаются по образующим конуса с углом при вершине также  $120^\circ$ , а покрытие получается композиционного типа. Скорость подачи проволоки при этом  $0,05 \dots 0,35$  м/с и соответствует производительности  $2 \dots 50$  кг/ч.

Поток летящих частиц должен составлять угол с восстанавливаемой поверхностью, близкий к прямому, допустимое отклонение  $30^\circ$  при напылении алюминиевых и медных сплавов и  $40^\circ$  при напылении стальных сплавов. Скорость перемещения пятна напыления относительно детали  $30 \dots 50$  м/мин.

В качестве распыляющего газа используют воздух, аргон или азот под давлением  $\sim 0,5 \dots 0,7$  МПа. Чаще применяют сжатый воздух, хотя в

этом случае распыляемый металл окисляется и насыщается азотом. Газ поступает в зону распыления через цилиндрическое сопло диаметром 3...6 мм или цилиндрическое сопло диаметром 4...6 мм с расширяющейся конической частью диаметра 6,5...8,5 мм. Расход газа 1...2,5 м<sup>3</sup>/ч.

Скорости газовой струи потока и напыляемых частиц вблизи напыляемой поверхности примерно одинаковы и равны 50...150 м/с. Плотность потока распыляемых частиц вблизи напыляемой поверхности 10<sup>3</sup>...10<sup>5</sup> (см<sup>2</sup>·с)<sup>-1</sup>. Большинство частиц достигают поверхности напыления в расплавленном состоянии.

Электродуговое напыление обычно ведут в открытой атмосфере, потому что создать защитную среду трудно. Однако ведение процесса в камере с общей защитой принципиально возможно.

Напряжение дуги (в вольтах) при распылении алюминиевой проволоки составляет 25, стальной углеродистой и нержавеющей 30...40, медной 32...35, цинковой 20, латунной 25. Сила тока является производной величиной, зависящей от напряжения дуги, диаметра и материала проволоки, и изменяется в пределах 30...530 А.

Применяют ручное и механизированное напыление. В первом случае технологические перемещения аппарата осуществляют вручную. Механизированные установки имеют устройство для перемещения распылителей относительно напыляемой поверхности. Для получения равномерных по толщине покрытий на больших поверхностях задаются программы сложных движений металлатора относительно напыляемой поверхности со скоростью 30...50 м/мин.

В практике напыления используют металлаторы мощностью 5...20 кВт, потребляющие ток силой 80...600 А при напряжении 18...36 В. Выпускают аппараты для электродугового напыления стационарные (станочные) ЭМ-6, ЭМ-12 и МЭС-1 и переносные (ручные) ЭМ-3, РЭМ-3А, ЭМ-9 и ЭМ-10. В странах СНГ наиболее распространены дуговые металлаторы ЭМ-12, ЭМ-14 и ЭМ-15. Краткие технические характеристики их приведены в табл. 3.66.

Применяют источники постоянного тока с жесткой вольт-амперной характеристикой: ВС-300, ВСЖ-303, ВДГ-302, ВС-600, ВДГ-601, ВДУ-504, ВДУ-1001, ГД-502. Научно-производственная фирма «Плазма-центр» (Санкт-Петербург) выпускает установку для электродугового напыления КДМ-2 (рис. 3.32), оснащенную источником тока ТИМЕЗ и электродуговым металлатором ЭМ-14М.

3.66. Характеристики металлаторов

Показатель	Аппараты		
	ЭМ-12	ЭМ-14	ЭМ-15
Тип	Стационарный	Ручной	Стационарный
Производительность распыления, кг/ч:			
– алюминия	14	12,5	25
– цинка	38	32	65
– стали	20	10	20
Диаметр распыливаемой проволоки, мм	1,5...2,5	1,5...2,0	2,0...3,0
Скорость подачи проволоки, м/мин	3,8...14,2	2...12	1...14
Привод механизма подачи проволоки	Электродвигатель	Воздушная турбинка	Электродвигатель
Способ регулирования	Редуктором со сменными шестернями	Плавным магнитным торможением ротора	Плавным электронным регулированием частоты вращения
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	2,5	1,5	2,5
Рабочий ток, А	≤ 500	≤ 400	≤ 800
Рабочее напряжение, В	17...35	17...44	17...35
Масса, кг:			
– пульта управления	–	–	31,5
– металлатора	22,6	2,3	15

Оборудование нового поколения для электродугового напыления покрытий разработал ВНИИТУВИД «Ремдеталь». Установка УД-609.01 Ремдеталь с металлатором ЭМГ-2 предназначена для нанесения покрытий на шейки валов, а установка УД-609.10 Ремдеталь с источником питания ВДУ-506 – для нанесения покрытий на плоские детали.

Для повышения прочности соединения покрытия с основой создатели новых аппаратов для напыления материалов стремятся повысить скорость частиц нагретого металла и защитить их от влияния кислорода и азота воздуха. При распылении металла сжатым воздухом содержание углерода, например, в напыляемом материале уменьшается почти в 3 раза.

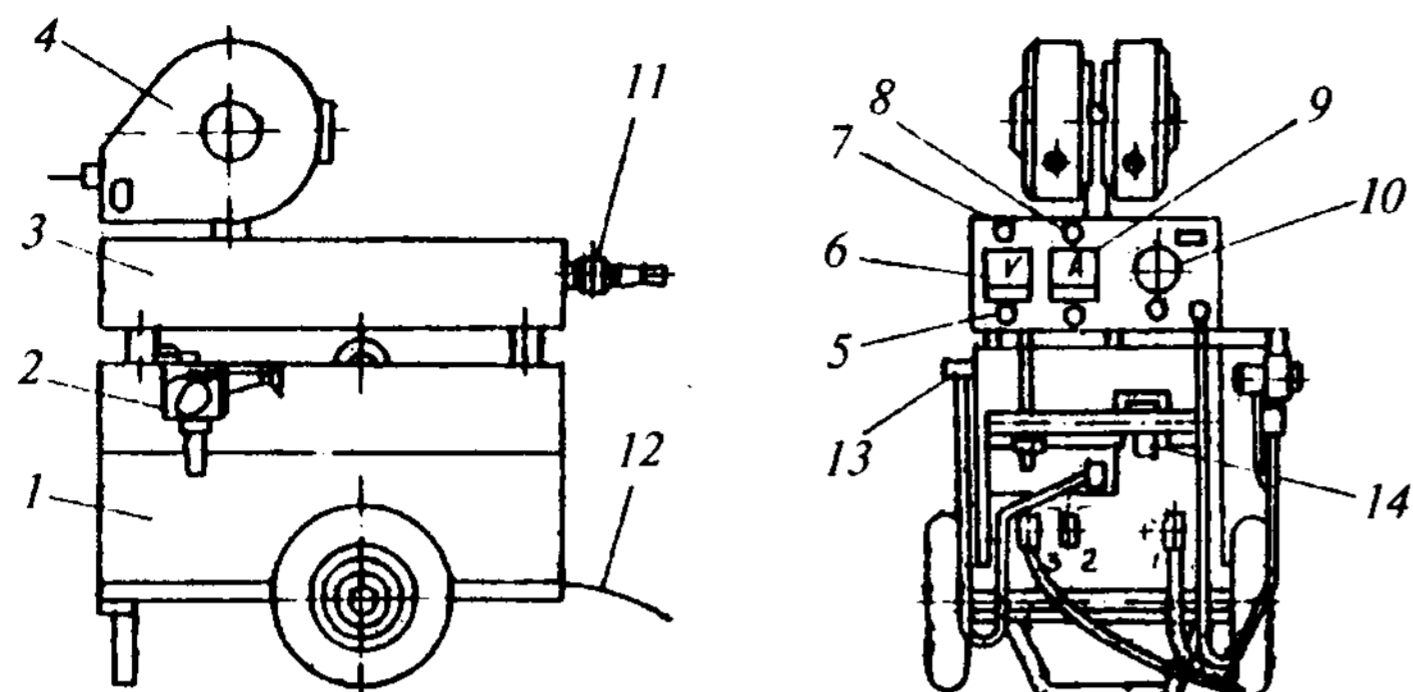


Рис. 3.32. Комплект электродугового напыления КДМ-2:

- 1 – источник тока; 2 – аппарат ЭМ-14М; 3 – пульт управления;  
 4 – кассетный блок; 5 – блок дистанционного управления; 6 – вольтметр;  
 7 и 8 – световоды; 9 – амперметр; 10 – манометр; 11 – кран; 12 – кабель;  
 13 – тумблер «Дуга»; 14 – пакетный выключатель

Частицы металла будущего покрытия при электродуговом напылении могут быть защищены от кислорода и азота воздуха стенкой продуктов сгорания газообразного или жидкого топлива либо вдуванием горючего газа (пропана или природного газа) в зону горения дуги. Жидкий металл в последнем случае распыляют не струей сжатого воздуха, а продуктами сгорания, разогретыми до температуры 2000...2300 К.

Изменением расходов горючего газа и воздуха можно создавать нейтральную или восстановительную среду в зоне плавления проволоочных материалов и тем самым снизить их окисление и выгорание легирующих элементов. Так, при использовании защитно-восстановительной среды количество углерода в покрытии, полученном из проволок У10А и 40Х13, практически не отличается от его содержания в исходной проволоке.

Сущность *активированного электродугового напыления* состоит в распылении металла и его защите от влияния воздуха продуктами сгорания углеводородного топлива. Эта технология позволяет получать слои с прочностью сцепления до 55 МПа и плотностью до 95 %, что расширило диапазон восстанавливаемых деталей, в том числе позволило организовать восстановление коленчатых валов двигателей автобусов «Икарус». В Беларуси технология внедрена на Витебском мотороремонтном заводе.

В качестве устройства для нанесения покрытий применяют активированный дуговой металлизатор типа АДМ конструкции Института на-

дежности машин НАН Беларуси. Работа этого металлизатора основана на использовании восстановительных транспортирующих газов с особой схемой их подачи через профилированные сопла, применении камеры сгорания в системе подачи газов, особенностях взаимного расположения токопроводов и распыляющего сопла. Скорость газового потока при этом достигает 1500 м/с, а скорость частиц наносимого материала 590 м/с. Угол раскрытия струи не превышает 10°. Пористость покрытия при этом снижается с 9... 11 до 2...4 %. При равном отношении воздуха и пропана в горючей смеси содержание углерода в покрытии уменьшается только вдвое по сравнению с исходным материалом.

Скоростной напор потока газов, выражающий отношение кинетической энергии к единице объема газа и характеризующий силу, действующую на частицу в потоке, составляет для традиционного электродугового напыления 75 000 кг/(м<sup>2</sup>·с), а для активированного 234 000 кг/(м<sup>2</sup>·с), что обеспечивает большую скорость частиц наносимого материала и формирование покрытия с прочностью соединения вдвое выше, чем при традиционном напылении, что достаточно для работы покрытия в условиях ударно-абразивного изнашивания.

Активированное электродуговое напыление целесообразно применять при восстановлении деталей, работающих в условиях граничной смазки. Используют проволоочные материалы: Нп-65Г, Нп-40Х13, Св08Г2С.

Производительность стационарного аппарата для активированного электродугового напыления АДМ-8 при распылении стали составляет 30 кг/ч, а ручного АДМ-10 – 1...18 кг/ч. Ионизация межэлектродного промежутка снижает ток дуги на 10...15 % при той же производительности процесса.

Процесс активированного электродугового напыления, разработанный ВНИИТУВИД «Ремдеталь» основан на использовании малогабаритной камеры сгорания пропановоздушной смеси. В камеру сгорания можно подавать и бензин с расходом 0,5 г/с. Подслои при напылении не наносят. Твердость покрытия при этом увеличивается на 18 %, прочность соединения – на 56 %, а пористость уменьшается в 2,6 раза.

Окружающая среда при активированном электродуговом напылении представляет собой продукты сгорания углеводородного топлива в воздухе и содержит углекислый газ, кислород и пары воды. Повышение твердости покрытия является следствием химико-термических процессов (цементации) при напылении в этих веществах за счет диссоциации углеводородных соединений, абсорбции и диффузии углерода в покрытие.

### 3.7.4. Газопламенное напыление

Сущность газопламенного напыления заключается в нагреве напыляемых материалов газовым пламенем и нанесении их на восстанавливаемую поверхность струей сжатого газа.

Тепло для нагрева материала получают путем сжигания ацетилена или пропан-бутана в кислороде, а переносится материал сжатым воздухом или продуктами сгорания углеводородного топлива. В качестве основного материала применяют порошки, проволоки и шнуры. Газопламенное напыление – один из немногих процессов, с помощью которых наносят покрытия из шнуров.

Распыленные металлические частицы, летящие со скоростью 120 м/с, попадают на подготовленную поверхность детали и формируют покрытие. Скорость газового потока 150...160 м/с.

Порошок подают, как правило, вдоль оси факела в его внутреннюю часть под действием транспортирующего газа или собственного веса. Проволоки и шнуры подают в восстановительную часть пламени.

Для восстановления деталей применяют три вида газопламенного напыления: без оплавления, с последующим оплавлением, с одновременным оплавлением (в литературе называют газопорошковой наплавкой).

Первый вид напыления – без оплавления – служит для восстановления деталей, не испытывающих деформации, температуру  $> 350$  °С и знакопеременные нагрузки. Покрытия без оплавления наносят при восстановлении наружных и внутренних цилиндрических поверхностей подвижных и неподвижных соединений при невысоких требованиях к прочности соединения с основным материалом.

Последующее оплавление выполняют газокислородным пламенем, в индукторе или другим источником тепла для покрытий толщиной 0,5...1,3 мм. Нанесенное покрытие оплавляют при восстановлении наружных и внутренних цилиндрических поверхностей подвижных и неподвижных соединений при повышенных требованиях к износостойкости и прочности соединения с основным материалом. Этот вид оплавления покрытий, полученных газопламенным напылением, применяют редко.

Газопламенное напыление с одновременным оплавлением покрытия используют для восстановления деталей из стали и чугуна при износе на сторону 1,3...1,8 мм.

**Пример** технологического режима 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.

Для газопламенного напыления выпускается много образцов горелок и оборудования.

Аппараты, использующие в качестве материала проволоку, следующие. Горелки типа МГИ выпускаются Барнаульским аппаратно-механическим заводом. Горелка МГИ-4 инжекторного типа снабжена воздушной турбиной и регулятором скорости подачи проволоки, горелка МГИ-4А работает на смеси ацетилена и кислорода, горелка МГИ-4П – на смеси пропан-бутана и кислорода. Станочный аппарат с программным управлением МГИ-5 имеет массу 136 кг. Аппарат УГПНпр массой 3 кг с электрическим приводом выпускает НИИТавтопром (Москва).

Аппараты, использующие в качестве материала порошки, следующие. Аппараты Барнаульского аппаратно-механического завода предназначены для работы: УГПЛ – с цинком и пластмассами, УГПЛ-П – с термопластическими полимерами, УГПНпор – с различными порошками. Аппараты 01.02-11, 021-3 и 021-4 Ремдеталь выпускает Липовецкий опытный завод «Ремдеталь». Аппараты 011-1-01 Ремдеталь и 011-1-09 Ремдеталь производит Пышминский завод подъемно-транспортного оборудования. Аппараты ГАЛ-2, -4, -5 и -6 выпускают московские предприятия ЦНИИТмаша и ВНИИавтогенмаша. Наплавочные горелки типа ГН изготавливают предприятия ВНИИавтогенмаша. Аппараты ГН-1-02, ГН-2-02, ГН-3-02 и ГН-4-02 работают на ацетилене с кислородом, горелка ГН-3-02 имеет водяное охлаждение. Аппараты ГН-2П-02 и ГН-3П-02 функционируют на пропан-бутане и кислороде.

Институт надежности машин НАН Беларуси производит аппараты УПТР-1-78 и УПТР-1-85, а Белорусское республиканское НПО порошковой металлургии (Минск) – аппараты УПТР-86, УГПН-П, УГПН-У. Институт электросварки им. Е.О. Патона выпускает аппараты Л5405, УН-121 и УГПН-005.

Установка «Jetkoot» (США) обеспечивает скорость газового потока 3000...4000 м/с, при этом скорость частиц порошка размером 2...20 мкм достигает 400...600 м/с. Пористость покрытия  $< 2$  %, прочность его соединения с восстанавливаемой поверхностью до 70 МПа, шероховатость наружной поверхности слоя  $Rz 29$  мкм. Разработан аппарат для сверхзвукового напыления «Топас» (Киев).

Для газопламенного напыления покрытий на шейки валов ВНИИТУВИД «Ремдеталь» создал установку 011-1-01 блочно-мо-

дульного строения, которая разработана на базе установки 011-1-00 для наплавки валов. НИИТавтопром предлагает установку для газопламенного напыления шеек коленчатых валов двигателей ЗИЛ-130. Линия 5835 служит для нанесения износостойких покрытий на вилки коробок передач.

Некоторые горелки и аппараты для газопламенного напыления приведены в табл. 3.67.

По мощности пламени газовые горелки подразделяются на микро-мощные (до 60 л/ч), малой (до 700 л/ч), средней (до 2500 л/ч) и большой мощности (до 7000 л/ч), а по степени механизации – на ручные и машинные. В зависимости от способа подачи горючего газа горелки делят на инжекторные и безинжекторные.

Активирование газопламенного напыления обеспечивается эффективным теплообменом между пламенем и материалом, а также качественным смешением рабочих газов.

Высокое качество покрытий, нанесенных газопламенным напылением, дает термораспылительная проволочная установка «Терко», разработанная в Институте надежности машин НАН Беларуси. Эта установка демонстрирует также надежную работу. В комплект установки (рис. 3.33) входят: термораспылительный пистолет, малогабаритный блок управления подачей рабочих газов, блок управления электроприводом подачи проволоки, распылительные головки для работы на различных горючих газах (ацетилене или пропан-бутане).

Термораспылительный пистолет «Терко» позволяет активировать процесс напыления материала. Кроме того, в отличие от других установок в механизм подачи проволоки установки «Терко» встроен электропривод, а не воздушная турбина, что значительно повышает точность регулирования скорости транспортировки проволоки. Используется дешевый горючий газ – пропан-бутан. Установка снабжена быстросъемными разъемами типа байонет, имеет трехступенчатую защиту от обратных ударов пламени, легко транспортируется (общая масса со шлангами 14,6 кг).

С помощью установки «Терко» наносят покрытия из проволочных и прутковых материалов диаметром 1,6...3,5 мм с производительностью до 6 кг/ч (по стали). Малое количество хрупких оксидов, значительное количество интерметаллидов, образование закалочных структур и достаточно высокая пластичность напыленного слоя создают предпосылки для применения покрытий в новых условиях работы и расширения области их распространения. Стальные покрытия имеют пористость 2...4 %, плотность покрытий из алюминиевых сплавов практически приближается к плотности литого материала. Прочность соединения покрытия с основой составляет > 30 МПа.

3.67. Технические характеристики оборудования для газопламенного напыления

Показатель	Аппараты и горелки					
	021-400-000	УППР-1-78М	ГН-2	ГН-2М	ГАЛ-6	УПН-8
Тип	Переносной	Универсальный	Переносной	Переносной	Универсальный	Универсальный
Давление, МПа: – кислорода – ацетилена – пропана	0,15...0,25 0,025...0,150 –	0,15 0,095 –	0,30...0,35 0,01 –	0,45 – 0,005	0,4...0,5 0,02...0,07 –	0,4 0,35...0,500 –
Расход, м/ч; – кислорода – ацетилена – пропана	0,8...1,0 0,6...0,8 –	1,75 0,95 –	0,8 0,6 –	0,7...0,8 – 0,4...0,5	0,75...1,15 0,7...1,05 –	2,2 1,7 –
Максимальная производительность, кг/ч	1,6...2,6	9,6	2,0...3,0	1,5...2,5	8,0	10
Полезный объем порошкового питателя, л	0,4	0,66	0,2		10,5	2,0
Размер частиц порошка, мкм	40...100	40...160	40...100			30...150
Масса, кг	2,6	1,3	1,0		1,53	17



Рис. 3.33. Газопламенное напыление шеек коленчатого вала с помощью установки «Терко»

Как показал опыт ИТК «Надежность машин» (Минск), эффективно применение электродугового и газопламенного напыления проволочными материалами деталей, работающих в трущихся сопряжениях (коленчатых валов, осей, подшипников скольжения, направляющих) и поверхностей отверстий под подшипники.

Фирма «Castolin + Eutektic» (Швейцария) выпускает установки для газопламенного напыления «CastoDin 2000» и «Rototec 80».

Покрyтия, полученные газопламенным напылением шнуровых материалов, представляют альтернативу плазменным покрyтиям. Покрyтия, полученные газопламенным напылением шеек валов шнуровыми материалами, показывают высокие эксплуатационные качества, однако высокая стоимость шнуров (35...45 долл. США за килограмм) сдерживает их широкое применение в ремонтном производстве. Стоимость шнуровых материалов, необходимых, например, для восстановления чугунного коленчатого вала, превышает стоимость отливки этой детали.

### 3.7.5. Плазменное напыление

Плазменное напыление основано на использовании энергии плазменной струи как для нагрева, так и для переноса частиц металла. Плазменную струю получают путем продувания плазмообразующего газа сквозь электрическую дугу и обжатыми стенками медного водоохлаждаемого сопла.

Плазменные покрyтия обладают такими свойствами: жаростойкостью, жаро- и эрозионной прочностью, тепло- и электроизоляцией, прогивосхватываемостью, коррозионной стойкостью, защитой от кавитации, полупроводниковыми, магнитными и др.

Области применения плазменных покрyтий: ракетная, авиационная и космическая техника, машиностроение, энергетика (в том числе атомная), металлургия, химия, нефтяная и угольная промышленность, транспорт, электроника, радио- и приборостроение, материаловедение, строительство, ремонт машин и восстановление деталей.

Если себестоимость газопламенного напыления проволочными материалами принять за единицу, то себестоимость плазменного и газопламенного напыления порошков будут соответственно 1,9 и 1,6, а электродугового – 0,85.

Плазменную струю получают в плазменной горелке, основные части которой (рис. 3.34) – электрод-катод 1, водоохлаждаемое медное сопло-анод 4, стальной корпус 2, устройства для подвода воды 3, порошка 5 и газа 6. Части корпуса, взаимодействующие с катодом или анодом, изолированы друг от друга.

Порошкообразный материал подают питателем с помощью транспортирующего газа. Возможен ввод порошка с плазмообразующим газом.

Напыляемый материал (порошок, проволока, шнур или их комбинация) вводят в сопло плазменной горелки ниже анодного пятна, в столб плазменной дуги или плазменную струю.

Высокие температура и скорость струи делают возможным напыление покрyтий из любых материалов, не диссоциирующих при нагреве, без ограничений на температуру плавления. Плазменным напылением получают покрyтия из металлов и сплавов, оксидов, карбидов, боридов, нитридов и композиционных материалов.

Необходимые физико-механические свойства покрyтий объясняются высокими температурой плазмы и скоростью ее истечения, применением инертных плазмообразующих газов, возможностью регулирования аэродинамических условий формирования металлоплазменной струи.

В материале детали не происходит структурных преобразований, возможно нанесение тугоплавких материалов и многослойных покрyтий из различных материалов в сочетании плотных и твердых нижних слоев с пористыми и мягкими верхними (для улучшения прирабатываемости покрyтий), износостойкость покрyтий высокая, достижима полная автоматизация процесса.

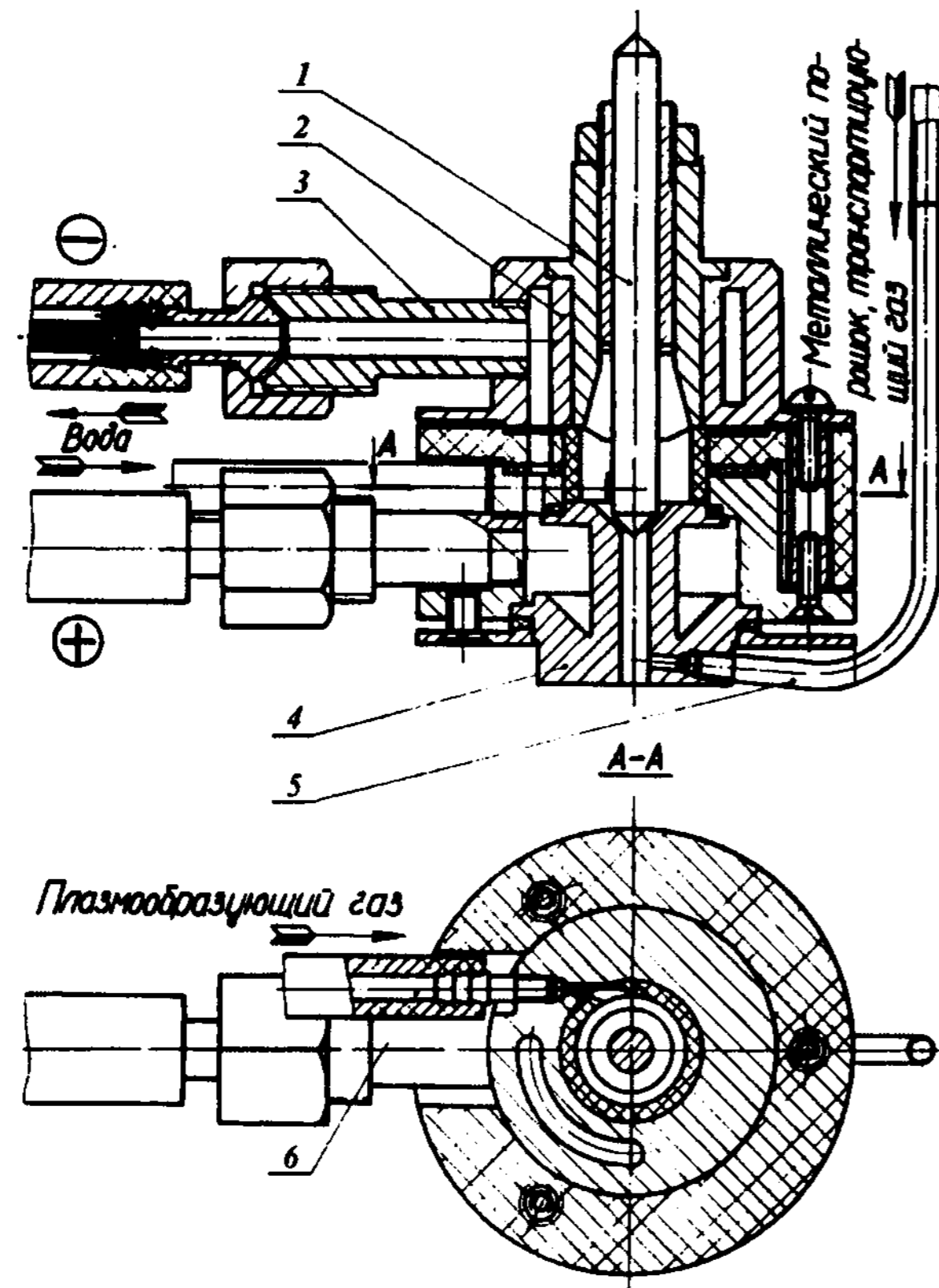


Рис. 3.34. Плазменная горелка для напыления порошкового материала

В качестве плазмообразующих газов при напылении материалов используют аргон, гелий, азот, водород и их смеси (табл. 3.68). Плазмообразующие газы не содержат кислорода, поэтому не окисляют материал и напыляемую поверхность.

Гелий и водород в чистом виде практически не применяются по экономическим соображениям, а также вследствие разрушающего действия на электрод.

Азот и аргон используются чаще, однако наилучшими показателями обладают газовые смеси, например  $Ar + N_2$  и  $Ar + H_2$ . Вид плазмообразующего газа выбирают исходя из требуемых температуры, теплосодержания и скорости потока, его степени инертности к распыляемому мате-

### 3.68. Физико-химические характеристики плазмообразующих газов

Характеристика	Водород	Азот	Аргон	Гелий
Атомная или молекулярная масса	2,016	28,0016	39,94	4,0024
Плотность при 0 °С и 760 мм рт.ст., кг/м <sup>3</sup>	0,084	1,2505	1,783	0,1785
Вязкость при 20 °С и 760 мм рт.ст., мкПа	88	170	221	196
Теплоемкость при 20 °С и 760 мм рт. ст., кал/(кг·°С)	3,408	0,250	0,125	1,251
Коэффициент теплопроводности при 0 °С и 760 мм рт. ст., Мкал/(ч·м·°С)	150	20,9	14	130
Потенциал ионизации, В:				
– однократный	13,5	14,5	15,7	24,5
– двукратный	–	29,4	27,5	54,1
Энтальпия плазмы, ккал/кг	76 600	9950	4670	5110
Температур плазмы, °С	5000	7200	14 000	20 000
Напряжение дуги, В	62	60	40	47
Энергия, подводимая к дуге, кВт	120	65	48	50
Коэффициент использования энергии на нагрев газа, %	80	60	40	48
Коэффициент теплоотдачи от плазмы к частице материала, %	26	3	0,9	0,9

риалу и восстанавливаемой поверхности. Следует учитывать, что плазма двух- и многоатомных газов по сравнению с одноатомными содержит больше тепла при одинаковой температуре, потому что ее энтальпия определяется тепловым движением атомов, ионизацией и энергией диссоциации.

При напылении порошковых или шнуровых материалов электрическое напряжение прилагают к электродам плазменной горелки. При напылении проволочных материалов напряжение подводят к электродам горелки, дополнительно оно может быть приложено к напыляемому ма-

териалу, т.е. проволока может быть токоведущей или нет. Напыляемую деталь в цепь нагрузки не включают.

Порошки для плазменного напыления не должны создавать заторы в транспортных трубопроводах, а должны равномерно подаваться в плазменную струю и свободно перемещаться с газовым потоком. Этим требованиям удовлетворяют частицы порошка сферической формы диаметром 20...100 мкм.

В Институте электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины разработаны порошковые проволоки сер. АМОТЕК, состоящие из стальной оболочки и порошкового наполнителя. Эти материалы предназначены для нанесения износо- и коррозионно-стойких покрытий способами газоплазменного, электродугового и плазменного напыления. Особенностью материалов является возможность аморфизации структуры напыляемых покрытий. Наличие аморфной составляющей в структуре покрытий обеспечивает комплекс повышенных служебных свойств (износо- и коррозионной стойкости, прочности соединения с основой).

Для защиты частиц напыляемого материала от окисления, обезуглероживания и азотирования применяют газовые линзы (кольцевой поток инертного газа), являющиеся как бы оболочкой плазменной струи, и специальные камеры с инертной средой, в которых происходит процесс напыления.

Приведем примеры применения плазменного напыления в процессах восстановления деталей.

Освоено несколько разновидностей процесса восстановления коренных опор блоков цилиндров. Первые исследователи способа рекомендовали в качестве наносимого материала малоуглеродистую стальную проволоку Св-08 для обеспечения однородной мелкодисперсной структуры покрытия и повышения прочности соединения его с основой. Позднее были рекомендованы порошкообразные материалы. Распространение получили композиционные порошки и порошки из бронзы. Порошки из бронзы наносят на поверхности как чугунных деталей, так и деталей из алюминиевого сплава. Предварительно должен быть нанесен терморегулирующий подслои Al-Ni.

При восстановлении коренных опор в чугунных блоках цилиндров применяют более дешевый порошок грануляцией 160...200 мкм состава: Fe (основа), 5 % Cu и 1 % Al. Режим нанесения покрытия: ток плазменной дуги 330 А, напряжение 70 В, расход плазмообразующего газа (азота) 25 л/мин, диаметр сопла плазмотрона 5,5 мм, частота качаний плазмотрона 83 мин<sup>-1</sup>, подача детали 320 мм/мин, расход порошка 7 кг/ч.



Процесс нанесения плазменного покрытия на поверхности отверстий в деталях из алюминиевого сплава включает:

- 1) сушку порошков при температуре 150...20 °С в течение 3 ч;
- 2) предварительное растачивание отверстий до размера, превышающего на 1 мм номинальный размер отверстия;
- 3) установку защитных экранов;
- 4) обезжиривание напыляемых поверхностей ацетоном;
- 5) нанесение покрытия в две операции;
- 6) снятие защитных экранов;
- 7) предварительное и окончательное растачивание;
- 8) удаление облоя.

В первой операции наносят подслоя ПН-85Ю15, во второй – основной слой из медного порошка ПМС-Н. Режимы нанесения покрытий: сила тока 220...280 А, расход азота 20...25 л/мин при давлении 0,35 МПа, расстояние от сопла до детали 100...120 мм, время нанесения покрытия 15 мин. Покрытие наносят на стенде. Плазмообразующее оборудование состоит из источника питания ИПН 160/600 и установки УПУ-3Д или УПУ-8.

Применяют плазменное напыление при нанесении покрытий на плоскости головок цилиндров из силумина. Технология включает предварительное фрезерование изношенной поверхности, нанесение покрытия и последующую обработку. В качестве материала покрытия используют порошок из алюминия и 40...48 % Fe. Режим нанесения покрытия: сила тока 280 А, расстояние от сопла до детали 90 мм, расход плазмообразующего газа (азота) 72 л/мин.

С целью удешевления процесса и повышения его производительности внедрен процесс электродугового напыления плоскостей из проволоки Св-АК5 диаметром 2 мм. Применяют источник тока ВГД-301 и металллизатор ЭМ-12. Режимы напыления: сила тока 300 А, напряжение 28...32 В, давление распыливающего воздуха 0,4...0,6 МПа, расстояние от сопла до детали 80...100 мм. Покрытие толщиной 5 мм наносят за 8...10 мин.

При восстановлении поршней из алюминиевого сплава наносят плазменное покрытие из порошка бронзы ПР-Бр. АЖНМц 8,5-4-5-1,5 (8,5 % Al, 4 % Fe, 4,8 % Ni, 1,4 % Mn, остальное Cu). Используют установку УПУ-8. Режим нанесения: ток 380 А, расстояние от сопла до детали 120 мм, плазмообразующий газ – смесь аргона с азотом.

При восстановлении коленчатых валов из высокопрочного чугуна наносят плазменное покрытие из композиции порошков на терморреаги-

рующей подстой из материала ПН-85Ю15. Состав композиции: 50 ПГСР, 30 % ПЖ4 и 20 % ПН85Ю15.

Режимы процесса:  $I = 400$  А, расстояние от сопла до детали 150 мм, расход азота 25 л/мин. Согласно авторскому свидетельству на изобретение СССР № 1737017, цель которого – повышение адгезионной и когезионной прочности покрытий, наносимый материал содержит (в мас. %) самофлюсующийся сплав системы Ni–Cr–B–Si 25...50, порошок железа 30...50 и никель-алюминиевый порошок 20...25.

*Микроплазменное напыление* применяют при восстановлении участков деталей с размерами 5...10 мм с целью уменьшения потерь напыляемого материала. Используют плазмотроны малой мощности (до 2,5 кВт), генерирующие квазиламинарную плазменную струю при силе тока 10...60 А. В качестве плазмообразующего и защитного газа применяют аргон. При микроплазменном напылении удается уменьшить диаметр металлоплазменной струи до 1...5 мм. Процесс характерен низким уровнем шума (30...50 дБ) и небольшим количеством отработавших газов, что позволяет вести напыление в помещении без применения рабочей камеры. Создана установка микроплазменного напыления МПН-001.

Технологические режимы плазменного напыления определяются видом и дисперсностью материала, током плазменной струи и его напряжением, видом и расходом плазмообразующего газа, диаметром сопла плазменной горелки и расстоянием от сопла до напыляемой поверхности.

Дисперсность частиц материала, ток плазменной струи и расход плазмообразующего газа определяют температуру нагрева частиц и их скорость перемещения, а значит, – плотность и структуру покрытия.

Большая равномерность свойств покрытия обеспечивается при более высокой скорости перемещения плазмотрона относительно детали и меньшей толщине слоя. Эта скорость мало влияет на коэффициент использования материала и значительно сказывается на производительности процесса.

Расстояние от сопла до восстанавливаемой поверхности зависит от вида плазмообразующего газа, свойств напыляемого материала и изменяется в пределах 120...250 мм (чаще 120...150 мм). Угол между осью потока частиц и восстанавливаемой поверхностью должен приближаться к  $90^\circ$ .

Оптимальное сочетание теплосодержания потока плазмы, времени пребывания частиц в этом потоке и их скорости обеспечивает получение покрытий с высокими физико-механическими свойствами.

Свойства плазменных покрытий существенно улучшаются при их *оплавлении*. При этом плавится наиболее легкоплавкая часть материала, однако температура нагрева должна быть достаточной для плавления боросиликатов, которые восстанавливают металлы из оксидов и образуют шлаки.

Оплавляемые материалы должны удовлетворять таким требованиям: температура плавления легкоплавкой составляющей сплава не должна превышать 1000...1100 °С, сплав в разогретом состоянии должен хорошо смачивать поверхность заготовки и обладать свойством самофлюсования. Такими свойствами обладают порошковые материалы на основе никеля, имеющие температуру плавления 980...1050 °С и содержащие флюсующие элементы: бор и кремний. Недостаточная температура нагрева покрытия приводит к образованию на поверхности капель металла. Жидкое состояние части покрытия способствует интенсивному протеканию диффузионных процессов, при этом материал детали остается в твердом состоянии.

В результате оплавления значительно повышается прочность соединения покрытия с основой, увеличивается когезионная прочность, исчезает пористость и улучшается износостойкость.

Оплавленные покрытия имеют обрабатываемость, близкую к обрабатываемости монолитных жаропрочных сталей и сплавов аналогичного химического состава.

Покрытия оплавляют: газовой горелкой (ацетиленокислородным пламенем), в термической печи, индуктором (токами высокой частоты), электронным или лазерным лучом, плазменной горелкой (плазменной струей), пропусканием тока большой величины.

Оплавление газовой горелкой – наиболее простой способ, позволяющий визуально контролировать качество оплавления. Недостатки способа – односторонний нагрев детали, который может привести к ее короблению, и большая трудоемкость при обработке массивных деталей.

Печное оплавление обеспечивает прогрев всего объема детали, поэтому вероятность появления трещин уменьшается. Однако сопряженные с покрытием участки детали покрываются окалиной, их физико-механические свойства ухудшаются. Негативное влияние окислительной атмосферы на свойства покрытий при их нагреве исключается при наличии защитной среды.

Хорошие результаты дает индукционное оплавление, которое обеспечивает большую производительность без нарушения термообработки всей заготовки. Нагреву подвергают только покрытие и примыкающий к нему тонкий слой основного металла. Толщина прогреваемого металла

зависит от частоты тока: с увеличением последней толщина уменьшается. Высокие скорости нагрева и охлаждения могут привести к трещинам в покрытии.

Оплавление покрытий электронным или лазерным лучом практически не изменяет свойств сопряженных с покрытием участков и сердцевины детали. Вследствие высокой стоимости эти способы следует применять при восстановлении ответственных дорогостоящих деталей, покрытия на которых трудно оплавить другими способами.

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

- твердость 35...60 HRC в зависимости от содержания в них бора;
- повышенную в 2...3 раза износостойкость по сравнению с закаленной сталью 45, что объясняется присутствием в структуре покрытия твердых кристаллов (боридов и карбидов);
- увеличенную в 8...10 раз прочность соединения покрытия с основой по сравнению с прочностью соединения неоплавленных покрытий;
- повышению на 20...25 % усталостную прочность.

Область применения плазменных покрытий с последующим оплавлением – это восстановление поверхностей деталей, работающих в условиях знакопеременных и контактных нагрузок.

Оплавленные покрытия имеют многофазную структуру, составляющие которой – бориды, избыточные карбиды и эвтектика. Вид микроструктуры (дисперсность, вид и количество составляющих) зависит от химического состава самофлюсующегося сплава, времени и температуры нагрева.

Наилучшую износостойкость деталям в нагруженных сопряжениях обеспечивают покрытия из самофлюсующихся сплавов. Структура покрытия – высоколегированный твердый раствор с включениями дисперсных металлоподобных фаз (прежде всего боридных или карбидных) с размером частиц 1...10 мкм, равномерно распределенных в основе.

Для плазменного напыления металлических и неметаллических покрытий (тугоплавких, износостойких, коррозионно-стойких) применяют установки: УН-115, УН-120, УПМ-6, УПУ-3Д, УПС-301, АПР-403, УПРП-201.

### 3.7.6. Детонационное напыление

При *детонационном напылении* наносимые частицы приобретают энергию во время горения и перемещения ацетиленокислородной смеси в стволе пушки. Детонация – особый вид горения газообразного топлива.

Она возникает в начальный период горения смеси и распространяется по трубе со скоростью 2000...3000 м/с. Температура горения смеси при детонационном напылении достигает 5700 К, а развиваемое давление – сотни мегапаскалей. Скорость полета наносимых частиц 600...800 м/с, а их температура до 4000 К. Покрытия имеют малую пористость (до 0,5 %) и высокую прочность соединения с подложкой (до 200 МПа).

Наносимые частицы нагреваются за счет теплообмена с высокотемпературной газовой средой и перемещаются ударной волной, возникшей в результате детонации горючей газовой смеси в стволе установки.

Установка детонационного напыления (рис. 3.35) включает водоохлаждаемый закрытый с одного конца ствол 5 длиной 1200...2000 мм и диаметром 8...40 мм. Внутренняя полость ствола вблизи торцевой стенки образует взрывную камеру 3. В ее стенке установлено запальное устройство 2 и клапанное устройство для подачи горючего и окислительного газов. В торце ствола имеется порошковый питатель 1. На расстоянии 150...200 мм от среза ствола перпендикулярно к оси располагают восстанавливаемую поверхность детали.

В установке имеется камера смешивания горючих газов с окислителем. Смешивание газов необходимо для равномерного распределения газовой смеси вдоль ствола. Газовые потоки в камере смешивания движутся под углом друг другу или закручиваются.

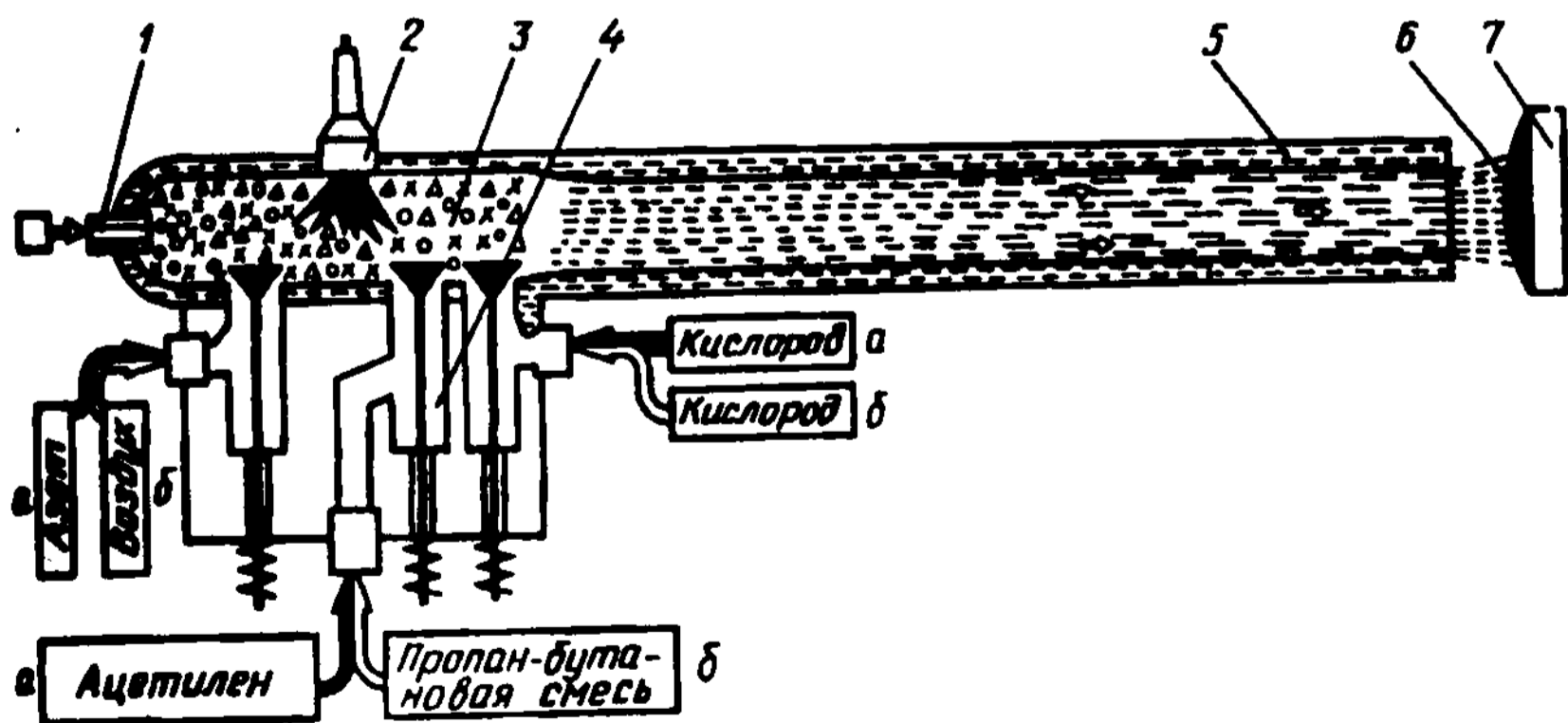


Рис. 3.35. Схема установки для детонационного напыления:  
 а – базовой; б – усовершенствованной; 1 – порошковый питатель;  
 2 – запальное устройство; 3 – взрывная камера; 4 – смесительная камера;  
 5 – водоохлаждаемый ствол; б – покрытие; 7 – восстанавливаемая деталь

Предусмотрено устройство, исключаящее обратные удары из детонационной камеры в коммуникации и агрегаты установки. Ввиду того что водные затворы неэффективны, применяют газовые буфера, пламегасители и огнепреградители.

Для зажигания горючей смеси достаточно энергии  $9 \cdot 10^{-4} \dots 10^{-6}$  Дж. Обычно применяют автомобильные свечи, воспроизводящие индукционную искру с энергией 0,05...0,20 Дж. Для их питания годится маломощный источник с трансформатором напряжения и конденсатором.

Установка оснащена системой полуавтоматического или автоматического управления.

Установка работает следующим образом.

С помощью транспортирующего газа (азота или воздуха) во взрывную камеру подают порцию порошка массой 50...200 мг, а через клапанное устройство под давлением 0,12...0,20 МПа – горючую смесь (ацетилен – кислород или пропан-бутан – кислород). В качестве горючих газов можно также применять водород, метан (природный газ) и другие углеводороды. Окислителем может быть и воздух. Между электродами запального устройства инициируют электрическую искру, которая поджигает горючую смесь.

В начале процесс горения смеси горючий газ – кислород протекает со сравнительно небольшой скоростью. Горение горючих газов под атмосферным давлением в окислительной среде (воздухе или кислороде) в ламинарном или турбулентном режиме сопровождается как непрерывным расширением и перемещением его продуктов со скоростью до 10...15 м/с, так и сжатием несгоревшей газовой среды за фронтом пламени. Это сжатие в ограниченном объеме и теплопередача от очага горения к несгоревшей части смеси повышают температуру и давление этой части смеси. При достижении критических значений этих величин газовая среда самовоспламеняется и сгорает со скоростью взрыва. Данное явление представляет собой детонацию.

Таким образом, детонация – это процесс взрывного горения горючей смеси с последующим образованием ударной волны. Эта волна перемещается от очага горения (к открытому от днища концу трубы и навстречу фронту первого пламени). Отраженная от днища взрывная волна увлекает навеску порошка и перемещает ее наружу вдоль оси ствола со сверхзвуковой скоростью. После достижения открытого конца ствола детонационная волна затихает на расстоянии за ним ~ 100 мм.

Химическая энергия горения смеси расходуется на нагрев и расширение газа, перемещение и нагрев навески порошка. Высокая температура нагрева напыляемого материала в некоторых случаях приводит даже к

его испарению. Кинетическая энергия частиц в 1000 раз превосходит кинетическую энергию частиц при плазменном напылении. Превращение кинетической энергии частиц в момент удара в тепловую энергию большого количества дефектов материала в момент удара объясняет высокую прочность покрытия и отсутствие закрытой пористости.

Процесс завершается продувкой ствола инертным газом. Цикл работы повторяется через 0,2...0,5 с.

Частота цикла детонационного устройства для напыления покрытий может быть увеличена до 15 Гц и выше. Непрерывная автоматическая подача порошков и газов при этом упрощает технологию и оборудование.

При детонационном напылении, как и при газопламенном, применяют металлические, оксидно-керамические, композитные и другие порошки. Порошки не должны реагировать с продуктами сгорания. Средний размер частиц порошка 10...50 мкм. Детонационное напыление нашло применение при нанесении защитных и износостойких покрытий из оксидов алюминия и карбидов вольфрама, карбидокобальтовых сплавов и хрома на наружные поверхности.

Единичное пятно наносимого материала массой 50...100 мг имеет диаметр около 2 мм и толщину 3...5 мкм. Совмещение пятен во время нанесения покрытия обеспечивает его общую толщину 0,02...0,40 мм. Производительность процесса невысокая. Для создания покрытия равномерной толщины деталь перемещают относительно канала ствола.

При разработке детонационного напыления учитывают такие особенности.

Ствол установки определяется следующими параметрами: формой канала, чистотой его поверхности, наличием форкамеры, отношением длины к диаметру и др. Диаметр ствола принимают ~ 8 мм. С уменьшением этого диаметра затрудняется детонационный взрыв и возрастают тепловые потери. Длина ствола обеспечивает получение необходимой скорости напыляемых частиц.

Вид и расход газа принимают исходя из производительности процесса и необходимой температуры продуктов горения.

Диаметр частиц составляет 10...50 мкм. Подача детали за цикл не более половины диаметра пятна. Коэффициент использования материала 30...60 %. Плотность частиц по пятну контакта составляет  $10^3 \dots 10^5$  частиц/(см<sup>2</sup>·с).

В лабораторных условиях восстановлены коленчатые валы путем нанесения на их шейки оксида алюминия. Восстановленные элементы обладают высокой износостойкостью.

Детонационные покрытия наносят с помощью установок «Днепр-2», «Днепр-3» (разработчик – Институт порошковой металлургии (ИПМ) НАН Украины, сокращенно ИПМ НАН Украины) и «Катунь» (разработчик – НПО «Анитип», г. Барнаул). Модели установок – АДК, АДК-ДНП-5, АДУ-СП и др. Технические характеристики некоторых установок приведены ниже.

#### Технические характеристики автоматического детонационного комплекса АДК-1М

Производительность, кг/ч . . . . .	1,1... 5,3
Потребляемая мощность, Вт, не более . . . . .	300
Температура рабочей смеси, °С . . . . .	3500
Давление рабочей среды, МПа . . . . .	0,12
Скорострельность, с <sup>-1</sup> . . . . .	2...5
Иницирование . . . . .	Форкамерное
Коэффициент использования порошков, % . . . . .	50...60
Толщина покрытия на один цикл, мкм . . . . .	8...15
Точность толщины наносимого покрытия, мкм, . . . . .	10...20

#### Технические характеристики детонационной установки «Днепр-3», разработанной ИПМ НАН Украины

Напряжение сети, В . . . . .	220
Потребляемая мощность, Вт . . . . .	300
Расход рабочих газов, м <sup>3</sup> /с:	
– кислорода . . . . .	0,59...3,30
– пропан-бутана (ацетилен) . . . . .	0,27...2,30
– азота . . . . .	1,3...5,5
Производительность при толщине напыляемого слоя 15мкм, м <sup>2</sup> /с. . . . .	0,02...1,33
Толщина покрытия за один выстрел, мкм . . . . .	5...20
Диаметр пятна, мм . . . . .	20
Скорострельность, с <sup>-1</sup> . . . . .	2...6

Детонационное оборудование имеет большие габаритные размеры, его производительность невысокая, стоимость нанесения покрытия большая. Уровень шума при работе детонационной установки 125..140 дБ, поэтому ее устанавливают в отдельном помещении со звукоизолирующими стенами. Оператор управляет процессом, находясь за стеной. В выхлопных газах наблюдается повышенное содержание оксидов углерода, азота и других веществ.

Дальнейшее развитие детонационной технологии связано с подачей жидкого металла в ствол пушки. В этом случае объединяют хорошо отработанную технологию и оборудование для дугового напыления с малогабаритным высокочастотным детонационным ускорителем продуктов сгорания. Пористость покрытия при этом составляет 5...8 %, сквозная пористость отсутствует, шероховатость покрытия малая, а количество оксидов  $\leq 2...6$  %.

Конкуренитом и наиболее близким аналогом детонационного напыления является высокоскоростное газопламенное напыление. В условиях высокоскоростного напыления материал сосредоточивается вблизи оси струи. Угол расхождения сверхзвуковых двухфазных струй меньше, чем дозвуковых, и составляет 5...7°. Это приводит к уменьшению диаметра пятна напыления и более экономному использованию материала. Коэффициент использования материала достигает 0,85 против 0,75 при традиционном электродуговом напылении.

Исследуется газодинамический способ нанесения покрытий, который отличается тем, что покрытие формируется из частиц, ускоренных сверхзвуковым газовым потоком. Поток газа с частицами проходит через сверхзвуковое сопло, при этом нет необходимости подготавливать напыляемую поверхность и в том числе нагревать ее. Достигаются высокая адгезия (150 МПа) и низкая пористость ( $< 1$  %), производительность до 100 кг/ч.

### 3.7.7. Индукционное напыление

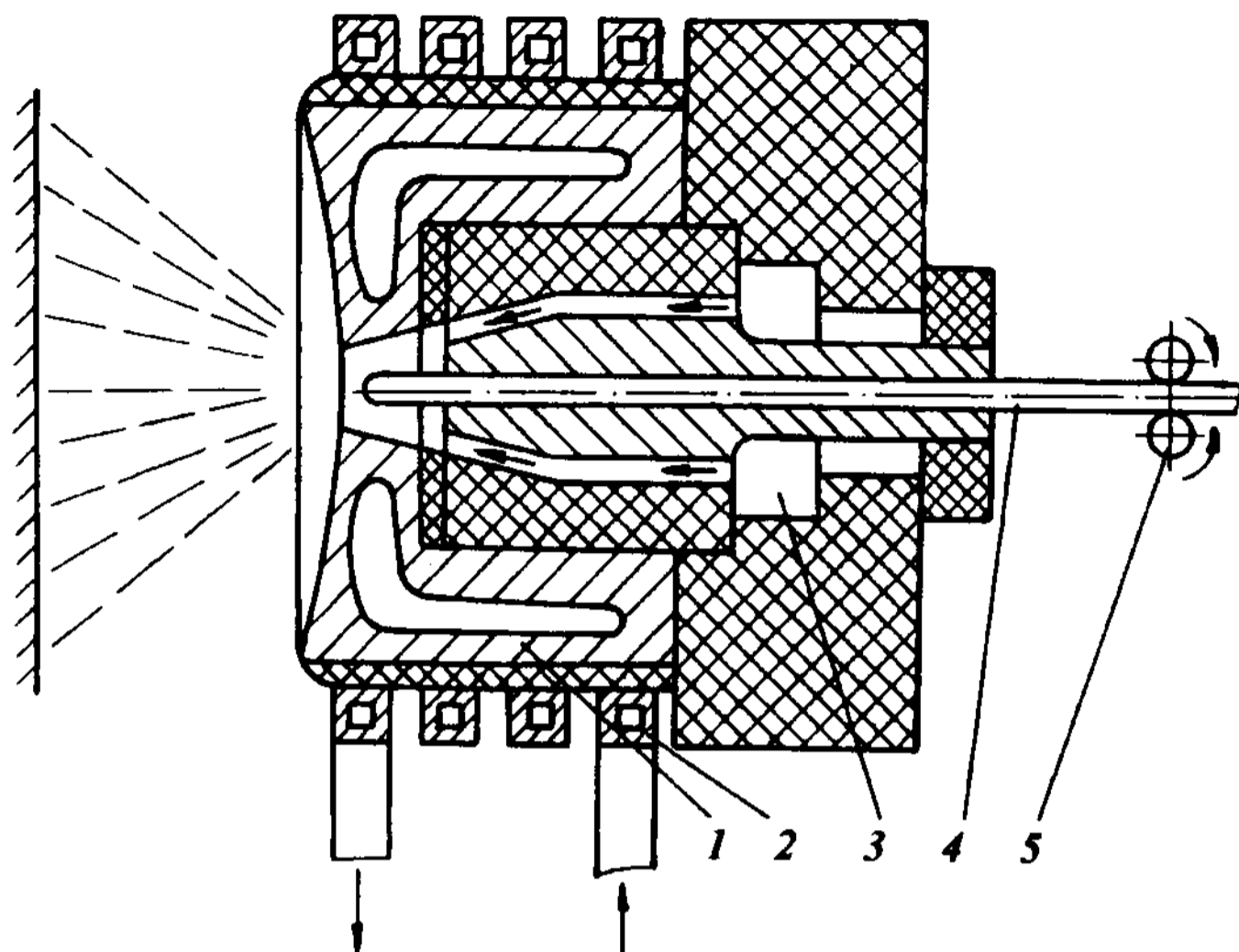
*Индукционное напыление* разработано и впервые применено в СССР. Напыляемая проволока подается в индуктор, где нагревается и расплавляется вихревыми токами, возникающими за счет переменного магнитного поля. Расплавленный металл распыляется сжатым воздухом. Головка индукционного аппарата (рис. 3.36) имеет высокочастотный индуктор и концентратор тока, который обеспечивает нагрев проволоки на небольшом участке. Частота тока  $f$  (Гц), необходимого для расплавления проволоки, определяется по формуле

$$f = k/d^2, \quad (3.35)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от материала проволоки и температуры ее плавления;  $d$  – диаметр проволоки, см.

Ток высокой частоты вырабатывают ламповые (ЛГПЗ-30, ГЗ-46, ЛПЗ-60 и др.), машинные (ОПЧ-250/2400, ВПЧ-100/8000 и др.) или тиристорные (ТПЧ-100-2,4 и др.) генераторы.





**Рис. 3.36. Устройство для индукционного напыления:**  
 1 – концентратор тока; 2 – индуктор; 3 – воздушный канал;  
 4 – проволока; 5 – подающие ролики

Индукционное напыление обеспечивает небольшое окисление металла и высокую прочность покрытий, но имеет невысокую производительность процесса, а применяемое оборудование при этом сложное и дорогое.

Для индукционного напыления применяют установки МВЧ-1, МВЧ-2.

### 3.7.8. Вакуумное конденсационное напыление

Покрытие при *вакуумном конденсационном напылении* формируется из потока частиц, находящихся в атомарном, молекулярном или ионизированном состоянии. Этот поток частиц получают распылением материала посредством воздействия на него различными энергетическими источниками. Различают распыление наносимого материала путем термического испарения, взрывного испарения-распыления и ионного распыления твердого материала. Вакуумное конденсационное напыление проводят в жестких герметичных камерах при давлении  $133 \cdot 10^{-3} \dots 13,3$  Па. Благодаря этому обеспечиваются необходимая длина свободного пробега напыляемых частиц и защита материала от взаимодействия с атмосферными газами.

В общем случае движущей силой переноса частиц в направлении к поверхности напыления является разность парциальных давлений паровой фазы. Наиболее высокие давления пара, достигающие 133 Па и более, наблюдаются вблизи поверхности распыления (испарения). Это и обуславливает перемещение частиц в направлении напыляемого изделия, где парциальное давление паров минимально. Ионизированные частицы обладают большей энергией, что обеспечивает получение покрытий высокого качества.

Способы вакуумного конденсационного напыления классифицируют по различным признакам:

– по способам распыления материала и формирования потока распыленных частиц: термическим испарением материала из твердого или расплавленного состояния, взрывным (интенсифицированным) испарением-распылением; ионным распылением твердого материала;

– по энергетическому состоянию напыляемых частиц: напыление нейтральными частицами (атомами, молекулами) с различным их энергетическим состоянием; напыление ионизированными частицами; напыление ионизированными ускоренными частицами. В реальных условиях в потоке присутствуют различные частицы;

– по способу взаимодействия напыляемых частиц с остаточными газами камеры: напыление в инертной разреженной среде или в высоком вакууме ( $133 \cdot 10^{-3}$  Па); напыление в активной разреженной среде ( $13,3 \cdot 10^{-4} \dots 133 \cdot 10^{-4}$  Па).

Процесс вакуумного конденсационного напыления покрытий включает три стадии:

1) переход конденсированной фазы в газо- или парообразную фазу;

2) формирование потока и перенос напыляемых частиц на поверхность напыления;

3) конденсация паров на поверхности напыления – формирование покрытия.

Скорость осаждения покрытий  $V_n$  (мм/с) для точечного источника определяется по формуле

$$V_n = \frac{v_p S \cos \alpha}{4\pi L^2}, \quad (3.36)$$

где  $v_p$  – скорость распыления (испарения), мм/с;  $S$  – площадь распыления, мм<sup>2</sup>;  $\alpha$  – угол между направлением потока частиц и нормалью к

поверхности напыления;  $L$  – расстояние от очага распыления до напыляемой поверхности, мм. Для плоского источника

$$V_{\text{п}} = \frac{v_{\text{р}} S \cos \alpha \cos \theta}{\pi L^2}, \quad (3.37)$$

где  $\theta$  – угол между направлением потока частиц и нормалью к поверхности распыления (испарения).

Первая стадия процесса должна обеспечивать наряду с регулируемой скоростью и площадью распыления отсутствие в потоке конденсированной фазы в виде жидких или твердых частиц. Во второй стадии необходимо стремиться к формированию потока с максимальной степенью ионизации паровой фазы. Третья стадия определяется предыдущими процессами.

Введение в камеру активных газов позволяет перейти к способу вакуумного реакционного напыления покрытий. Конденсаты вступают в химическое взаимодействие с активными газами (кислородом, азотом, оксидом углерода и др.) и образуют соответствующие соединения: оксиды, нитриды, карбиды и др.

С помощью вакуумного конденсационного напыления создают износостойкие покрытия на поверхностях трения, режущих кромках инструмента и др.

Перспективен способ вакуумного конденсационного напыления с ионизацией потока напыляемых частиц, стимулируемых плазмой. Часто его называют ионно-плазменным. Способ применяют для нанесения износостойких покрытий с особыми свойствами толщиной до 0,02 мм. Для этой цели выпускают установки ИЭТ-8И2, ННВ-6,6И1, ВУ-1Б. С помощью установки «Булат-3Т», например, наносят покрытия на детали топливной аппаратуры и режущий инструмент.

Восстанавливаемые детали должны иметь размеры, соответствующие размерам рабочей камеры; материал их должен характеризоваться невысоким давлением насыщающих паров при температуре процесса и допускать нагрев до 400 °С.

Состав и форма материала оказывают большое влияние на процесс испарения и распыления. Наиболее часто используют компактные материалы в виде стержней, проволоки, таблеток, дисков и диспергированных материалов в форме порошков, гранул и др. Размеры материала выбирают из условий получения оптимальной площади распыления (испарения), максимального его использования, равномерной подачи в зону напыления.

Преимущества процесса: высокие физико-механические свойства покрытий; возможность получения покрытий из синтезированных материалов (карбидов, нитридов, оксидов и др.); нанесение тонких и равномерных покрытий; использование для напыления широкого класса неорганических материалов. Технологический процесс не загрязняет окружающую среду. В этом отношении он выгодно отличается от химических и электролитических способов нанесения тонких покрытий.

К недостаткам процесса следует отнести его невысокую производительность (скорость конденсации около  $\sim 1$  мкм/мин), повышенную сложность технологии и оборудования, низкие энергетические показатели распыления и напыления.

Установки для вакуумного конденсационного напыления покрытий классифицируются по ряду признаков. В зависимости от режима работы установки бывают периодического или полунепрерывного действия. Ось рабочей камеры располагается вертикально и горизонтально. По структурному строению установки делятся на одно- и многопозиционные. Средства откачки среды бывают масляные и безмасляные, низко- и высоковакуумные, а типы распылительных устройств – термического распыления, взрывного дугового испарения-распыления, ионного распыления, комбинированные. Применяют несколько типов установок, различающихся между собой способом нагрева испаряемого материала. К ним относятся установки с резистивными, электронно-лучевыми, высокочастотными индукционными и дуговыми испарителями.

Основные части установки: вакуумная система, включающая рабочую камеру; средства откачки; испарительные или распылительные устройства – генераторы потока напыляемых частиц; система электропитания; системы питания рабочим газом, водяного охлаждения и подогрева; транспортирующее устройство; система контроля и управления. Технический уровень установки определяет качество покрытий, производительность процесса, коэффициент использования энергии и др.

Качество напыленных покрытий в значительной мере зависит от способа создания вакуума в рабочей камере. Наиболее высокие показатели реализуются при использовании безмасляной системы откачки с применением насосов сорбционного типа.

Распылитель (испаритель) должен обеспечивать минимальные потери энергии, подводимой к распыляемому материалу. С увеличением энергии, подводимой к распыляемому (испаряемому) материалу, парциальное давление паров и плотность потока напыляемых частиц будут расти. Часть энергии, подводимой к распыляемому материалу, затрачивается на повышение энергетического уровня частиц в распыленном потоке. Таким образом, с увеличением энергии, подводимой к единице по-

верхности распыляемого материала, растет и производительность процесса.

Температура распыляемого материала оказывает решающее влияние на производительность процесса при обычном термическом испарении. При высокоскоростных способах распыления плазменным или дуговым разрядом эта температура не играет существенной роли.

Расстояние от очага распыления до детали изменяется в пределах 20...500 мм и определяет равномерность толщины покрытия: чем больше это расстояние, тем равномернее толщина. Однако его увеличение в оптимальном снижает коэффициент использования материала. Давление в камере также влияет на равномерность напыленных покрытий. В вакуумных реакционных способах напыления давление в камере является определяющим при образовании покрытий композиционного типа.

Параметры потока напыляемых частиц определяют производительность процесса и свойства покрытий. К этим параметрам относятся: температура материала (300 °С и выше); плотность потока [ $10^{24}$  ( $\text{см}^2 \cdot \text{с})^{-1}$ ]; энергия напыляемых частиц ( $10^{-1} \dots 10^4$  эВ/атом); степень ионизации напыляемых частиц (в мас. %); скорость частиц в направлении поверхности напыления (2000 м/с и более); угол расхождения потока распыляемых частиц (рад).

Было создано несколько типов установок высокоскоростного распыления низкого давления, применяемых для восстановления деталей. Наибольшее распространение получила установка типа ВУ-1Б. На рис. 3.37 приведена схема установки с одним испарителем.

Базовым элементом установки является камера 6 с водяным змеевиком. Откаточный насос 10 обеспечивает в камере вакуум до  $10^{-2}$  Па. Для вымораживания паров масла предусмотрена азотная ловушка 11. Дуговой разряд возбуждается между водоохлаждаемым анодом 1 и распыляемым материалом – катодом 4. Для первоначального возбуждения дуги служит вспомогательный электрод 2. Электродуговой ускоритель плазмы работает от силового специализированного источника постоянного тока 3. Для экстракции ионов из плазменного потока и их ускорения в направлении напыляемого изделия использован высоковольтный источник питания 1, а от него на напыляемое изделие 7 подается отрицательное смещение от десятков вольт до 2...3 кВ. В более совершенных установках предусмотрено несколько испарителей (до шести).

Электромагнитные катушки играют роль стабилизатора катодного пятна на заданной поверхности распыляемого материала, фокусировки и ускорения потока напыляемых частиц, отклонения потока заряженных частиц с целью сепарации потока.

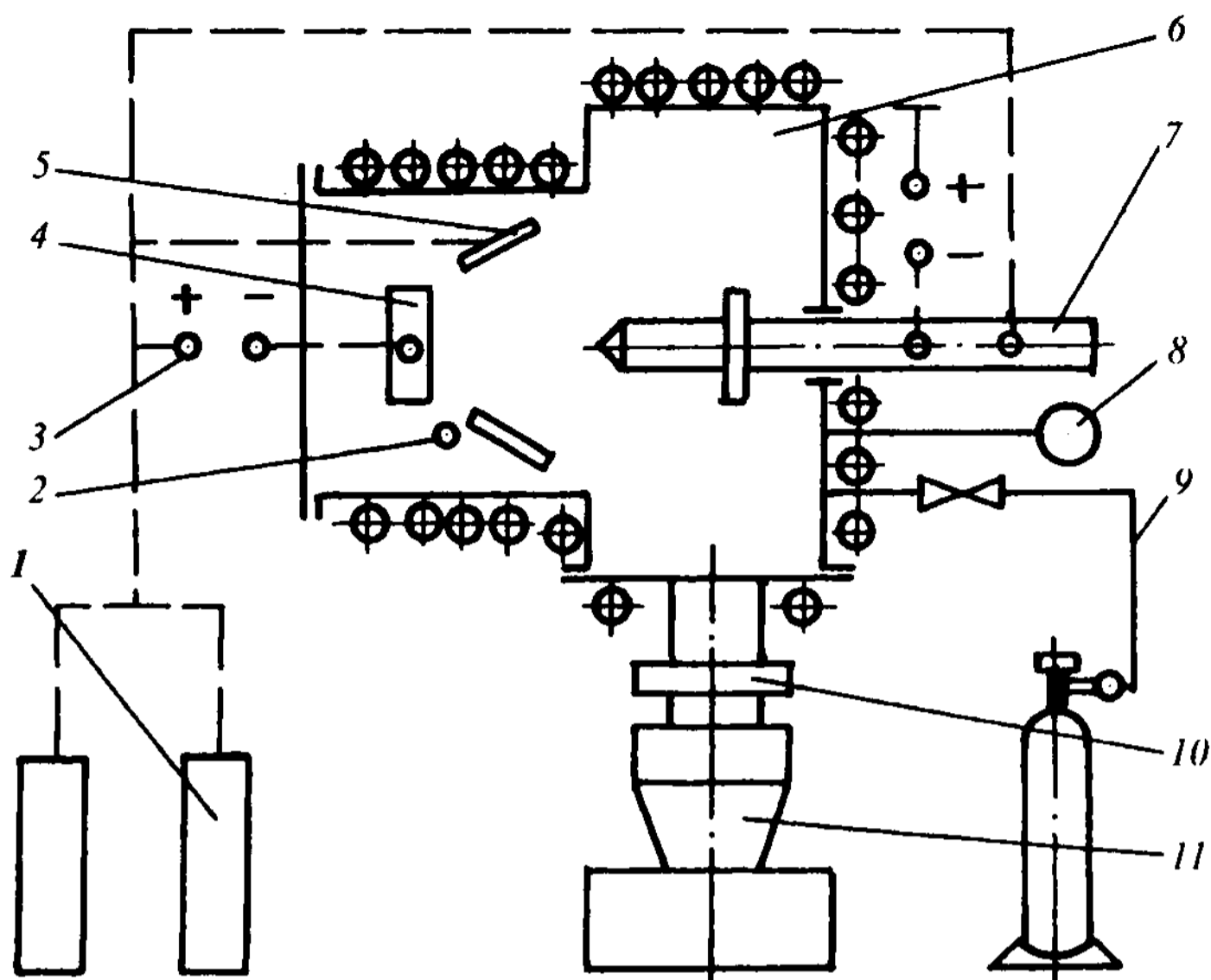


Рис. 3.37. Схема установки типа ВУ-1Б

Установка снабжена устройством для автоматического напуска газа 9. Атмосфера камеры контролируется масс-спектрометром 8. Благодаря этому имеется возможность создания плазменных потоков с регулируемой долей ионов различных элементов.

Выпускались и другие установки аналогичного назначения («Пуск», «Юнион» и др.). Основное их применение – упрочнение различного вида инструментов с использованием реакционной формы процесса напыления.

Установки для вакуумного конденсационного напыления бывают периодического, полунепрерывного и непрерывного действия.

Применение установок периодического действия целесообразно в единичном и мелкосерийном производстве, а также при групповой обработке мелких по размерам однотипных изделий (интегральных схем, режущего инструмента и др.).

Большая часть времени затрачивается на откачку среды из камеры и другие вспомогательные операции. Стремление повысить производительность процесса обусловило применение дополнительных устройств.

Установки для вакуумного напыления покрытий полунепрерывного действия оснащены одной или несколькими шлюзовыми камерами, отделенными от рабочих камер вакуумными затворами.

Установки непрерывного действия дают наибольшую производительность процесса, хотя они довольно сложны. Непрерывная подача напыляемых изделий в рабочую камеру устраняет необходимость в останове испарителя, вакуумной системы и сообщения рабочей камеры с атмосферой. Эффективность установок может быть обеспечена лишь в условиях крупносерийного или массового производства.

### 3.7.9. Упрочняющая обработка напыленных покрытий

Для уменьшения припусков на механическую обработку применяют высокотемпературное уплотнение напыленных покрытий. Оно заключается в приложении давления в процессе локального нагрева. Как показывают металлографические исследования, увеличение усилия обработки и температуры подогрева оказывает положительное влияние на структуру слоя. При этом уменьшаются или вообще исчезают трещины и поры.

В процессе газопламенного напыления расплавленные частицы и восстанавливаемая поверхность взаимодействуют с кислородом воздуха, содержащимся как в продуктах сгорания, так и в окружающей атмосфере. Оксидные пленки на границе раздела покрытие – основа, между слоями покрытия и между отдельными частицами препятствуют образованию прочного покрытия.

Применение экзотермических реагирующих никель-алюминиевых порошков и самофлюсующихся сплавов на основе никеля или кобальта удорожают процесс восстановления деталей. Поэтому разработан способ химико-термической обработки напыленных покрытий, в основе которого лежат восстановление оксидов и последующая карбидизация напыленных покрытий в контролируемой газовой атмосфере заданного состава.

Сущность процесса заключается в том, что деталь с напыленным покрытием помещают в печь с атмосферой, содержащей  $H_2$  и  $C$ , и выдерживают при заданной атмосфере.

В результате химико-термической обработки достигается полное восстановление оксидов, исчезает слоистость, а содержание цементита определяется режимами обработки. Введение в напыляемые (железные) порошки карбидообразующих материалов (хрома) повышает твердость и износостойкость напыленных покрытий.

## 3.8. Электроискровая обработка в процессах восстановления деталей

### 3.8.1. Сущность процесса

Электроискровая обработка металлических поверхностей основана на использовании импульсных электрических разрядов между электродами в газовой среде. Сущность технологии восстановления поверхностей состоит в том, что в промежутке между металлическими электродами разрушается материал анода, а продукты эрозии переносятся на катод (заготовку).

Единичный перенос электродного материала происходит при высокой температуре разряда  $(5...11)10^3$  К. Температура плазмы  $T$  (в К), образующейся в межэлектродном пространстве, приближенно рассчитывается по формуле

$$T = 7200 + 450 C^{1/3}, \quad (3.38)$$

где  $C$  – емкость накопительных конденсаторов, мкФ.

Вследствие кратковременности разряда (до 10 мкс) и локальности нагрева микрообъемы переносимого на деталь металла мгновенно охлаждаются. При определенных режимах обработки происходит сверхскоростная закалка ее поверхностного слоя до высокой твердости. При многократном воздействии искровых импульсов на поверхности детали формируется покрытие со свойствами, близкими к свойствам материала электрода. Толщина покрытия увеличивается с ростом содержания углерода в материале детали и энергии единичного импульса.

При электроискровой обработке происходят:

- нагрев материала электродов и превращение его в газообразное состояние;
- перенос материала в разрядном промежутке с анода на катод;
- диффузия наносимого материала в расплав металла восстанавливаемого элемента в месте разряда;
- образование твердых растворов и мелкодисперсных карбидов в результате быстрого затвердевания жидкой фазы и локальной закалки с огромными скоростями охлаждения.

Нанесение твердых износостойких покрытий толщиной до 0,1 мм относят к упрочнению, а нанесение покрытий большей толщины – к наплавке.

Покрытие, нанесенное на восстанавливаемую поверхность детали, имеет прочную связь с основой, потому что его образование сопровождается химическими и диффузионными процессами.

Специфическая особенность электроискровой наплавки материалов заключается в том, что для каждого режима обработки толщина покрытия  $h$  (мм) растет во времени по кривой с насыщением, описываемой зависимостью

$$h = \pm At_{об}^3 \pm Bt_{об}^2 \pm Ct_{об} \pm D, \quad (3.39)$$

где  $A, B, C, D$  – коэффициенты;  $t_{об}$  – продолжительность обработки, мин.

Чем ближе  $t_{об}$  ко времени насыщения  $F$  (рис. 3.38), тем хуже качество поверхности. Растут шероховатость, пористость и несплошность покрытия. Оно окисляется, становится темным, а дефектность структуры достигает предельного значения. Поэтому обработку следует заканчивать на участках  $O-B$  или  $O-A$ , где скорость нанесения покрытия практически постоянна.

Разрушение электрода происходит по линейному закону, а интенсивность его зависит от теплофизических свойств его материала и режима обработки. Если требуется нанести покрытие большей толщины, то применяют материал с лучшей эрозионной способностью или повышают параметры режима обработки.

### 3.8.2. Применение электроискровой обработки в процессах восстановления деталей

Электроискровой обработкой можно восстанавливать изношенные детали, изменять свойства их поверхностного слоя, упрочнять режущие кромки инструмента (резцов, фрез, штампов и др.) нанесением твердых сплавов, антикоррозионных, жаростойких, фрикционных и антифрикционных материалов. Процесс применяют для наращивания и упрочнения поверхности с износом до 0,2 мм при высоких требованиях к твердости и износостойкости восстановленной поверхности и нежестком требовании к сплошности покрытия.

При рациональном выборе материала анода на поверхности упрочняемой (восстанавливаемой) детали образуется слой высоких значений твердости и износостойкости.

При восстановлении поверхностей, участвующих в трении, можно наносить покрытия толщиной до 0,25 мм, а поверхностей неподвижных соединений – до 1,5 мм. Для упрочнения режущих кромок инструмента наносят покрытия толщиной до 0,1 мм. Шероховатость и сплошность покрытий регулируются.

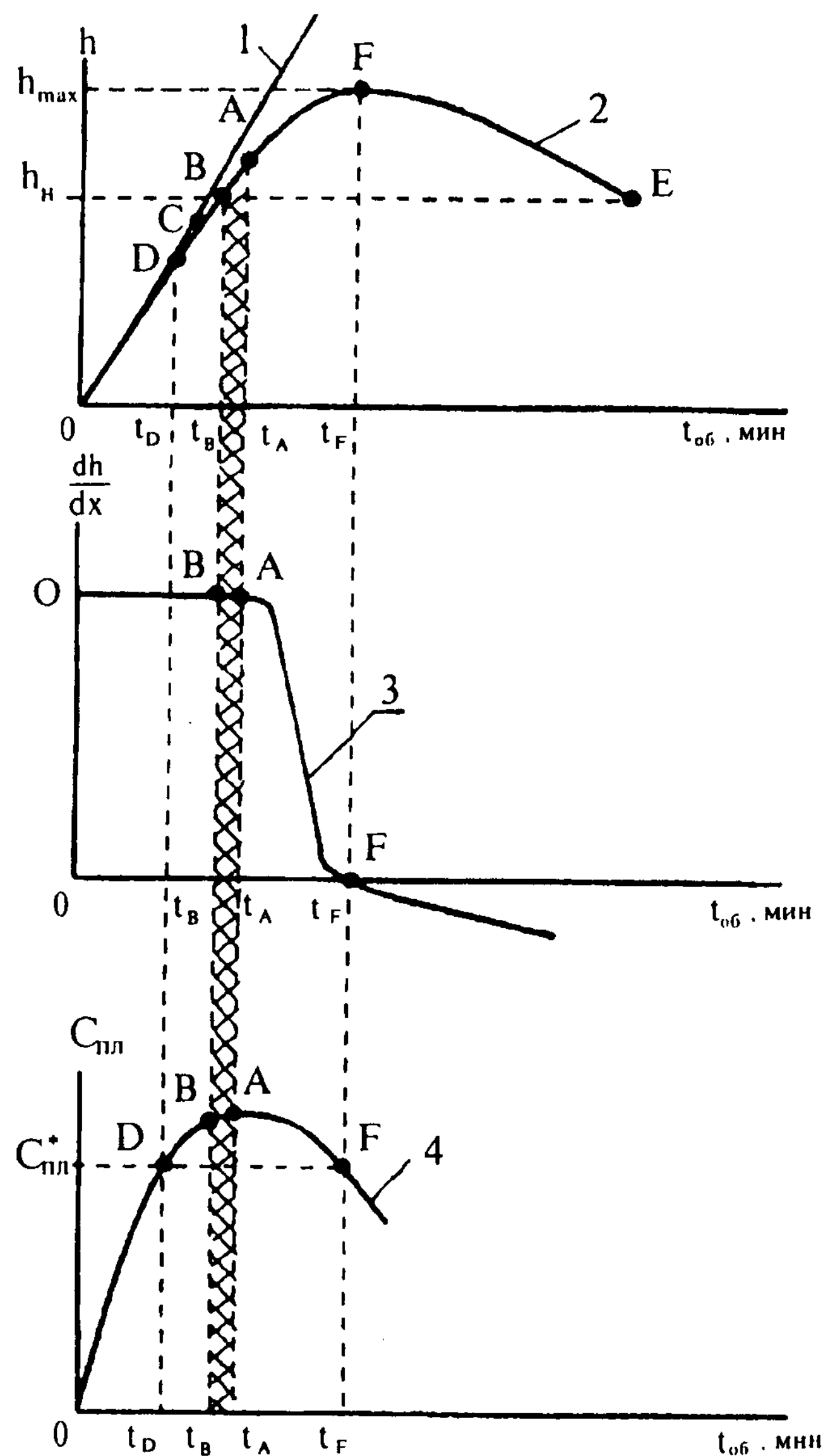


Рис. 3.38. Зависимость роста толщины электрода (1), толщины покрытия  $h$  (2), прироста толщины покрытия  $dh/dt$  (3) и сплошности  $C_{пл}$  (4) от времени обработки  $t_{об}$



Способ применяют для восстановления шеек валов и осей, поверхностей отверстий под подшипники, упрочнения взамен термообработки трущихся поверхностей, создания износостойкого поверхностного слоя толщиной 0,5 мм. Стойкость режущей части инструмента в результате упрочнения увеличивается в 2 раза. Износостойкость деталей после электроэрозионного упрочнения повышается в 3...8 раз.

Электроискровая обработка в ряде случаев при восстановлении изношенных поверхностей подшипниковых узлов является финишной операцией, не требующей дополнительной механической обработки. Способ получил распространение при восстановлении деталей топливной аппаратуры дизелей и золотников, изготовленных из стали 15X и имеющих твердость 56...63 HRC.

Покрытие состоит из трех слоев. Первый слой – это термодиффузионная зона покрытия и основного металла. Второй, нетравящийся (белый) слой представляет собой твердый раствор легирующих или карбидообразующих элементов, входящих в состав электродного материала. Третий слой, подобный газотермическим покрытиям, сформирован из фрагментов застывшего металла и оксидов. Структура упрочненного наружного слоя напоминает строение антифрикционного сплава: частицы мелкодисперсных карбидов включены в сравнительно мягкую основу. Перенесенный материал анода легирует материал детали и, соединяясь с диссоциированным атомарным азотом воздуха и углеродом материала детали, образует диффузионный износостойкий слой. При этом в слое имеются сложные химические соединения, нитриды и карбонитриды, а также закалочные структуры.

Глубина термического влияния на материал детали составляет 0,8...1,0 мм. Предел выносливости детали практически не изменяется.

Формирование микрогеометрии и несущей способности покрытий при электроискровой наплавке имеют особенности.

Исходная шероховатость восстанавливаемой поверхности не должна превышать  $Rz$  10 мкм. Поверхность после электроискровой наплавки существенно отличается от поверхностей, полученных другими способами. После снятия случайно прилипших частиц распыленного металла на поверхности остаются равномерно расположенные скругленные сферические выступы и впадины. Микрорельеф имеет практически одинаковые характеристики по всем направлениям и не содержит острых гребешков, как после механической обработки. Однако с увеличением толщины покрытий средняя высота  $Rz$ , радиус закругления и средний шаг неровностей непрерывно растут.

В условиях эксплуатации наплавленные поверхности показывают лучшие результаты по сравнению с исходными поверхностями. Для достижения оптимальной площади опорной поверхности целесообразно назначать припуски на обкатывание (раскатывание) и механическую обработку в пределах доли толщины покрытия (табл. 3.69).

Если обкатывание (раскатывание) роликами или шариками ведется при давлении 5...20 % от предела текучести материала, то остаточные растягивающие напряжения, возникающие в результате наплавки и снижающие усталостную прочность на 10...30 %, практически снимаются. Опорная поверхность после пластического деформирования увеличивается, а образовавшиеся каналы удерживают  $\sim 0,02 \text{ мм}^3$  масла на каждый  $1 \text{ см}^2$  площади впадин. Угол их раскрытия такой, что за счет поверхностного натяжения масло выступает над поверхностью трения.

Механическую обработку (полирование) наплавленного покрытия назначают после пластического поверхностного деформирования.

В ремонтных чертежах восстановленных деталей согласно ГОСТ 2789-73 должны быть указаны параметры шероховатости  $R_{\text{max}}$ ,  $R_z$  или  $S_m$ , радиус закругления вершин  $r$ , мкм, длина относительной опорной поверхности при различных уровнях профиля  $t_{20\%}$ ,  $t_{40\%}$  и  $t_{50\%}$ , базовая длина  $l_b$ , а также шероховатость поверхности между масляными каналами  $R_a$ .

3.69. Доля толщины покрытия, участвующая в поверхностном пластическом деформировании при упрочнении и восстановлении деталей

Рабочие поверхности	Упрочненные детали	Восстановленные детали
Свободные	0	0
Легконагруженные в неподвижных соединениях	0,05...0,10	0,1...0,2
Тяжелонагруженные в неподвижных соединениях	0,1...0,3	0,2...0,4
Легконагруженные при трении скольжения	0,2...0,4	0,2...0,5
Тяжелонагруженные при трении скольжения	0,4...0,6	0,3...0,7

### 3.8.3. Материалы

Для электроэрозионного упрочнения применяют следующие материалы): металлокерамические твердые сплавы ВК6-ОМ, ВК-8, Т15К6, ТТ15К10-ОМ, Т30К4 и Т60К4, ТН-20 круглого и прямоугольного сечений; медную проволоку; товарную бронзу БрАЖ10-3, БрАЖМц10-3-1,5, БрАЖН10-4-4 и др.; специальные электродные материалы ВБр5М (бронза); ДКВ – аналог релита; АОМ (алюминиево-оловянисто-медный сплав); сплавы ВЖЛ-2, ВЖЛ-М, ВЖЛ-13, ВЖЛ-17, В56, ЖСН-Л; стали 65Г, 20Х13, 95Х18, ШХ15 и др. Применяют также сормайт, стеллит, вольфрам. Плотность энергии, передаваемой детали при искровом разряде, составляет  $5 \cdot 10^3 \dots 8 \cdot 10^5$  кВт/см<sup>2</sup>.

Для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств восстановленных поверхностей можно наносить покрытие в несколько слоев из различных материалов. Например, на стальную или чугунную поверхность поршневого кольца наносят молибден, на него медь, а затем олово.

Покрытия, например, из металлокерамики ВК6-ОМ или стали 65Г обладают такими свойствами. Микротвердость диффузионной зоны равна 2900...4300 МПа (45...30 HRC). Микротвердость покрытия из ВК6-ОМ равна 7990...8840 МПа (68 HRC), а из стали 65Г – 6760...7590 МПа (57...59 HRC). Толщина первого слоя (у поверхности) составляет 3...10 мкм, второго (белого) – 40 мкм для ВК6-ОМ и 100 мкм для стали 65Г, третьего (диффузионного) слоя ~ 43 мкм.

### 3.8.4. Оборудование

Процесс электроискровой обработки ведут как ручную, так и с применением средств механизации. В обоих случаях перемещение электрода, продолжительность обработки, режимы по току, амплитуде и частоте вибрации электрода выбирают так, чтобы покрытие было сплошным, равномерным и имело ровную, отражающую свет поверхность.

Наибольшее распространение получили установки группы ЭФИ-46А, -23М, -25М, -54А.

Имеется семь классов модернизированных мобильных установок типа «Элитрон» и два класса «Вестрон», с помощью которых можно наносить покрытия толщиной до 0,4 мм (сплошностью 60...95 %) и 0,4...1,0 мм (сплошностью 25...60 %).

Электроэрозионное наращивание и легирование на модернизированной установке «Элитрон-22БМ» ведется в безвибрационном режиме. Модернизировано оборудование для электроэрозионного легирования («Элитрон-22А», «Элитрон-22Б» и «Элитрон-52БМ») в соответствии с патентом России № 2119552.

### Технические характеристики установки «Элитрон-52БМ»

Потребляемая мощность, кВт·А	4,5
Напряжение питающей сети, В	220
Частота импульсов, Гц	100...450
Рабочий ток, А	0,5...60
Число электрических режимов	12 и 6 дополнительных
Габаритные размеры генератора, мм	650 × 500 × 1100
Масса генератора, кг	150
Толщина покрытия Т15К6 на стали 40Х, мкм	10...750
Высота неровностей профиля, мкм	2,5...65,0
Максимальная производительность, см <sup>2</sup> /мин.	10
Основное назначение	Наплавка

Установка работает в механизированном режиме с комплектом устройств КМП-50М.

Созданы модернизированные установки «Вестрон-005» и «Вестрон-006». Сущность модернизации заключалась в совмещении в одной установке транзисторно-тиристорного и резисторно-емкостного генераторов, оснащении новыми вибровозбудителями с вращающимися электродами и повышением частоты импульсов тока со 100 до 800 Гц. Повышение энергии разряда одного импульса тока до 7,5 Дж не приводит к увеличению толщины покрытия. Установки «Вестрон» позволяют наносить покрытия толщиной до 300 мкм с пористостью < 80 %.

## 3.9. Установка и закрепление дополнительных ремонтных деталей

### 3.9.1. Характеристика и классификация видов способа

Дополнительные ремонтные детали (ДРД) применяют:

- 1) для компенсации износа поверхностей деталей;
- 2) для замены их поврежденных частей.

В первом случае ДРД устанавливают и закрепляют непосредственно на изношенной поверхности. Таким образом восстанавливают шейки валов, отверстия под подшипники качения в картерах, отверстия с изношенной резьбой и другие элементы. В зависимости от вида восстанавливаемой поверхности ДРД имеют вид гильзы, кольца, резьбовой втулки, спирали и др.

Во втором случае может быть заменена сложная часть детали с несколькими поврежденными элементами.

В настоящее время ДРД все больше применяют для восстановления под номинальные размеры деталей с большими износами. Способ позволяет устранять повреждения, трудно устранимые другими способами. Способом ДРД детали восстанавливают в различных ремонтных производствах при разных объемах выпуска. Стоимость материалов при этом в несколько раз ниже, чем при использовании газотермических и наплавочных покрытий. Применяемое оборудование универсальное, а технология простая.

ДРД устанавливают и закрепляют на многих восстанавливаемых деталях, в том числе на базовых и основных. Например, в блоке цилиндров двигателя устанавливают ДРД на зеркале цилиндров, на коренных опорах, на фланце картера сцепления, вместо кронштейна под отверстие стартера, в виде участков стенок и др.

ДРД обычно изготавливают из того материала, из которого выполнена сама восстанавливаемая деталь. ДРД, выполняющие функции трущихся элементов, могут быть перед установкой термообработаны.

Процессы создания припусков с применением ДРД классифицируют в зависимости от способа их закрепления. ДРД крепят на восстанавливаемых поверхностях: натягом, деформированием материала, сваркой, приклеиванием, пайкой, заклепками, силами упругости и упорами (на шейках валов), винтами, штифтами и навинчиванием по резьбе, выполненной на теле детали.

Изучение патентного фонда на тему восстановления изношенных деталей (кл. МКИ В23Р6/06) показало, что большое число изобретений за последние годы относится к применению ДРД.

### 3.9.2. Механическое закрепление дополнительных ремонтных деталей

Широкое распространение получило закрепление цилиндрических ДРД в виде втулок на шейках валов или в отверстиях корпусов за счет *натяга*. Шероховатость сопрягаемых поверхностей при этом должна быть не более  $Ra\ 1,25 \dots 0,32$  мкм.

Условие прочности посадки, напрессованной на вал ДРД и нагруженной при эксплуатации статической осевой силой  $S$  (в ньютонах) выражается неравенством

$$S < f \pi d l, \quad (3.40)$$

где  $f$  – коэффициент трения;  $p$  – давление на поверхности контакта, Па;  $d$  и  $l$  – диаметр и длина сопряжения соответственно, м.

Давление на поверхности контакта (в паскалях) выражается зависимостью

$$p = \frac{b}{d \left( \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)}, \quad (3.41)$$

где  $b$  – натяг в сопряжении, мм;  $E_1$  и  $E_2$  – модули упругости материала вала и втулки соответственно, Па;  $C_1$  и  $C_2$  – коэффициенты,

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \mu_2.$$

Здесь  $\mu_1$  и  $\mu_2$  – коэффициенты Пуассона материалов вала и втулки;  $d_1$  и  $d_2$  – диаметр отверстия в вале и наружный диаметр втулки соответственно, м.

Необходимую прочность сопряжения получают выбором длины и натяга посадки. Для более надежного соединения ДРД с основной деталью их просверливают, отверстие разворачивают или в нем нарезают резьбу. В отверстие устанавливают штифт или резьбовой стопор.

При восстановлении деталей типа гильз используют ленты из стали У8А, У10А, 65Г или 70С2ХА толщиной 0,5 или 0,7 мм, шириной 75 или 80 мм. Технологический процесс восстановления гильзы цилиндра включает: предварительное растачивание и хонингование зеркала цилиндра, изготовление из ленты мерных пластин, сворачивание и запрессовывание последовательно двух ДРД в восстанавливаемую деталь, снятие фаски и хонингование.

Ленту отрезают с помощью штампа на прессе. Длина мерных пластин  $L_{\Pi}$  (мм) определяется из соотношения

$$L_{\Pi} = \pi(d + h_{\Pi} + \delta) + \Delta L, \quad (3.42)$$

где  $d$  – диаметр предварительно обработанного зеркала цилиндра, мм;  $h_{\Pi}$  – толщина пластины, мм;  $\delta$  – натяг в сопряжении, мм;  $\Delta L$  – величина смятия кромок пластины при запрессовывании ленты, равная 0,2...0,3 мм.

Допуск на длину ленты в пределах  $\pm 0,05$  мм трудно выдержать штамповкой, поэтому пакет вырезанных лент шлифуют по длине в при-

способлении на плоскошлифовальном станке. Затем ДРД с помощью приспособления сворачивают во втулку и в таком положении на прессе ее запрессовывают в предварительно обработанную гильзу цилиндра.

Для гибки мерных заготовок ДРД в кольца применяют гибочный станок 01.08-001 Ремдеталь. Ведущие валики станка приводятся электродвигателем посредством червячного редуктора. Диаметр гибки определяют сменные оправки. Деформирующее усилие создает пневмопривод. Производительность станка 100 заготовок/ч.

Механическая обработка ремонтной заготовки заключается в снятии фаски на радиально-сверлильном станке, предварительном и окончательном хонинговании. Однако силы натяга в сопряжении могут вызвать заметное изменение наружных размеров элементов восстанавливаемой детали.

Свертные втулки из низкоуглеродистой конструкционной стали могут быть закреплены в восстанавливаемом отверстии путем их *раскатывания*. В этом случае свертные втулки изготовляют из отожженной рулонной ленты по ГОСТ 2279-79 толщиной 0,8 мм. Материал ленты — сталь 45 твердостью 217 НВ. Свертные втулки устанавливают в предварительно расточенные отверстия с винтовыми канавками треугольного профиля с углом при вершине 30...40° и глубиной 0,35...0,50 мм. Ленту раскатывают на радиально-сверлильном станке при частоте вращения шпинделя 90 мин<sup>-1</sup>, ручной подаче (0,1 мм за один оборот) и подаче в зону обработки индустриального масла. Для раскатывания используют многороликовые жесткие раскатники. Канавки на восстанавливаемой поверхности при раскатывании заполняются металлом ленты. Раскатники, настроенные на размер обработки, обеспечивают допуск обработки 20 мкм и шероховатость Ra 0,63 мкм.

Интерес представляет способ закрепления ДРД на поверхности шеек *силами упругости и упорами*, который не искажает размеры детали и исключает сварочно-термическое влияние на материал восстанавливаемой детали. Суть способа заключается в следующем.

Из шлифованной и полированной полосы из инструментальной или пружинной стали толщиной 0,4 мм вырезают в штампе заготовку ДРД и пробивают круглые и фигурные отверстия. Круглые отверстия необходимы для прохождения масла, а фигурные — для изготовления лепестков. Длина ДРД соответствует длине окружности восстанавливаемой шейки. Затем заготовку ДРД с использованием специальной оснастки сворачивают в кольцо и отгибают лепестки. Диаметр свернутой ленты меньше диаметра восстанавливаемой шейки. На поверхности шейки фрезеруют углубления. ДРД в виде браслета надевают на шейку вала таким образом,

чтобы лепестки ДРД вошли во фрезерованные углубления (рис. 3.39). Силы упругости заставляют ДРД копировать форму шейки, а лепестки, взаимодействующие с торцами углубления, фиксируют ДРД от проворота.

Лента, изготовленная на специализированном заводе, имеет точную равномерную толщину и шероховатость, соответствующую шероховатости обработанной шейки.

Для исключения повреждения вкладышей коленчатого вала при работе двигателя необходимо тщательно убрать с ленты заусенцы, выдержать угол между ее лепестками, их длину и глубину лысок на шейке вала.

Масса материала на шейке вала в 2...5 раз меньше по сравнению с массой материала, нанесенного другими способами восстановления. Трудоемкость восстановления коленчатого вала установкой свертных лент в 3 раза меньше, чем с использованием электродуговой наплавки. При очередном ремонте свертные ленты заменяют, при этом шейки вала не шлифуют. Этим способом восстанавливают шейки коленчатых валов из высокопрочного чугуна двигателей ЗМЗ-24 и ЗМЗ-53.

ДРД, имеющие форму дисков или пластин, можно закреплять на основной детали с помощью заклепок или винтов с потайной головкой, при этом толщину диска или пластины следует принимать  $\geq 4$  мм.

### 3.9.3. Закрепление дополнительных ремонтных деталей сваркой, пайкой и клеем

Широкое распространение получил способ закрепления ДРД *сваркой*. Наибольший объем работ с использованием этого способа имеет место при ремонте листовых панелей кузовов. Способ применяется при восстановлении шеек коленчатых валов, канавок поршней, венцов шестерен, стыковых приливов картеров и др.

#### Примеры.

1. При восстановлении коленчатых валов, исчерпавших все ремонтные размеры, шейки предварительно обрабатывают под установленный размер. Отдельно изготовляют ДРД в виде полуколец из конструкцион-

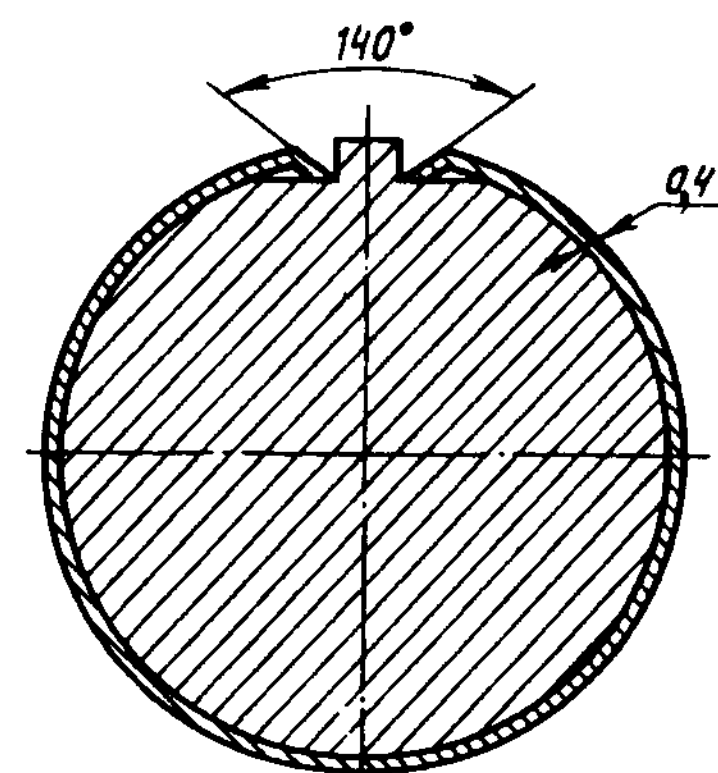


Рис. 3.39. Схема установки упругой ДРД на шейку вала

ной стали. Операцию гибки выполняют после высокочастотного нагрева в формовочном штампе. В матрице штампа предусмотрены радиальные отверстия для подачи охлаждающей жидкости в конце операции с целью закалки ДРД. После растачивания и подрезки ДРД их устанавливают парами на шейки, прижимают струбцинами и приваривают по окружности к образующим. Затем шейки шлифуют и полируют под номинальный размер.

2. Канавка под верхнее компрессионное кольцо поршня двигателя внутреннего сгорания изнашивается наиболее быстро по сравнению с другими канавками. Для ее восстановления протачивают головку поршня до выхода резца в канавку. Устанавливают без натяга ДРД до упора в торец проточки и приваривают ее. Точение новой канавки ведут со снятием стружки как с материала поршня, так и с материала ДРД.

ДРД может быть закреплена *электрозаклепками*.

Однако приварка ДРД оказывает термическое влияние на материал восстанавливаемой детали, что вызывает ее коробление и уменьшение усталостной прочности.

На поверхности восстанавливаемой детали можно закрепить стальную ленту *пастообразным припоем с приложением импульсов тока*. Вследствие возникающего переходного сопротивления лента – припой – деталь в течение импульса тока, равного 0,04...0,06 с, происходят локальный нагрев материалов в месте их контакта и расплавление припоя. Под действием приложенного усилия сжатия 0,9...1,2 кН расплавленный припой смачивает соединяемые поверхности, а после окончания нагрева при длительности паузы между импульсами 0,06...0,10 с он кристаллизуется в шов и образует неразъемное соединение. Толщина слоя припоя составляет 0,015...0,030 мм, поэтому его расход небольшой.

ДРД на шейках валов закрепляют *полудой*, расплавленной в контакте деталей с помощью печного тепла.

Сущность *клеесварного* способа закрепления ДРД заключается в следующем. Поверхность основной детали зачищают металлической щеткой, шлифовальным кругом или другими инструментами. Затем ее обезжиривают органическим растворителем и наносят клеевую композицию. После этого устанавливают накладку из стали 20, которую приваривают контактным точечным способом, формируя соединение.

#### 3.9.4. Вставки, стяжки

Большой объем работ при восстановлении корпусных деталей связан с восстановлением резьбовых отверстий. На долю этих элементов приходится > 30 % всех резьбовых поверхностей деталей машин. Наи-

большому изнашиванию подвержены резьбовые отверстия в деталях из алюминиевых сплавов (30...35 %) и чугуна (10...12 %). В меньшей степени изнашиваются резьбовые отверстия в стальных деталях (3...5 %). Чаще изношены резьбы с размерами М8, М10, М12, М14 и М16. Существующие способы восстановления резьбовых отверстий – образование новой резьбы большего размера и заварка отверстий со сверлением и нарезанием резьбы – имеют ограниченное применение.

Резьбы восстанавливают с помощью *спиральных вставок* из ромбической проволоки. Материал спиральной вставки – аустенитная хромоникелевая сталь. ДРД представляет собой пружинящую спираль с концентричными друг относительно друга внутренней и наружной резьбами высокой точности. Спираль имеет на одном конце поводковый усик для завинчивания ДРД. Внешний диаметр ДРД в свободном состоянии перед установкой больше, чем соответствующий диаметр резьбы в отверстии, что обеспечивает натяг в сопряжении.

Способ позволяет повышать прочность резьбовых отверстий, восстанавливать резьбы в тонкостенных деталях под номинальный размер и снижать изнашивание резьбовой поверхности при разборочно-сборочных работах. Соединения со спиральными вставками хорошо работают при динамических нагрузках. Прочность таких соединений на 35...40 % выше, а частота их ослабления в 5...7 раз ниже, чем в соединениях без вставок.

Процесс восстановления поврежденного резьбового отверстия включает:

- рассверливание изношенной резьбы в детали (табл. 3.70);
- нарезание новой резьбы большего размера с тем же шагом и необходимой глубиной под вставку;
- ввертывание вставки в деталь;
- удаление технологического поводка.

Рассверливанием отверстия удаляется разрушенная или поврежденная резьба. Отверстие не цекуют во избежание трудностей при ввинчивании ДРД. ДРД ввинчивают в резьбовое отверстие с помощью специального инструмента за поводковый усик. Технологический поводок обламывают. Выступания вставки из детали не допускаются.

Способ обеспечивает повышение предельной нагрузки на резьбу, ее износостойкости, устойчивости против коррозии. Показатели технико-экономической эффективности способов восстановления резьбовых отверстий приведены в табл. 3.71. Производитель ДРД (товарное название «Heli-Coil») – фирма «Bollhoff» (Германия).

## 3.70. Размеры обработанных отверстий под установку винтовых вставок

Размер изношенной резьбы в отверстии	Диаметр рассверленного отверстия, мм	Размер резьбы под вставку, мм
M6	6,96...7,12	M8 × 1
M8	8,70...8,86	M10 × 1,25
M10	10,45...10,62	M12 × 1,5
M12	12,18...12,38	M14 × 1,75
M14	13,90...14,13	M16 × 2
M16	16,20...16,40	M18 × 2
M18	18,10...18,40	M20 × 2,5
M20	20,10...20,40	M22 × 2,5
M22	22,10...22,40	M24 × 2,5
M24	24,10...24,40	M27 × 3
M27	27,10...27,46	M30 × 3
M30	29,36...29,90	M33 × 3

## 3.71. Показатели технико-экономической эффективности способов восстановления резьбовых отверстий

Способ восстановления	Относительная стоимость	Коэффициент долговечности
Обработка под ремонтный размер	1	0,95
Заварка	1,13	0,85
Установка резьбового ввертыша	1,46	1,00
Установка резьбовой спиральной вставки	0,47	1,50

Одной из разновидностей восстановления корпусных деталей с трещинами в стенках является установка *фигурных вставок*. Сущность способа устранения трещин установкой фигурных вставок заключается в стягивании трещины путем запрессовывания вставки в предварительно подготовленный в детали паз.

Вставки изготовляют из малоуглеродистой стали. Они бывают стягивающие и уплотняющие. Трещины длиной до 50 мм устраняют только стягивающими фигурными вставками, а длиной > 50 мм – стягивающими и уплотняющими вставками. Вставки имеют призматическую форму, в их основании есть элементы окружностей диаметром 3,5; 4,8 или 6,8 мм. Высота уплотняющих вставок 10...15 мм, а стягивающих 3 мм. Высота уплотняющих вставок превышает толщину стенки детали, а стягивающих вставок составляет часть толщины стенки восстанавливаемой детали.

Технология устранения трещин заключается в следующем. Отступают от конца трещины в сторону ее продвижения на 4...5 мм, сверлят насквозь первое отверстие диаметром 4,8 мм для деталей с толщиной стенки до 12 мм и диаметром 6,8 мм, если толщина стенки > 12 мм. В просверленное отверстие устанавливают оправку специального кондуктора и сверлят второе отверстие. Затем последовательно ориентируют кондуктор по выполненным отверстиям и сверлят необходимое число отверстий по всей длине трещины. Подобным образом поперек трещины через каждые пять отверстий вдоль трещины сверлят на глубину 3,5 мм по два отверстия с каждой стороны трещины. Расстояния между осями отверстий и осями цилиндрических элементов уплотняющей вставки равны между собой. Шаг отверстий в восстанавливаемой детали для стягивающей вставки на 0,2 мм больше, чем шаг между цилиндрами вставки. Перемычки между отверстиями удаляют специальным пробойником шириной 1,8; 2,4 или 3,0 мм (в зависимости от диаметра просверленных отверстий).

Сжатым воздухом выдувают стружку из отверстий. Поверхности отверстий и вставок обезжиривают органическим растворителем и смазывают эпоксидным компаундом. Устанавливают вдоль трещины уплотняющие вставки, а поперек ее – стягивающие. Вставки расклепывают и выступающую поверхность зачищают заподлицо с поверхностью детали. Короткие трещины устраняют путем установки только стягивающих вставок.

Выпускают комплект ОР-11362, в состав которого входят фигурные вставки и необходимый инструмент. Способ отличается небольшой трудоемкостью и простотой, он доступен любому ремонтному предприятию и мастерской.

## 3.10. Пластическое деформирование материала

*Пластическое деформирование материала* применяют для восстановления расположения, формы, размеров и шероховатости поверхностей и физико-механических свойств детали за счет перемещения мате-

риала в объеме самой детали, изменения структуры материала или создания наклепа. Способ применяют для восстановления деталей, изготовленных из пластичных материалов (стали, меди, бронзы и др.). Он может быть использован и для обработки хрупких материалов, которые превращаются в пластичные путем нагрева или создания благоприятных условий нагружения. Процесс обладает уникальной особенностью – обходиться при восстановлении большого количества параметров и свойств без вложения дополнительного материала в деталь в отличие от способов нанесения покрытий, установки и закрепления ДРД.

### 3.10.1. Область применения и особенности способа

*Пластичность* – это свойство твердых тел под действием внешних сил изменять свою форму и размеры без разрушения и сохранять их в виде остаточной деформации после снятия этих сил. Пластическая деформация кристаллических тел проявляется в результате смещения атомных слоев по плоскостям скольжения под действием внешних сил. Чем больше плоскостей сдвига образуется в объеме материала, тем более он пластичен, тем при меньших напряжениях деформируется заготовка.

Степень и усилие деформирования материала зависят от его химического состава и структуры, температуры нагрева, скорости деформирования и схемы главных напряжений.

Наибольшую пластичность имеют чистые металлы. Введение в состав металла легирующих элементов чаще всего уменьшает его способность к пластическому деформированию. Неоднородность структуры и неравномерность распределения примесей также приводят к уменьшению пластичности. Величина зерна влияет на пластичность при холодном деформировании. Чем меньше размер зерна, тем прочнее металл и ниже его пластичность. При горячем деформировании размер зерна не сказывается на пластичности.

Пластичность материала увеличивается при его нагреве. Различают холодное и горячее деформирование в зависимости от соотношения температур процесса и рекристаллизации. При холодном деформировании температура обработки меньше температуры рекристаллизации, а при горячем – наоборот.

Нагрев до температурыковки в 10...15 раз уменьшает сопротивление деформированию по сравнению с процессом в холодном состоянии. Нагрев деталей из углеродистых сталей до 350 °С не увеличивает, а снижает пластичность, а нагрев > 700 °С приводит к появлению окалины. Поэтому нагрев таких сталей целесообразен в указанном интервале температур.

Повышение скорости деформирования снижает пластичность и увеличивает сопротивление деформированию. Влияние фактора велико в условиях горячего деформирования.

Поле главных напряжений оказывает большое влияние на параметры деформирования. Чем больший объем заготовки нагружен сжимающими напряжениями, тем большую величину деформаций допускает материал без разрушения. Максимальная величина деформации может быть получена при всестороннем неравномерном сжатии.

*Расчет значений технологических режимов* при пластическом деформировании деталей, усилий и самих деформаций, а также размеров технологических устройств основан на учете следующих положений:

- пластическая деформация наступает тогда, когда напряжения сдвига в материале детали превышают предел его упругости;
- используя это положение, можно определить усилие деформирования;
- пластическая деформация детали сопровождается упругой деформацией, поэтому размеры детали в конечный момент нагружения отличаются от размеров после снятия нагрузки, что необходимо учитывать при повышенных требованиях к размерам детали;
- объем детали до пластического деформирования равен объему ее после снятия нагрузки, в результате чего удается рассчитать величину деформации в нужном направлении;
- если возможно перемещение какой-либо точки деформируемого материала в разных направлениях, то эта точка будет перемещаться в направлении наименьшего сопротивления. Это положение позволяет сделать вывод о том, что если ограничить деформацию детали в каких-либо направлениях, то она будет деформироваться в том направлении, где нет внешних препятствий.

*Область применения пластического деформирования* распространяется на восстановление геометрических параметров деталей, а также на восстановление жесткости, усталостной прочности и износостойкости деталей и уменьшение шероховатости поверхностей. Способ обеспечивает высокое качество восстановления деталей и экономичность.

### 3.10.2. Восстановление размеров деталей

Восстановление размеров элементов деталей пластическим деформированием за счет перемещения материала из неизнашиваемого объема в зону износа включает подготовку детали, нагрев (при необходимости), приложение деформирующего усилия и последующую обработку.



Подготовка детали к деформированию представляет собой отжиг или высокий отпуск. В ряде случаев заготовку непосредственно перед деформированием нагревают до температурыковки. Последнюю операцию не проводят для стальных заготовок с твердостью менее 25...30 HRC, а также для заготовок из цветных металлов.

Процессы перемещения материала при пластическом деформировании классифицируют в зависимости от соотношения направления внешних сил и деформаций и вида применяемой энергии. По соотношению направлений внешних сил и деформаций различают основные способы восстановления размеров деталей: осадку, раздачу, обжатие, вытяжку и вдавливание (рис. 3.40).

Деформирующее усилие создают молотами или прессами, деталь при этом устанавливают в приспособление.

*Осадка* применяется для увеличения наружного размера сплошных деталей. При осадке действие силы  $P$  перпендикулярно к направлению деформации  $\delta$ . В результате воздействия площадь поперечного сечения детали увеличивается вследствие уменьшения ее высоты. Способ применяют для восстановления пальцев, коротких осей и других деталей. Для осадки используют гидравлические прессы. Величина удельного давления  $p$  (в МПа) при осадке определяется по формуле

$$p = \sigma_T (1 + d/6h), \quad (3.43)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала, МПа;  $d$  и  $h$  – диаметр и длина детали соответственно, м.

Для деталей, испытывающих значительные эксплуатационные нагрузки, уменьшение высоты при осадке допускается до 8 %, а для остальных деталей – до 15 %.

Область применения осадки – восстановление наружной и внутренней поверхности детали при нежестких требованиях к ее длине.

**Пример.** Процесс восстановления муфт синхронизаторов путем осадки в подкладном штампе с разъемной матрицей обеспечивает производительность до 100 деталей/ч. Процесс включает:

- нагрев деталей в камерной печи до температуры 960...980 °С в атмосфере эндогаза;
- установку двух технологических полуколец, препятствующих деформации паза, и установку собранного изделия на оправку;
- штамповку на фрикционном прессе;
- выпрессовывание оправки и снятие полуколец;

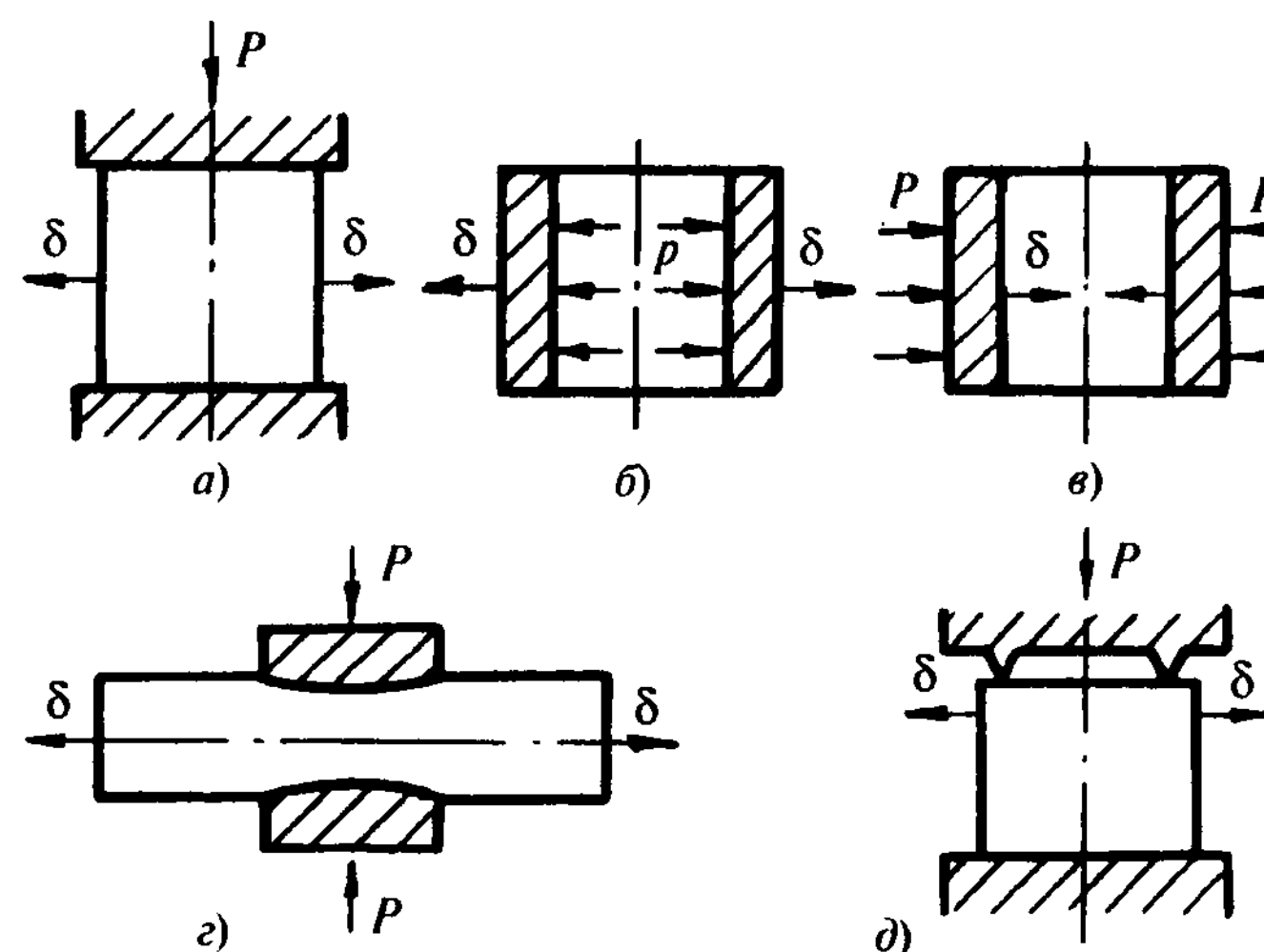


Рис. 3.40. Способы восстановления размеров деталей:  
а – осадка; б – раздача; в – обжатие; г – вытяжка; д – вдавливание

- отжиг;
- точение кольцевой канавки;
- протягивание и калибрование эвольвентных шлицев;
- закругление зубьев;
- термическую обработку.

Направления действующих сил и деформаций при *раздаче* совпадают и направлены изнутри детали. Раздачу применяют для восстановления по наружному диаметру поршневых пальцев, чашек дифференциала, втулок и других деталей. Механическую раздачу выполняют сферическими или цилиндрическими прошивками (дорнами). Величина удельного давления (в МПа) при раздаче определяется по формуле

$$p = 1,15\sigma_T \ln(D/d), \quad (3.44)$$

где  $D$  и  $d$  – наружный и внутренний радиусы детали соответственно, м.

Раздачу применяют при восстановлении наружных поверхностей полых деталей с нежесткими требованиями к внутренним размерам.

При *обжатии* направления действующих сил и деформаций также совпадают, но направлены внутрь детали. Способ применяют при восстановлении внутренней поверхности детали с нежесткими требованиями к наружным размерам.

Обжатием создают ремонтные заготовки гильз и втулок, например путем проталкивания деталей сквозь втулку-инструмент. Диаметр калибрующего пояска инструмента принимают из расчета уменьшения внутреннего диаметра на величину износа и припуска на механическую обработку.

*Вытяжку* применяют для увеличения длины детали за счет уменьшения ее поперечного сечения. По сравнению с осадкой деформации и действующие силы поменялись местами и направлениями. Вытяжкой восстанавливают, например, размеры толкателей при износе торцовых поверхностей.

Вытяжку используют при восстановлении длины сплошной детали с нежесткими требованиями к наружным размерам. Раздача с одновременной вытяжкой осуществляется специальным деформирующим инструментом наружных поверхностей длинных полых деталей с невысокими требованиями к внутреннему размеру.

*Вдавливание* объединяет в себе признаки осадки и раздачи. В большинстве случаев действующая сила направлена под углом к направлению требуемой деформации. Одновременное протекание осадки и раздачи сохраняет длину детали, что является преимуществом способа. Вдавливание применяют при восстановлении зубьев шестерен, шлицев, шаровых пальцев и других деталей. Процесс ведут при высокой температуре нагрева (сталь – 680...920 °С) в штампах.

Частным случаем вдавливания является *накатка* (рис. 3.41). Ее часто применяют для увеличения наружного или уменьшения внутреннего размера деталей за счет вытеснения металла из отдельных участков рабочих поверхностей. Накатку применяют для восстановления размеров шеек и отверстий под подшипники, а также подшипников, залитых свинцовистой бронзой. В последнем случае образовавшиеся лунки заливают баббитом для восстановления несущей способности антифрикционного слоя.

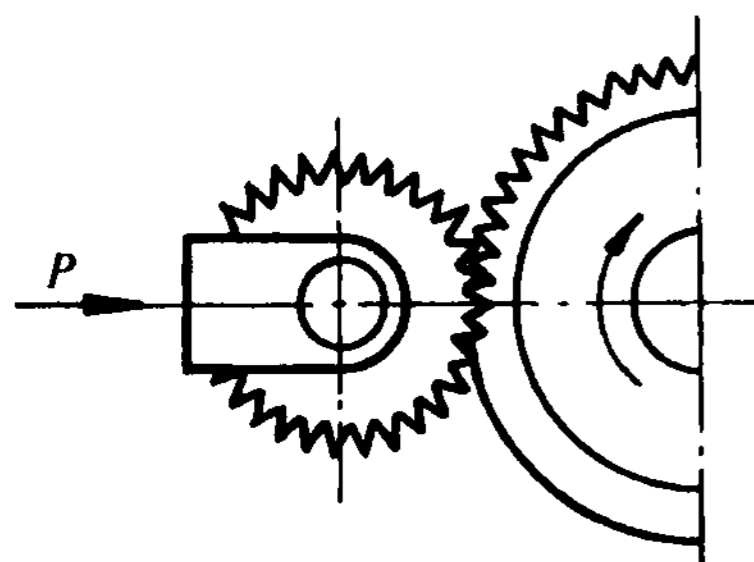


Рис. 3.41. Накатка поверхности

Поверхности накатывают специальным инструментом – зубчатым роликом (накатником) с прямыми или косыми зубьями.

Рекомендуется применять накатку для деталей, которые воспринимают контактную нагрузку  $\leq 7$  МПа.

Детали, имеющие твердость  $< 32$  HRC, можно накатывать в холодном состоянии при обильной подаче индустриального масла.

Подъем гребешков металла после накатки составляет около половины высоты зуба накатника, он зависит также от шага накатки (1,2...3 мм). Скорость накатки среднеуглеродистых сталей 10...15 м/мин, продольная подача 0,4...0,6 мм/об, угол заострения зуба накатника 60...70°. Накатку выполняют так, чтобы гребешки поднятого металла имели в поперечном сечении форму трапеции, а не треугольника. Поверхность после накатывания шлифуют.

Восстановление зубчатых профилей шестерен и звездочек накаткой ведут на стенде ОР-6400-01. Рабочий профиль инструмента соответствует профилю и размерам восстанавливаемых зубьев.

В зависимости от вида энергии, затрачиваемой на пластическое деформирование, различают механическое, термопластическое, электрогидравлическое и другие виды воздействий.

Примеры *механического воздействия* инструмента на восстанавливаемые детали были рассмотрены ранее.

*Термопластическое деформирование* применяют для восстановления деталей – тел вращения: гильз цилиндров, поршневых пальцев дизельных двигателей, поршней и др.

Первый вариант термопластического обжатия гильзы цилиндра состоит в ее нагреве в жесткой, облегающей деталь снаружи оправке и последующем охлаждении. Второй вариант создания ремонтной заготовки гильзы цилиндра заключается в том, что внутри заготовки при равномерном перемещении нагревающе-охлаждающего узла в виде индуктора со спрейером создаются квазистационарное тепловое поле в материале гильзы и значительный осевой температурный градиент. Последний создает в изделии различное объемное состояние и внутренние напряжения, под действием которых происходит равномерное пластическое его обжатие. Длительность процесса 5...6 мин. Величина обжатия 0,9...1 мм.

Сущность термопластической раздачи заключается в том, что деталь нагревают снаружи до температуры  $> A_{c3}$  и охлаждают изнутри потоком жидкости. Внутренние кольцевые слои материала, охлаждаясь, стремятся уменьшиться в диаметре, но им препятствуют нагретые наружные слои, поэтому внутренние слои пластически растягиваются и увеличиваются в диаметре по сравнению с первоначальным размером в холодном состоянии. При дальнейшем охлаждении внутренние слои утрачивают пластичность и превращаются в жесткую оправку, которая не способствует уменьшению диаметров наружных слоев.

Процесс протекает с одновременной закалкой материала. Приращение диаметра поршневых пальцев дизельных двигателей 0,1...0,3 мм. Рассмотренный способ позволяет четырех-шестикратное восстановление деталей. Однако способ малоприменим к деталям карбюраторных двигателей. Малая толщина стенок этих деталей (4...5 мм по сравнению с 8...10 мм у дизелей) не дает большого приращения диаметра.

*Электрогидравлическая раздача* поршневых пальцев карбюраторных двигателей основана на эффекте Л.А. Юткина (авторское свидетельство СССР № 105011). Сущность эффекта заключается в иницировании в жидкости, заполняющей внутреннюю полость детали, электрического разряда, создающего высокое гидравлическое давление, которое, в свою очередь, вызывает пластическое деформирование материала детали и обеспечивает припуск на абразивную обработку.

Устройство для электрогидравлической раздачи (рис. 3.42) включает следующие основные части: источник энергии 1, накопитель энергии 2 и технологический узел 3 с положительным 4 и отрицательным 8 электродами, между которыми установлена деталь 7 с проводником 6 и пластмассовым патроном 5.

Технологическая жидкость, заполняющая внутреннюю полость детали, – вода. Напряжение разряда контура 37 кВ, емкость батареи конденсаторов 6 мкФ. Взрывной патрон изготовлен из полиэтилена марки ПЭВ-500, а иницирующий проводник – из алюминиевой проволоки

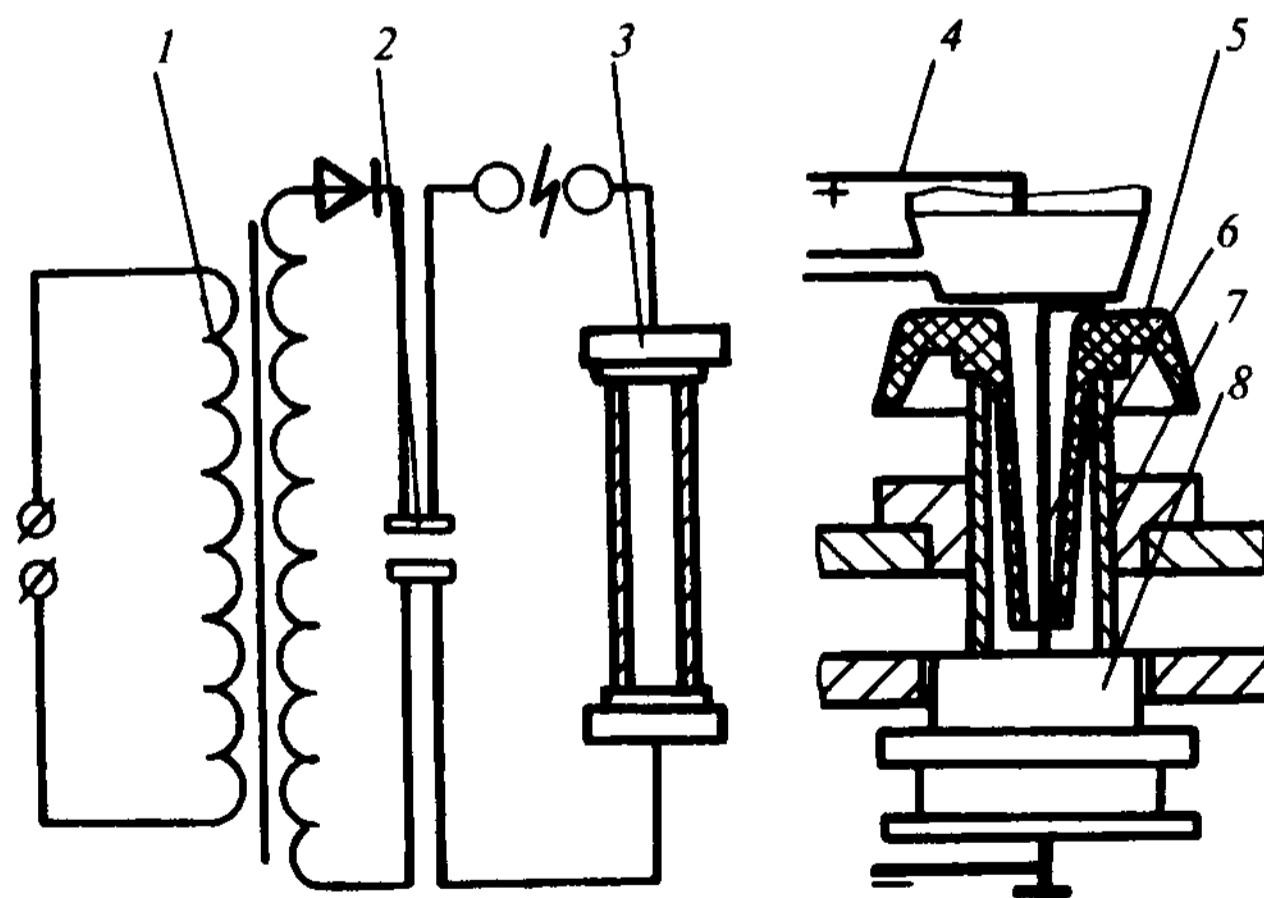


Рис. 3.42. Устройство для электрогидравлической раздачи поршневых пальцев

диаметром 0,7 мм. При указанных режимах раздачи наблюдается пластическое увеличение диаметра поршневых пальцев, выполненных из стали 15Х, на 0,12 мм, а деталей из стали 45 – на 0,2 мм.

После деформирования необходима механическая обработка поверхностей до требуемых размеров. Число ходов при шлифовании заготовки поршневого пальца в 1,5...2 раза больше, чем при обработке заготовки с нанесенным хромовым покрытием.

### 3.10.3. Восстановление формы

Восстановления формы детали достигают правкой.

*Правка* применяется для восстановления формы изогнутой, покоробленной или скрученной детали. Направление действующей силы при этом противоположно устраняемой деформации и в большинстве случаев перпендикулярно к оси детали. Правят валы, шатуны, оси, клапаны, тяги, рычаги, рамы, кронштейны и другие детали. При правке деформируют всю деталь или ее элемент, создают статическую или динамическую нагрузку, процесс ведут без нагрева или с нагревом.

Для *холодной правки* характерны неоднородность степени деформации по сечению, а следовательно, несимметричная эпюра остаточных напряжений. В связи с этим при холодной правке необходимо стремиться к распределению деформаций по всему объему металла. Остаточные напряжения способствуют возврату деформации. Для повышения стабильности результата применяют *двойную правку* с перегибом в обратную сторону и последующим нагревом детали до температуры 400...500 °С, выдержкой в течение 1 ч и охлаждением в контейнере. Такая термическая обработка восстанавливает до 90 % несущей способности деталей. Усилия холодной правки  $P$  (в меганьютонах) определяют по формуле

$$P = 6,8\sigma_T d^3 / 10^3 l, \quad (3.45)$$

где  $l$  – длина детали, м.

Для деталей с большой стрелой прогиба применяют *горячую правку*. Нагревают всю деталь или ее часть. Оптимальная температура горячей правки 600...800 °С. Такая правка завершается отпуском.

Правку выполняют однократным приложением нагрузки, рассчитанной по формуле (3.45), или многократным приложением половинной нагрузки. Последняя технология реализована в оборудовании для правки деталей итальянской фирмы «Galdabini». Оборудование этой фирмы успешно применяется на заводах по изготовлению автомобильных двигателей.

Для коленчатых валов, изготовленных из высокопрочного чугуна, применяют *поэлементную правку* без нагрева в объеме одной шатунной шейки путем создания преимущественно сжимающих напряжений с медленным нарастанием и снятием нагрузки.

Высокое качество обеспечивает *правка наклепом*. Точность правки при этом достигает 0,02 мм, наблюдаются стабильность результата во времени и сохранение усталостной прочности. Такой вид правки выполняют пневматическим молотком с закругленным бойком нанесением ударов по нетрущимся поверхностям детали.

#### 3.10.4. Упрочнение поверхностей

Пластическая деформация металлов в холодном состоянии происходит за счет сдвига по плоскостям скольжения отдельных частиц кристаллов друг относительно друга или вследствие поворота одной части кристаллической решетки в положение, симметричное другой ее части (двойникование). При сдвиге отдельных частей металла по поверхности скольжения образуется слой с искаженной кристаллической решеткой и мелкими осколками зерен, создающими «шероховатость» по поверхности сдвига, которая препятствует дальнейшему перемещению зерен. Таким образом, пластическое деформирование в холодном состоянии упрочняет металл. Это упрочнение называется *наклепом*. Результат упрочнения выражается в том, что предел прочности и твердость металла повышаются, а пластичность снижается.

Многие детали машин при эксплуатации утрачивают износостойкость, усталостную прочность и жесткость. Восстановить эти свойства можно наклепом поверхностного слоя детали или всего ее объема. При восстановлении усталостной прочности в поверхностном слое необходимо создать сжимающие остаточные напряжения. Механическое упрочнение рекомендуется и для повышения усталостной прочности деталей, восстановленных с применением наплавки, напыления и нанесения гальванических покрытий.

Применяют следующие виды механического упрочнения поверхностей деталей: обкатывание (раскатывание), чеканку, дробеструйную обработку, центробежную обработку, калибрование, выглаживание и др.

Наибольшее применение получило *обкатывание* роликами и шариками для упрочнения наружных и внутренних поверхностей деталей. В качестве оборудования применяют станки, имеющие механические продольную и поперечную подачи. Приспособление устанавливают на суппорте станка. Инструмент (накатник) обычно подпружинен и прижимается к детали усилием поперечной подачи.

Внутренние поверхности (гильз цилиндров, отверстий в головках шатунов) упрочняют шариковыми или роликовыми раскатниками (рис. 3.43). Эта обработка обеспечивает требуемую точность размеров деталей и необходимую шероховатость. Давление на инструмент в зависимости от материала детали достигает 5...20 МПа, число ходов 2...4.

Обкатывание и раскатывание улучшают шероховатость поверхности на один-два класса.

Галтели коленчатых валов упрочняют обкатыванием профильными подпружиненными роликами, изготовленными из твердого сплава Т15К6 и касающимися при работе галтельных переходов детали под действием приложенной силы.

Более эффективным способом упрочнения галтелей на коленчатых валах является их *чеканка*. Наклеп на упрочняемых поверхностях в этом случае создают с помощью бойков, приводимых в движение от вращающегося кулачка. Глубина наклепа при применении чеканки увеличивается в несколько раз по сравнению с обкатыванием. Чеканкой упрочняют также сварные швы.

Чеканочный инструмент представляет собой боек с профильным радиусом 3...5 мм. Распространены пневматические чеканочные приспособления с молотками МО-10, СМ-3 и РМ-6, работающие при давлении сжатого воздуха 0,4...0,6 МПа. Электрические и механические приспособления обычно нетиповые. Энергия удара пневматических инструментов составляет 30...50 Дж, электромеханических 20 Дж. Чеканочные при-

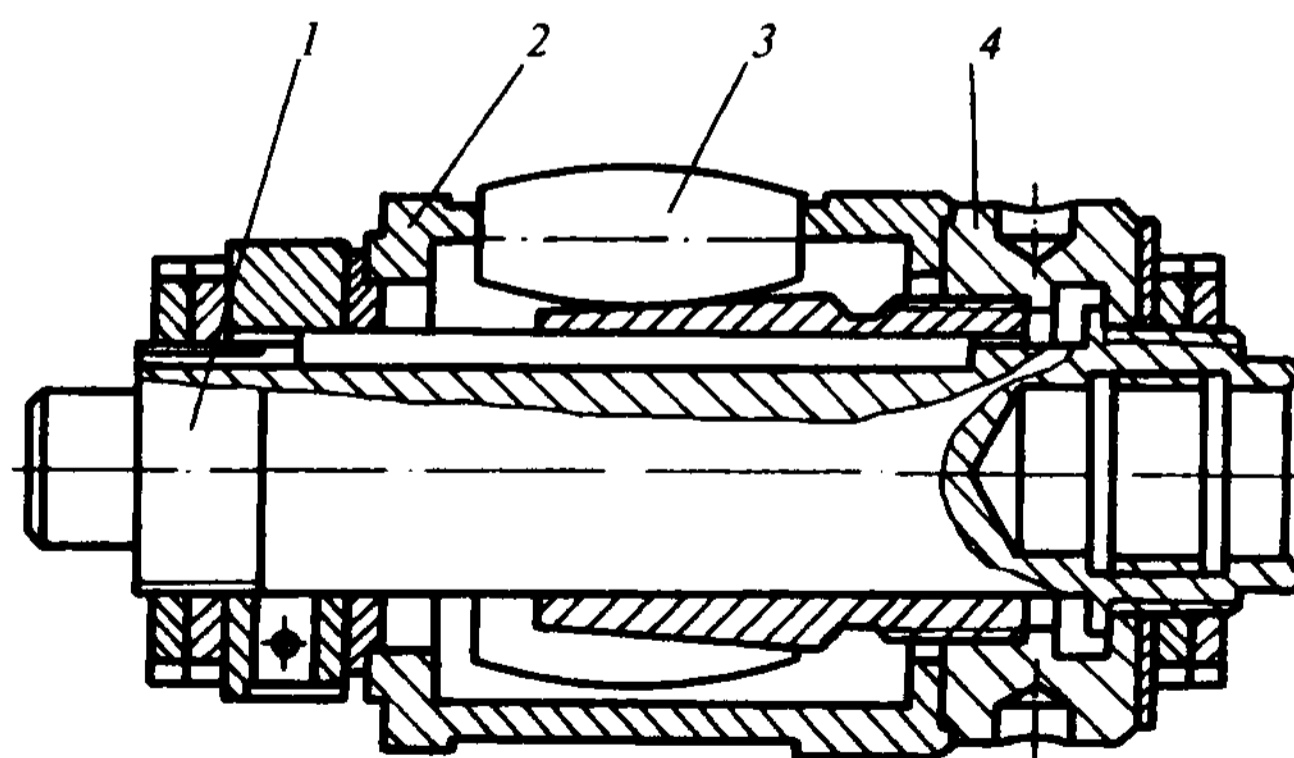


Рис. 3.43. Устройство для раскатывания отверстий:  
1 – вал; 2 – корпус; 3 – ролик; 4 – гайка

способления для обработки деталей – тел вращения устанавливаются на токарных станках. Для упрочнения сварных швов применяют бойки в виде пучка проволочек диаметром 2...3 мм.

Упрочнение чеканкой позволяет заменить сталь 25ХНВА сталями 40ХНМА или 35ХГСА, которые почти в 2 раза дешевле. Чеканку применяют для упрочнения сложных по форме и труднодоступных концентраторов напряжений.

При чеканке на обрабатываемой поверхности возникают значительные неровности, соответствующие профилю бойка, поэтому для сохранения исходной шероховатости детали шлифуют.

*Дробеструйная обработка* применяется как для повышения жесткости упругих элементов (пружин, торсионов, рессорных листов), так и для увеличения усталостной прочности деталей (шатунных, коромысел).

В качестве оборудования для обработки дробью служат механические или пневматические дробеметы. В механических устройствах дробь выбрасывается со скоростью 60...100 м/с за счет центробежной силы вращения барабана с лопатками. В пневматических устройствах дробь переносится струей сжатого воздуха под давлением 0,4...0,6 МПа. Применяют стальную или чугунную дробь диаметром 0,4...2 мм. Время наклепа 3...10 мин, а его глубина не превышает 1 мм.

Распространение получили механические установки, которые обеспечивают более высокую производительность при меньшем расходе энергии и позволяют регулировать скорость полета дроби.

Дробеструйная обработка ухудшает шероховатость поверхности на один-два класса, на этот параметр влияют частота вращения ротора, диаметр дроби и продолжительность обработки.

*Наклеп ротационным упрочнителем* выполняется с помощью приспособления (рис. 3.44), установленного на суппорте токарного станка. Инструментом является диск с радиальными отверстиями, в которые вмонтированы шарики с возможностью перемещения вдоль оси отверстий. Диск получает вращение от электродвигателя. Линейная скорость обода диска 13...25 м/с. В течение одного оборота диска каждый шарик наносит удар по упрочняемой поверхности. Этот способ применяют, например, для упрочнения коленчатых и торсионных валов. Размер детали практически не изменяется, шероховатость поверхности улучшается на один-два класса, твердость увеличивается на 25...45 % для стали и на 30...60 % для чугуна. Способ высокопроизводителен.

Структура и твердость поверхностного слоя в результате механического упрочнения изменяются в среднем на глубину 0,1...0,7 мм. Струк-

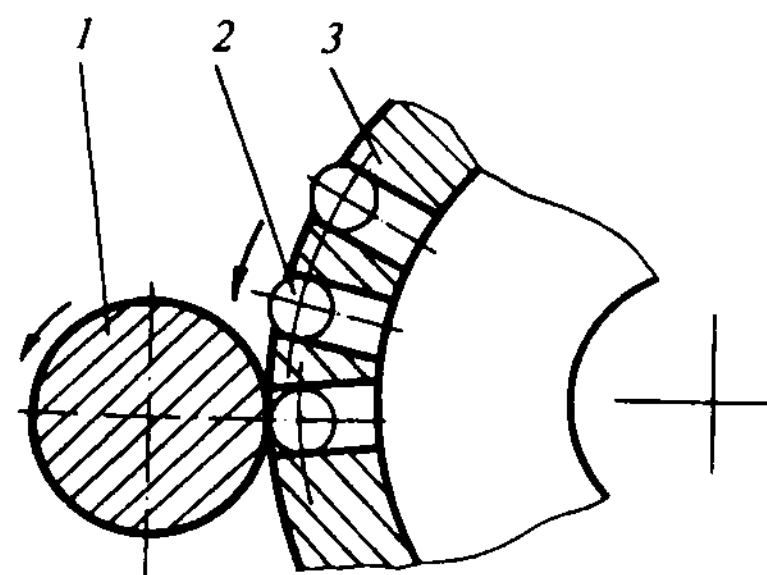


Рис. 3.44. Схема устройства для ротационного упрочнения:  
1 – деталь; 2 – шарики; 3 – корпус

Отверстия *калибруют* перемещением в них с натягом деформирующего инструмента с подачей СОЖ.

*Выглаживание* заключается в упругопластическом деформировании поверхностного слоя детали инструментом с цилиндрической или сферической рабочей частью при взаимном перемещении инструмента и детали. В отличие от обкатывания, где имеет место трение качения инструмента по поверхности детали, выглаживание основано на использовании трения скольжения.

В качестве материала для выглаживающего инструмента применяют следующие твердые сплавы: титановольфрамовые Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, вольфрамокобальтовые ВК2, ВК3М, ВК4, ВК6, ВК6М, ВК8, титанотанталовольфрамовые ТТ10К8А, ТТ10К8Б, а также минералокерамику ЦМ-332. Характер изменения шероховатости поверхностей с различными покрытиями показан на рис. 3.45.

Поверхностный слой приобретает наилучшие показатели при использовании инструмента из синтетического алмаза, представляющего собой оправку с алмазным наконечником в виде закругленной иглы. Приспособление с инструментом устанавливают на суппорте или пиноли задней бабки токарного станка. Выглаживают только сплошные поверхности.

Поверхность под алмазное выглаживание предварительно шлифуют или растачивают. Усилие выглаживания не превышает 300 Н. В зону обработки подают индустриальное масло И-20А. Скорость выглаживания для сталей с твердостью 35...67 HRC составляет 200...280 м/мин, а подача 0,02...0,05 мм/об. Качество выглаживания определяется: формой и радиусом рабочей части инструмента, величиной радиального усилия, числом ходов, подачей и скоростью выглаживания. Рабочая часть иглы имеет

тура в этом случае приобретает направленное строение (текстуру), а твердость среднеуглеродистых незакаленных сталей увеличивается на 30...40 %. У термически обработанных сталей, имеющих твердость 40...45 HRC, в процессе наклепа она возрастает всего на 5...10 %.

Пластическое деформирование применяется и как отделочно-чистовая обработка в виде калибрования отверстий или выглаживания.

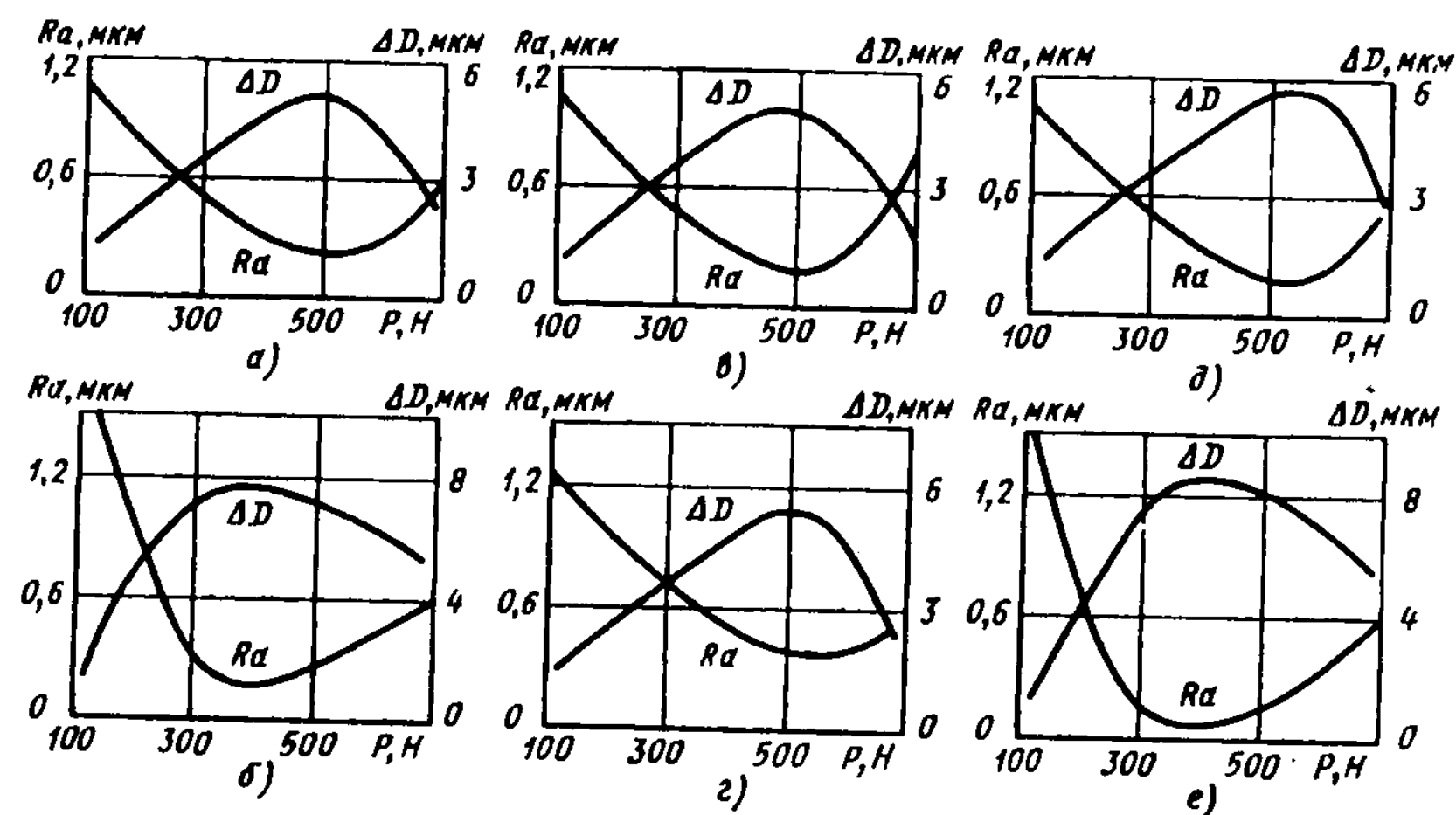


Рис. 3.45. Изменение шероховатости  $Ra$  и диаметра  $\Delta D$  выглаживаемых поверхностей под действием силы  $P$ :

а – вибродуговая наплавка проволокой Нп-65Г; б – вибродуговая наплавка проволокой Св-08; в – наплавка под слоем плавящего флюса АН-348А; г – наплавка под слоем керамического флюса АНК-18; д – железнение до HV 5,2...5,6 ГПа; е – железнение до HV 2,9...3,3 ГПа

радиус сферы 0,8...3 мм. Крепление инструмента пружинное. Шероховатость обработанной поверхности достигает  $Ra$  0,1...0,05  $\mu m$ , микротвердость увеличивается на 50...60 %, глубина наклепанного слоя до 400  $\mu m$ , на поверхности остаются значительные напряжения сжатия. Алмазное выглаживание придает восстанавливаемым поверхностям также высокие износостойкость и усталостную прочность. Этот вид обработки рекомендуется для упрочнения наплавленных и гальванических покрытий. Усталостная прочность при этом повышается более чем в 2 раза.

### 3.11. Электролиз в процессах создания ремонтных заготовок

#### 3.11.1. Определения, область применения и технологические расчеты процесса электролиза

Процессы взаимного превращения химической и электрической форм энергии являются *электрохимическими процессами*. В свою очередь, они подразделяются на две группы: превращения химической энер-

гии в электрическую (в гальванических элементах) и электрической энергии в химическую (электролиз).

В простейшей электрохимической системе имеются два электрода и ионный проводник между ними (внутренняя цепь). Электроды замыкаются металлическим проводником (проводником первого рода). Ионным проводником (проводником второго рода) служат растворы или расплавы электролитов. Electroдами называются металлические проводники, имеющие электронную проводимость и находящиеся в контакте с ионным проводником. Металлический проводник, замыкающий электроды с источником или потребителем электрической энергии, представляет собой внешнюю цепь электрохимической системы. Взаимодействие внутренней и внешней цепей системы обеспечивает ее работу.

При восстановлении деталей используют процессы получения покрытий, прочно соединенных с поверхностями деталей. Эти процессы основаны на явлениях электролитической диссоциации и электролиза.

*Электролитическая диссоциация* заключается в расщеплении молекул солей металлов, находящихся в растворе, на положительные и отрицательные сольватированные ионы (рис. 3.46) в результате взаимодействия этих солей с растворителем. Необходимое условие явления – молекулы растворителя и растворенного вещества должны иметь полярное строение. Соли металла при этом образуют положительно заряженные ионы этого металла и отрицательные ионы кислотного остатка. Растворенный металл приобретает в результате этого процесса положительный электрический потенциал (равновесный потенциал). Таким образом, раствор-электролит содержит ионы осаждаемого материала. В состав растворов входит также кислота, которая при диссоциации образует положительно заряженные ионы водорода и ионы кислотного остатка. Молекулы воды также образуют ионы водорода и ионы гидроксильной группы. Однако ионы, образовавшиеся в результате электролитической диссоциации, движутся в растворе беспорядочно.

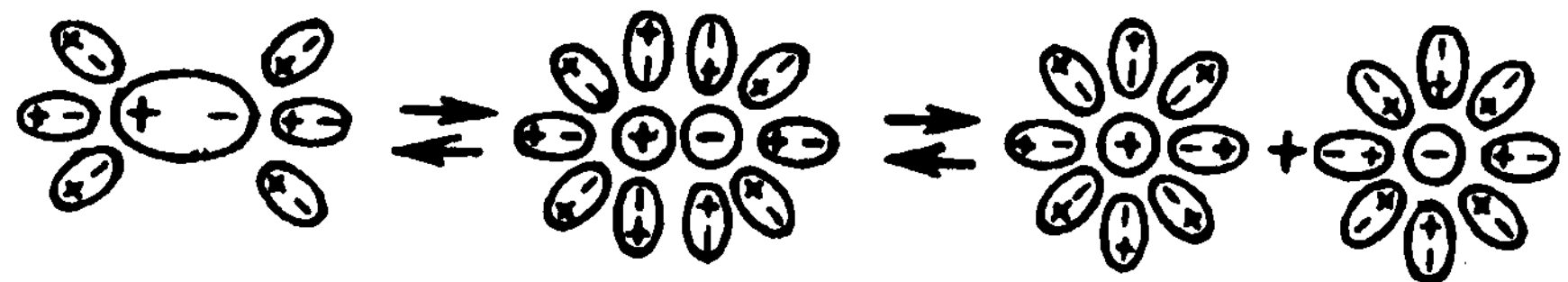


Рис. 3.46. Схема образования сольватированных ионов из молекулы в результате электролитической диссоциации

Приложение постоянного напряжения к паре электродов, помещенных в диссоциированный раствор кислот, щелочей или солей, приводит к возникновению в нем электрического тока за счет упорядоченного перемещения ионов. Электрический ток в таких растворах связан с переносом вещества. Разряд ионов растворенных веществ с осаждением на электродах атомов представляет собой явление *электролиза*.

При восстановлении изношенных деталей используют закономерности электрохимических процессов, относящиеся к превращению электрической энергии в химическую. К ним относятся законы электролиза, термодинамические и кинетические закономерности электрохимических процессов. Теоретическое значение массы вещества  $m$  (в граммах), выделившегося на электроде, определяется с помощью объединенного закона М. Фарадея:

$$m = CIt = \frac{A}{FZ} It, \quad (3.46)$$

где  $C$  – электрохимический эквивалент, г/(А·ч);  $I$  – ток, А;  $t$  – время осаждения, ч;  $A$  и  $Z$  – атомная масса (г) и валентность осаждаемого элемента;  $F$  – постоянная Фарадея, определяемая произведением количества элементарных зарядов в 1 моле эквивалентов вещества (постоянная Авогадро, равная  $6,022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>) на значение элементарного заряда, равного  $1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл, отсюда  $F = 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл/(моль·эquiv.).

Эквивалентная масса представляет собой атомную массу элемента или молекулярную массу вещества, деленную на валентность. Постоянная Фарадея определяет количество электричества, которое нужно пропустить через электролит для выделения на электроде 1 г-эquiv. вещества. Если разделить эквивалентную массу любого металла на число Фарадея, то получим число граммов данного металла, выделившегося на катоде или растворившегося на аноде при пропускании через электролит количества электричества 1 А·ч. Это число является электрохимическим эквивалентом данного металла (табл. 3.72).

На катоде кроме осаждения металла протекают сопутствующие процессы: выделение водорода, восстановление металла до более низкой валентности, восстановление органических веществ, попавших в электролит. Поэтому действительная масса вещества, выделившегося на катоде, будет меньше массы вещества, рассчитанной по формуле (3.46). Отношение массы действительно выделившегося металла на электроде к теоретически возможному его количеству называется коэффициентом

3.72. Электрохимические эквиваленты и другие характеристики некоторых металлов

Наименование металла	Химическое обозначение ионов	Атомная масса, г	Нормальный потенциал, В	Эквивалентная масса, г	Электрохимический эквивалент, г/(А·ч)	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Цинк	Zn <sup>++</sup>	65,37	- 0,76	32,69	1,220	7,0
Хром	Cr <sup>+++</sup>	51,996	- 0,71	17,37	0,647	6,5
Железо	Fe <sup>++</sup>	55,85	- 0,44	27,94	1,042	7,8
Железо	Fe <sup>+++</sup>	55,85	- 0,036	18,61	0,694	7,8
Кадмий	Cd <sup>++</sup>	112,41	- 0,40	59,20	2,097	8,6
Кобальт	Co <sup>++</sup>	58,94	- 0,27	29,47	0,733	8,8
Никель	Ni <sup>++</sup>	58,69	- 0,23	29,35	1,095	8,8
Олово	Sn <sup>++</sup>	118,70	- 0,14	59,35	2,214	7,3
Свинец	Pb <sup>++</sup>	207,21	- 0,126	103,60	3,865	11,4
Водород	H <sup>+</sup>	1,008	0,00	1,008	0,0376	-
Медь	Cu <sup>++</sup>	63,57	+ 0,34	31,78	1,186	8,9
Медь	Cu <sup>+</sup>	63,57	+ 0,652	63,57	2,372	8,9
Серебро	Ag <sup>+</sup>	107,88	+ 0,799	107,88	4,027	10,5

выхода по току  $\alpha$ . По коэффициенту выхода по току судят, как организован электрохимический процесс. Значения  $\alpha$  (%) для некоторых процессов следующие:

Золочение	90
Кадмирование	85...95
Железнение	80...90
Хромирование:	
– блестящее	8...12
– твердое	12...28
Цинкование:	
– цианистое	75...95
– кислое	95...100
– цинкатное	85...100

Толщина электролитического осадка  $h$  (мм) определяется по формуле

$$h = \frac{CD_k t \alpha}{10\gamma}, \quad (3.47)$$

где  $D_k = I/S_k$  – катодная плотность тока, А/дм<sup>2</sup> (здесь  $S_k$  – площадь катода, дм<sup>2</sup>);  $\gamma$  – плотность осаждаемого металла, г/см<sup>3</sup>.

Время осаждения  $t$ , ч, электролитического осадка определяют по формуле

$$t = \frac{10h\gamma}{CD_k\alpha}, \quad (3.48)$$

**Пример.** Определить основное время  $t_0$  нанесения железного покрытия ( $\gamma = 7,8$  г/см<sup>3</sup>) толщиной  $h = 0,3$  мм на восстанавливаемые поверхности деталей площадью  $S_k = 3$  дм<sup>2</sup> при токе  $I = 45$  А, если выход по току составляет  $\alpha = 0,85$ .

**Решение.** Электрохимический эквивалент железа

$$C = m_3 / F,$$

где  $m_3$  – масса моля железа, равная  $55,84 : 2 = 27,92$  г;  $F$  – число Фарадея 96 484 А·с/(моль·экв),

$$C = 27,92 : 96484 = 2,893 \cdot 10^{-4} \text{ г/(А·с)} = 1,042 \text{ г/(А·ч)}.$$

Катодная плотность тока

$$D_k = I : S_k = 45 : 3 = 15 \text{ А/дм}^2.$$

Время нанесения покрытия

$$t_0 = \frac{10h\gamma}{CD_k\alpha} = \frac{10 \cdot 0,3 \cdot 7,8}{1,042 \cdot 15 \cdot 0,85} = 1,76 \text{ ч}.$$

Гальванические покрытия имеют следующие области применения при восстановлении деталей:

- наращивание и повышение износостойкости поверхностей (хром, железо, никель, медь);
- придание защитно-декоративных (хром, никель, медь, цинк, кадмий, олово, свинец) и антифрикционных свойств (железо, медь, цинк, олово);



- защиту от цементации (медь);
- повышение теплостойкости (хром);
- придание поверхностному слою специальных свойств – электро- и теплопроводности и др. (медь и др.);
- улучшение прирабатываемости трущихся поверхностей (железо, хром, медь, цинк, свинец, олово).

Основная область применения гальванических покрытий в ремонтном производстве – восстановление многочисленных деталей с небольшим износом, но с высокими требованиями к износостойкости, твердости и сплошности покрытия и прочности его соединения с основой. Учитывают, что ~65 % деталей ремонтного фонда имеют износ на сторону 0,14 мм. Гальванические покрытия наносят на восстанавливаемые поверхности клапанов, поршневых пальцев, шатунов, отверстий под подшипники в корпусных деталях и др.

Процесс нанесения гальванических покрытий обеспечивает:

- сохранение структуры материала детали за счет отсутствия вложения тепла в него;
- высокую износостойкость и твердость покрытий;
- равномерную их толщину;
- возможность получения покрытий с заданными, изменяющимися определенным образом по их толщине физико-механическими свойствами;
- большое количество одновременно восстанавливаемых деталей и возможность автоматизации;
- использование недефицитных материалов.

Однако скорость нанесения покрытий низкая (гальванический процесс самый длительный по сравнению с другими процессами нанесения покрытий). Процесс многооперационный и сопровождается расходом воды и загрязнением сточных вод ионами тяжелых металлов. Способ требует совершенствования в направлениях повышения производительности и уменьшения затрат на материалы.

### **3.11.2. Классификация способов нанесения электрохимических покрытий**

В зависимости от видов материала наносимых покрытий гальванические процессы делятся на железнение, хромирование, цинкование, кадмирование, никелирование и др. В ремонтном производстве получили наибольшее распространение первые три процесса. В свою очередь, первые два процесса обеспечивают получение износостойких покрытий, а

цинкование – как износостойких, так и защитных покрытий. Цинк гарантирует надежную катодную защиту стальных изделий.

В зависимости от места электролиза процессы делятся на ваннные и вневаннные, а в зависимости от температуры электролита электролиз протекает в горячих ( $\geq 50$  °С) или холодных электролитах.

### 3.11.3. Технологический процесс и оборудование для нанесения покрытий

Типовой процесс нанесения гальванических покрытий содержит три блока операций: подготовительные, осаждения металла и обработки заготовок после нанесения покрытий (рис. 3.47).

Подготовительные операции включают механическую и электрохимическую обработку восстанавливаемых поверхностей: их очистку, предварительную механическую обработку, установку заготовок на подвески и изоляцию поверхностей, не подлежащих восстановлению, обезжиривание и травление. Осаждение металла составляет основную часть процесса. Последующие операции состоят из: промывки заготовок с покрытием в дистиллированной воде для сбора электролита, оставшегося на поверхностях заготовок; нейтрализации его остатков; промывки горячей и холодной водой; снятия деталей с подвесок и удаления изоляции; сушки и термообработки (при необходимости).

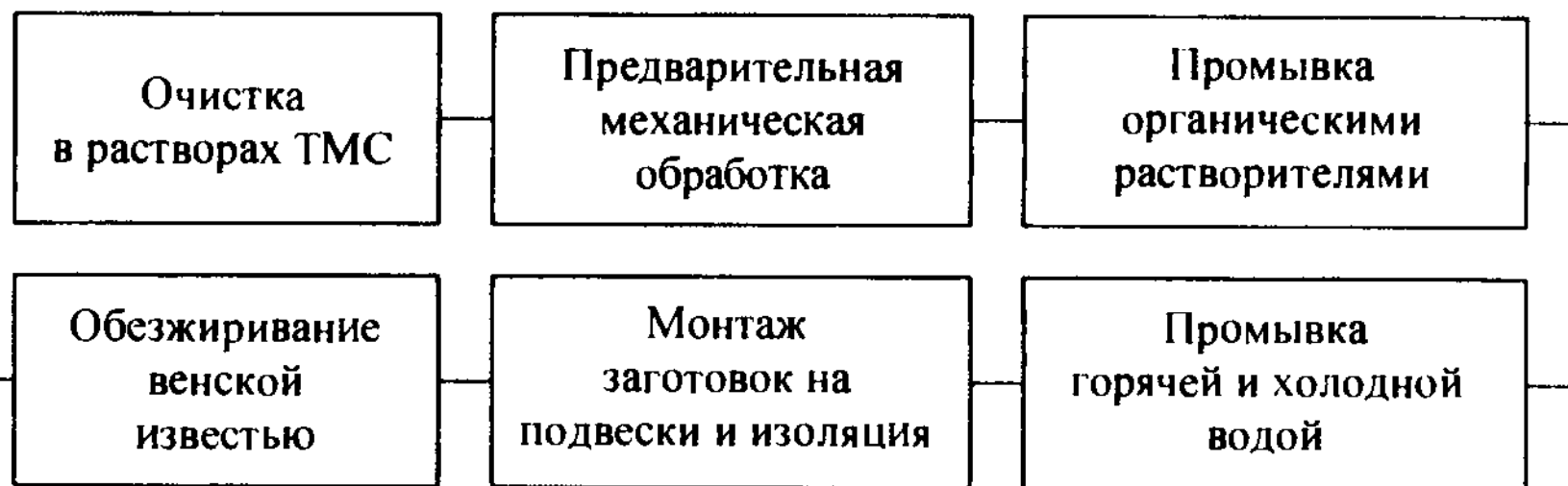
Предварительная механическая обработка (как правило, абразивная) необходима для устранения следов изнашивания на восстанавливаемых элементах и придания им правильной геометрической формы. Эта операция обеспечивает равномерную толщину будущих покрытий, заданную шероховатость подложки и служит необходимым условием прочного соединения покрытия с поверхностью детали. Шероховатость поверхностей после механической обработки должна быть  $Ra$  0,63...1,25 мкм. При небольшом износе обработку абразивным кругом заменяют обработкой шлифовальными шкурками для удаления следов коррозии.

Маслогрязевые отложения с восстанавливаемых поверхностей удаляют органическими растворителями (дихлорэтаном, ацетоном, керосином, уайт-спиритом и др.). Пожароопасная очистка органическими растворителями может быть заменена электрохимическим обезжириванием.

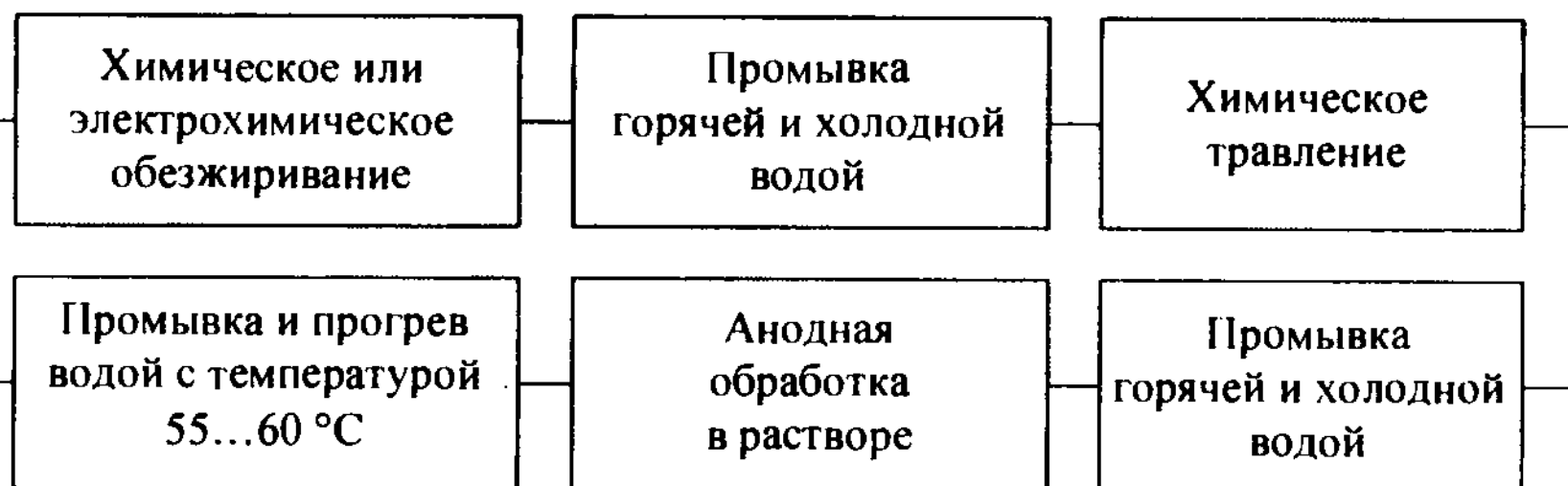
Установка заготовок на подвески должна обеспечить надежный электрический контакт в цепи заготовка – подвеска и условия равномерного осаждения покрытия и всплытия пузырьков выделяющегося газа.

Невосстанавливаемые поверхности изолируют: нанесением цапонлака (целлулоида, растворенного в ацетоне), полихлорвинилового пласти-

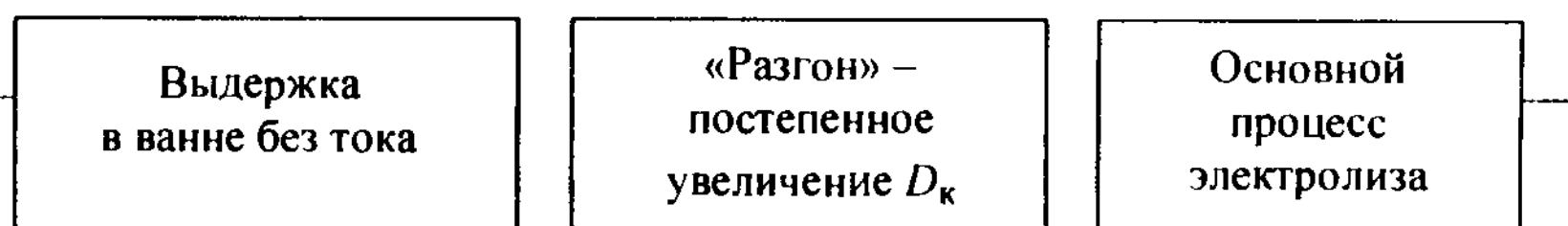
**Механическая подготовка заготовок**



**Электрохимическая подготовка заготовок**



**Нанесение покрытия**



**Обработка заготовок после нанесения покрытия**

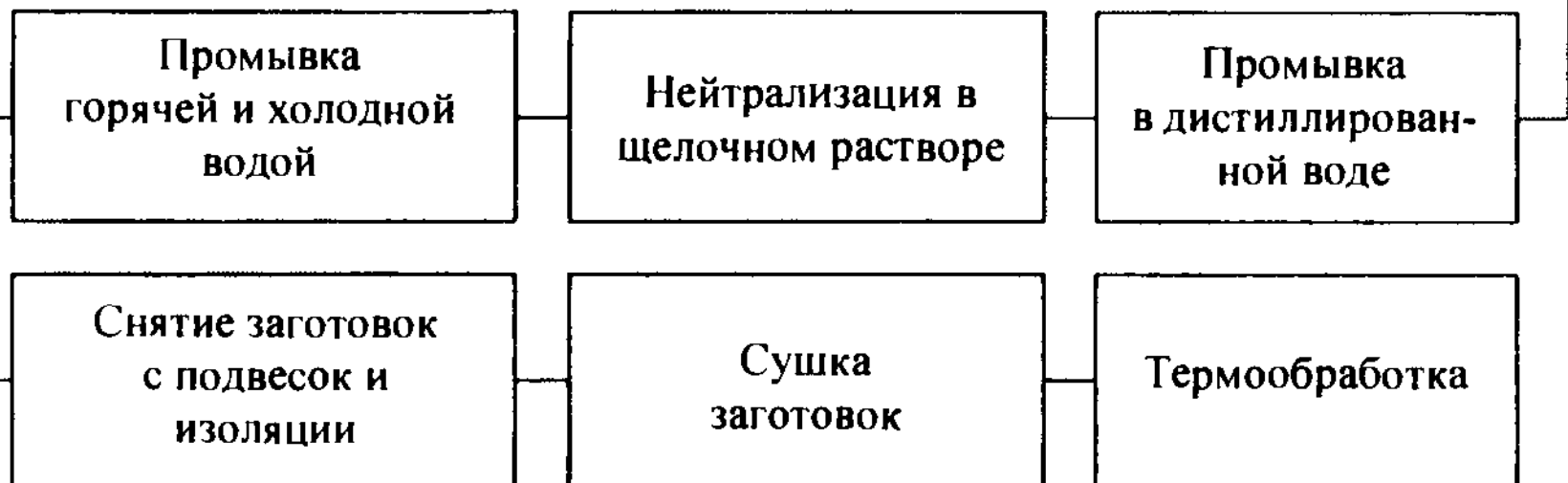


Рис. 3.47. Типовой процесс нанесения гальваннеческих покрытий

ката, резинового клея, составов из воска и канифоли (1:1), парафина, воска, канифоли и каменноугольного пека (7:1:1:1), грунта и эмали, намоткой полихлорвиниловой ленты, установкой резиновых трубок и др.

Затем восстанавливаемые поверхности протирают венской известью (смесью оксидов кальция и магния) и (или) подвергают электрохимической обработке. Наиболее часто применяют обезжиривание в щелочных растворах (табл. 3.73). На катоде выделяется в 2 раза больше газа, чем на аноде, поэтому производительность обезжиривания на катоде выше, чем на аноде. При электролизе в таких растворах на поверхности заготовок, завешенных на катодную штангу, бурно выделяется водород, который срывает жировую пленку. Одновременно с этим происходят омыление и эмульгирование жиров. Для исключения наводороживания поверхности, приводящего к хрупкости материала детали, в конце обезжиривания меняют полярность на обратную и в течение четверти времени от длительности катодной обработки детали обрабатывают на аноде.

Детали после обезжиривания тщательно промывают сначала в теплой (~ 60 °С), а затем в холодной (17...20 °С) воде. Хорошее качество обработки характеризуется сплошной пленкой воды на очищенной поверхности.

Покрытие будет прочно закреплено на восстанавливаемой поверхности, если к началу его нанесения толщина оксидной пленки на этой поверхности не будет превышать 0,005 мкм. Межмолекулярные силы, обуславливающие сцепление, заметно проявляются, когда расстояние между взаимодействующими поверхностями соизмеримо с межатомными

3.73. Составы растворов и режимы обезжиривания стальных или чугунных деталей

Компонент или параметр режима	Обезжиривание	
	химическое	электрохимическое
Едкий натр, г/л	10...30	20...40
Тринатрийфосфат, г/л	15...35	
Кальцинированная сода, г/л		
Синтанол ДС-10, г/л	3...5	—
Жидкое стекло, г/л		3...5
Температура раствора, °С	60...80	60...80
Продолжительность, мин	5...60	3...10
Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	—	

расстояниями. В этом случае соединение обеспечивается силами межатомного взаимодействия материалов покрытия и детали. Поэтому важнейшее значение для соединения покрытия с основой имеет удаление пленок оксидов на подготовительных операциях. Поверхность железа, например, покрыта слоем оксидов FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>3</sub>C<sub>4</sub>, а также гидроксидами Fe(OH)<sub>2</sub> и Fe(OH)<sub>3</sub>. Прочность соединения покрытия с основой может быть значительно улучшена, если также удален напряженный в результате механической обработки и поверхностный слой металла толщиной 15...30 мкм. Эта функция выполняется посредством травления.

Травление – процесс растворения поверхности металлов и их оксидов в кислых или щелочных растворах. Выделяющийся кислород при анодном травлении отрывает от восстанавливаемой поверхности оксиды и удаляет с этой поверхности травильный шлам.

Травление бывает химическое и электрохимическое (табл. 3.74). Химическое травление выполняют в растворах серной или соляной кислоты.

3.74. Состав растворов и режимы травления

Компонент или параметр режима	Номер раствора при травлении				
	химическом		электрохимическом		
	1	2	3	4	5
Кислота, г/л:					
– соляная	200...220	–	–	–	–
– серная	–	150...250	330...400		2...3
Катапин, г/л	3...5	5...7	–		–
Железо, г/л:					
– сернокислое			10...20	580...620	–
– хлористое	–	–	–		120...150
Хромовый ангидрид, г/л				–	
Температура раствора, °С	15...40	40...60	18...25	30...35	50...60
Анодная плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	–	–	50...70*; 18...20**	40...60	20...40*; 20...25**
Продолжительность, мин	3...60	3...60	2...3*; 1,5...2**	1,5...2	1...2*; 0,2...0,5**

\* Сталь.

\*\* Чугун.

Электролитическое травление (анодную обработку) ведут сначала в ванне с 30%-ным раствором серной кислоты, а затем в ванне для нанесения покрытий. Травильный шлам периодически удаляют из ванны.

Для химического травления черных металлов обычно применяют разбавленные растворы серной или соляной кислоты либо их смеси.

При травлении железа наблюдаются два процесса: растворение оксидов и железа, находящегося под слоем оксидов. Эти процессы протекают со скоростью, которая зависит от вида кислоты, ее концентрации и температуры. Вначале раствор проникает через поры и трещины в наружном слое окалины из  $Fe_2O_3$  к слоям  $Fe_3O_4$  и  $FeO$ , а затем – к поверхности металла. Поскольку  $FeO$  растворяется с наибольшей скоростью, то трещины в слое  $Fe_3O_4$  и  $Fe_3C_4$  увеличиваются. С момента проникновения кислоты к поверхности металла начинается его растворение с выделением водорода.

Травление в растворах серной кислоты целесообразно вести при температуре 40...60 °С, а в соляной 15...40 °С. Более низкая температура раствора соляной кислоты объясняется летучестью хлороводорода.

Преимущества сернокислых травильных растворов заключаются в их невысокой стоимости, нелетучести даже при температуре до 100 °С, возможности извлечения сульфатов железа, растворимость которых резко падает с уменьшением температуры. Растворы соляной кислоты обеспечивают низкую температуру обработки и возможность получения чистой и менее шероховатой поверхности.

Для уменьшения объема выделяющегося водорода, предохранения поверхности заготовок от перетравливания, а также для экономии кислот применяют ингибиторы травления.

Для травления отдельных участков или деталей крупных размеров, которые не могут быть помещены в ванны, используют специальные травильные пасты, которые состоят из травильных растворов, ингибитора и наполнителя (инфузорной земли, легких суглинков, асбеста).

#### Примерный состав травильной пасты

$H_2SO_4$ (плотность 1,84 г/см <sup>3</sup> ), см <sup>3</sup> , .....	29
$H_3PO_4$ (плотность 1,70 г/см <sup>3</sup> ), см <sup>3</sup> .....	46
$HCl$ (плотность 1,19 г/см <sup>3</sup> ), см <sup>3</sup> .....	356
Уротропин, г .....	6
Сульфитцеллюлозный щелок (плотность 1,22 г/см <sup>3</sup> ), см <sup>3</sup> .....	50
Измельченный асбест, г .....	400
Вода, см <sup>3</sup> .....	90

Травильную пасту наносят на деталь (вручную или пастопультом) и выдерживают на ней в течение 1...6 ч, после чего смывают.

Скорость травления во всех случаях можно повысить встряхиванием или катанием деталей и особенно применением струйного травления или ультразвука. Струйное травление превосходит по скорости травление в стационарных ваннах в 2,5...5,0 раз в серной кислоте и в 5...10 раз в соляной. Травление в ультразвуковом поле позволяет ускорить процесс, улучшить качество поверхности, снизить расход химикатов.

Одновременные обезжиривание и травление целесообразно применять при обработке деталей, поверхность которых незначительно загрязнена.

Операции предварительной подготовки являются общими в любом гальваническом процессе, поэтому их можно организовать в одной части помещения.

Непосредственно нанесение покрытия составляет основу гальванического процесса, оно будет рассмотрено ниже.

Заключительные операции технологического процесса имеют такие особенности. При извлечении подвесок с заготовками площадью 1 м<sup>2</sup> из раствора уносится 50...250 мл содержимого ванны. Поэтому после нанесения покрытия заготовки промывают в ванне – сборнике электролита с дистиллированной водой в целях его экономии и обеспечения чистоты сточных вод. Затем следуют нейтрализация в щелочном растворе оставшегося на поверхности заготовок раствора и промывка горячей и проточной холодной водой. Горячая вода один раз в 1...2 ч меняется. С деталей снимают изоляцию и их сушат в опилках, подогретых до 120...130 °С, или в сушильном шкафу. Опилки не должны содержать дубильных веществ. Для уменьшения водородной хрупкости детали выдерживают в течение 1...2 ч при температуре 150...200 °С в масляной ванне или в шкафу.

Наибольший объем гальванических работ выполняют в стационарных гальванических ваннах, размеры которых нормализованы (табл. 3.75). Стационарные ванны содержат запас электролита, катодные и анодные штанги, электроды, систему нагрева, фильтрации и перемешивания электролита, приборы регулирования температуры электролита и массовой доли основных составляющих. Применяют также барабанные и колокольные ванны для мелких деталей, конвейерные автоматические комплексы в условиях крупносерийного и массового производств.

Железные и хромирование ведут в стационарных ваннах, а цинкование, как правило, в барабанных или колокольных ваннах. Стальные части ванны для исключения соприкосновения с кислотными электролитами футеруют свинцом, резиной, полимерными и керамическими материалами.

## 3.75. Типы и параметры гальваннческих ванн

Тип	Внутренние размеры, мм			Рабочий объем, л
	Длина	Ширина	Высота	
01	600	550	800	250
02	800	700		400
03	1200			600
04	1500			750
05	800		1000	550
06	1200	800		
07	1500	1000		1000
08		1300		
09	2200	700		1400
10		1000		2000
11	3000	700		
12		1000		2700
13	800	450	800	270
14			1000	350

Нагрев или охлаждение раствора выполняют змеевики с теплоносителем. Если змеевики соприкасаются с горячими сернокислыми электролитами, то их изготавливают из титана, свинца, освинцованной или нержавеющей стали. При внутреннем способе нагрева наблюдается неравномерность температуры электролита. Для нагрева хромовых электролитов, чувствительных к изменению температуры, применяют внешний их нагрев посредством пропускания пара через пароводяную рубашку между двумя ваннами, вставленными одна в одну. Ванны имеют бортовые вентиляционные отсосы с одной или двух сторон. Ванны не заземляют, а устанавливают на изоляторах ОФ-6-375 или ОФ-10-750. Паровую и водяную арматуру, в свою очередь, изолируют от ванн.

Электрический ток к электродам подводят через продольные медные или латунные штанги диаметром 15...40 мм, установленные на бортах ванны в изоляторах. Одна пара штанг соединена с положительным полюсом источника, а другая – с отрицательным. На каждую пару штанг размещают по несколько поперечных штанг, свободное перемещение которых позволяет устанавливать нужное катодно-анодное расстояние.

Электроды и детали завешивают на анодные и катодные штанги соответственно.

Чтобы повысить производительность процесса (увеличить допустимую плотность тока) и улучшить свойства покрытий, ванны снабжают устройствами для перемешивания и фильтрации электролита, встряхивания или качания катодных штанг.

Передвижные фильтрационные установки (УФ-0,5) содержат насос и фильтр из ткани (сукна, полотна, стеклоткани), который задерживает механические примеси. Насос изготовлен из химически стойких материалов. Например, насос ЦКН-7 с подачей 7 м<sup>3</sup>/ч выполнен из керамики.

Постоянный или переменный ток необходимого вида напряжением ~ 6...12 В вырабатывают источники тока.

Выпрямители различной мощности преобразуют (выпрямляют) переменный ток промышленной частоты в постоянный. Выпрямитель включает понижающий трансформатор, полупроводниковые элементы, пускорегулирующую и измерительную аппаратуру.

В ремонтном производстве применяют германиевые, селеновые и кремниевые выпрямители, однако наибольшее применение нашли последние, которые плавно изменяют ток в пределах 10...100 % с погрешностью ±10 %.

Освоен выпуск более совершенных тиристорных выпрямителей сер. ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР и ТВИ, обладающих меньшими пульсацией выпрямленного тока и габаритными размерами, большими КПД и точностью стабилизации тока и напряжения. Буквы в названии серий обозначают: Е – охлаждение естественное воздушное; В – охлаждение водяное; Р – реверсивный; И – импульсный. Характеристики некоторых выпрямителей приведены в табл. 3.76.

3.76. Основные данные выпрямителей

Выпрямители	Номинальные параметры		КПД, %	Габариты в плане, мм	Масса, кг
	Ток, А	Напряжение, В			
1	2	3	4	5	6
<i>Кремниевые</i>					
ВАК-100-12У4	100	12/6	78	580 × 570	190
ВАКР-100-12У4		24/12			
ВАКР-320-18У4	320	18/9	79	870 × 530	230
ВАК-630-24У4	630	24/12	88	1085 × 600	550

Продолжение табл. 3.76

1	2	3	4	5	6
ВАК-1600-12У4	1600	12/6	82	870 × 530	260
ВАК-3200-12У4	3200		83	1290 × 820	1100
<i>Тиристорные</i>					
ТЕ1-100/12Т-0	100	12	78	600 × 400	135
ТЕ1-400/12Т-0	400		82	1000 × 400	315
ТК1-800/12Т-0	800		83	1000 × 600	380
ТВ1-1600/12Т-0	1600				510
ТЕР1-400/12Т-0	400		82	1000 × 400	345
ТВР1-1600/24Т-0	1600		83	1000 × 600	525
ТВИ1-1600/24Т-0		24	87		670

Перемещение подвесок с деталями между позициями загрузки, ваннами и позициями разгрузки выполняют вручную или с помощью автооператоров.

#### 3.11.4. Основы электрокристаллизации и кинетика осаждения покрытий

Электролит у поверхности катода насыщен положительными ионами металла, а поверхность катода несет поверхностный электрический отрицательный заряд из электронов. Ионы металлов в растворе находятся в составе сольватов. Противоположные по знаку заряды образуют вследствие электростатического притяжения на границе металл – раствор двойной электрический слой с напряженностью до  $10^7$  В/см. Восстанавливающийся ион металла преодолевает этот слой и приобретает большую скорость на входе в строящуюся на катоде кристаллическую решетку, что объясняет ее неравновесное строение с измененными параметрами. В образовании кристаллической решетки участвуют также различные включения как металлические, так и неметаллические в виде гидроксидов, воды, водорода и поверхностно-активных веществ.

Сложные катодные и анодные процессы электролиза протекают в несколько стадий:

– перенос ионов вместе с сольватной оболочкой путем диффузии, конвекции и миграции из глубины раствора к наружной поверхности двойного электрического слоя;

– переход ионов на границе фаз со стороны электролита к металлу, при этом происходят частичная десольватация металлических ионов, прохождение их через двойной электрический слой, адсорбция и разряд на поверхности электрода (собственно электрохимическая реакция);

– движение атомов по поверхности электрода к местам роста и образования кристаллической решетки, внедрение атомов в эту решетку.

Электрохимические процессы в неравновесной системе протекают за счет потребления электрической энергии. Электролиз происходит тогда, когда к электродам приложено напряжение, превышающее равновесный потенциал. Потенциал электрода под током зависит от природы системы, ее температуры и давления, а также от силы тока, проходящего через электролит. Разность между катодным потенциалом  $\varphi_k$  (или анодным) и потенциалом электрода в отсутствие электрического тока (равновесным потенциалом)  $\varphi_p$  называется поляризацией  $\Delta\varphi$ , В:

$$\Delta\varphi = \varphi_k - \varphi_p. \quad (3.49)$$

Различают три основные составляющие поляризации: концентрационную  $\Delta\varphi_{кн}$ , химическую  $\Delta\varphi_{хм}$  и кристаллизационную  $\Delta\varphi_{кр}$ :

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{кн} + \Delta\varphi_{хм} + \Delta\varphi_{кр}. \quad (3.50)$$

Концентрационная составляющая поляризации  $\Delta\varphi_{кн}$  объясняется обеднением прикатодного слоя электролита ионами металла и обогащением прианодного слоя электролита этими ионами и определяется по формуле Нернста:

$$\Delta\varphi_{кн} = -\frac{RT}{ZF} \ln \frac{C_0}{C_k}, \quad (3.51)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 Дж/(кмоль·К);  $Z$  – валентность катиона;  $F$  – число Фарадея, составляющее 96 484 Кл/(моль·экв.);  $C_0$  – концентрация ионов вдали от электрода в общем объеме электролита, г/л;  $C_k$  – концентрация тех же ионов в прикатодном слое, г/л.

Химическая составляющая поляризации  $\Delta\varphi_{хм}$  возникает за счет замедления отдельных этапов катодной реакции. Скорость электрохимической реакции определяется стадией, протекающей с наименьшей скоростью. Любое торможение одной стадии повышает поляризацию катода, и

его потенциал сдвигается в отрицательную сторону. Обычно это связано с переходом ионов через двойной электрический слой и освобождением ионов от сольватной оболочки или от комплексообразующих. Эта составляющая определяется по формуле Тафеля:

$$\Delta\varphi_{\text{хм}} = a + b \log D_{\text{к}}, \quad (3.52)$$

где  $a$  и  $b$  – константы, характеризующие условия электролиза.

Адсорбция ионов на катоде с последующим вступлением в кристаллическую решетку может быть причиной кристаллизационной поляризации, которая обратно пропорциональна току обмена.

Взаимосвязь между кристаллизационной поляризацией, током обмена и величиной зерна хорошо прослеживается при осаждении металлов из растворов простых солей, так как в этом случае другие виды поляризации незначительны.

Все металлы в зависимости от величины кристаллизационной поляризации могут быть разбиты на три группы: 1) серебро, кадмий, олово и др.; 2) висмут, медь и цинк; 3) кобальт, железо, никель.

Металлы первой группы, имеющие сравнительно большой ток обмена ( $10^{-2} \dots 10^{-1}$  А/см<sup>2</sup>) осаждаются с очень малой поляризацией – порядка нескольких милливольт. При плотности тока, применяемой в гальванотехнике, образуются крупнокристаллические покрытия с зернами размером в десятки микрометров.

Висмут, медь и цинк имеют более удовлетворительные осадки. Величина зерна у них  $10^{-3} \dots 10^{-2}$  мм. Ток обмена намного меньше:  $10^{-5} \dots 10^{-1}$  А/см<sup>2</sup>, а поляризация равна  $10^{-2}$  В.

Кобальт, железо, никель осаждаются в виде мелких кристаллов величиной  $10^{-4} \dots 10^{-3}$  мм. Токи обмена у них очень малы:  $10^{-8} \dots 10^{-9}$  А/см<sup>2</sup>. Поляризация достигает 0,1 В.

Перемешивание электролита, повышение температуры и концентрации осаждаемого вещества и другие факторы, облегчающие подачу ионов к катоду, снижают поляризацию.

Электролитические осадки по свойствам и строению отличаются от металла, полученного в обычном металлургическом процессе. Изменение свойств металла обусловлено особенностью катодного процесса его получения.

Структура покрытия зависит от катодной поляризации. Чем выше эта поляризация, тем мельче зерно. Поэтому все факторы, увеличивающие поляризацию, благоприятно сказываются на структуре покрытия.



Образование и рост кристаллов подчиняются общим закономерностям образования твердой фазы расплава или раствора. Электrokристаллизация проходит две фазы: возникновение центров кристаллизации и рост этих центров. Каждая из этих фаз характеризуется определенной скоростью, зависящей от технологических факторов процесса. В том случае, когда скорость образования новых центров кристаллизации превышает скорость роста уже появившихся кристаллов, образуется большее число мелких кристаллов (осадок приобретает мелкокристаллическую структуру). При обратном соотношении скоростей возникают более крупные кристаллы. Структура осажденных металлов – один из признаков, определяющих качество покрытий. Покрытия, имеющие мелкокристаллическую структуру, наиболее работоспособны.

Чем больше катодная поляризация, тем чаще возникают новые центры кристаллизации, а покрытие приобретает мелкокристаллическую структуру. Катодный ток непрерывно блуждает по элементарным площадкам катода вслед за появлением новых кристаллов. Вокруг растущего кристалла раствор обедняется ионами металла, вследствие чего линии тока перераспределяются и металл начинает осаждаться на тех участках катода, где массовая доля ионов выше.

К повышению катодной поляризации приводят:

- уменьшение массовой доли ионов осаждаемого металла;
- добавление в электролит кислот и солей, переносящих заряды, но в осадке не участвующих;
- добавка в электролит органических веществ (гуммиарабика, декстрина, желатина, фенола, глицерина и др.), образующих коллоидные или молекулярные растворы, которые блокируют поверхность растущих кристаллов;
- рост плотности тока;
- уменьшение площади электродов и температуры электролита. Перемешивание электролита снижает катодную поляризацию, в этом случае возможно повышение плотности тока при понижении температуры раствора.

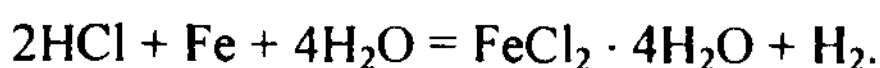
Плотность дислокаций в гальваническом покрытии  $10^{11} \dots 10^{12} \text{ см}^{-2}$ .

Повышение равномерности покрытий обеспечивается применением кранирующих устройств. Использование устройств снижает затраты металла на дендритообразование в 3...5 раз, а длительность электролиза и расход электроэнергии уменьшаются при этом в 1,5...2,0 раза. Затраты на внедрение мероприятий  $\leq 1\%$  себестоимости восстановления детали.

### 3.11.5. Железнение

Процесс применяют при восстановлении наружных и внутренних поверхностей деталей, изношенных на 0,2...0,3 мм и требующих высокой поверхностной твердости. Восстанавливают трущиеся шейки и шейки под неподвижные посадки, поверхности отверстий под втулки и обоймы подшипников в стаканах и корпусных деталях и другие элементы. Для железнения, например, применяют комплект оборудования ОГ-10591 ГОСНИТИ.

В качестве электролита при железнении (табл. 3.77) наиболее распространен раствор хлористого железа (300...500 г/л) и соляной кислоты (2...3 г/л) в воде. Присутствие свободной HCl предупреждает образование гидроксидов, которые загрязняют электролит и снижают качество покрытия. Раствор хлористого железа готовят травлением стальной стружки в соляной кислоте в результате реакции



Для поддержания необходимой массовой доли ионов железа применяют растворимые аноды из армко-железа, площадь которых меньше площади катодов примерно в 2 раза. Аноды при работе помещают в мешки из стеклоткани для уменьшения загрязнения электролита.

Горячие электролиты (температура > 50 °С) требуют большого расхода энергии, частой корректировки концентрации электролита и эффективного удаления паров с помощью вентиляции. Однако они получили большое распространение как более производительные по сравнению с холодными электролитами.

#### 3.77. Состав распространенных электролитов и режимы железнения

Компоненты и параметры режима	Номер электролита		
	1	2	3
Хлористое железо, г/л	300...350	400...600	150...200
Сернокислое железо, г/л	—	—	200
Аскорбиновая кислота, г/л	—	0,5...2,0	—
Кислотность, рН	0,8...1,2	0,5...1,3	0,6...1,2
Температура электролита, °С	70...80	20...50	30...50
Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	20...50	10...30	20...25
Выход по току, %	85...95	85...92	85...92

Сернокислые электролиты по сравнению с хлористыми подвержены окислению и менее агрессивны по отношению к материалу заготовки. Хлористые электролиты отличаются повышенным содержанием железа и большей активностью ионов, что позволяет значительно повысить допустимую плотность тока (до 60 А/дм<sup>2</sup>). Доведение температуры электролита до 90...95 °С дает возможность получать пластичные покрытия с меньшими внутренними напряжениями.

Во время электролиза на электродах протекают следующие процессы: восстановление на катоде – разряд ионов железа  $\text{Fe}^{2+} + 2e = \text{Fe}$ , выделение водорода  $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$ , восстановление трехвалентного железа  $\text{Fe}^{3+} + e = \text{Fe}^{2+}$ ; окисление на аноде – растворение железа  $\text{Fe} - 2e = \text{Fe}^{2+}$ , окисление двухвалентного железа  $\text{Fe}^{2+} - e = \text{Fe}^{3+}$ , выделение кислорода.

Катодная плотность тока при железнении 5...15 А/дм<sup>2</sup>. Выход по току 85...95 %.

Электролитическое железо по составу приближается к малоуглеродистой стали с 0,03...0,06 % С, однако его кристаллическая решетка напряжена, а по своим физико-механическим свойствам осадки близки к закаленной стали.

Сплавы железа с никелем, хромом, марганцем и другими металлами обладают повышенной износо- и коррозионной стойкостью покрытий. Для получения сплава Fe–Ni, например, используют электролит состава (г/л):  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (120...200),  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (100),  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (30). Кислотность электролита  $\text{pH} = 2,5...3,0$ . Режим работы: температура электролита 70...80 °С, катодная плотность тока 20...30 А/дм<sup>2</sup>. Выход по току 80...90 %. Максимальную твердость (7000 МПа) имеют сплавы, содержащие в осадке 35...45 % Fe.

Легирование железа марганцем и фосфором значительно улучшает износостойкость осадка. С увеличением марганца в покрытии износостойкость и твердость последнего растут. Применяют электролит состава (г/л): хлористое железо (400...500), хлористый марганец (30...80), гипофосфит натрия (10...20). Режим процесса: температура электролита 40...60 °С, катодная плотность тока 40...50 А/дм<sup>2</sup>. Покрытия при этих условиях содержат до 4 % Р и 2 % Мп. Их отпуск при температуре 250...350 °С и выдержка в течение 1 ч способствуют образованию фосфидов железа в виде субмикроскопических выделений. Твердость осадков при этом увеличивается с 7500 до 9000 МПа, а их износостойкость в 2 раза превышает износостойкость закаленной стали 45.

### 3.11.6. Хромирование

Процесс применяют для восстановления наружных и внутренних поверхностей деталей с износами до 0,2 мм и с высокими требованиями к износостойкости.

При хромировании применяют универсальный электролит состава (табл. 3.78): хромовый ангидрид  $\text{CrO}_3$  (200...250 г/л), серная кислота (2...2,5 г/л) с выходом по току 12...14 %. Удовлетворительные хромовые покрытия получают лишь в присутствии ионов  $\text{SO}_4$  или  $\text{SiF}_6$  в строго определенном соотношении и с применением нерастворимых свинцово-сурьмянистых анодов, в которых содержание сурьмы достигает 6 %. Постоянная массовая доля ионов  $\text{SO}_4$  поддерживается за счет присутствия в растворе труднорастворимого сульфата стронция  $\text{SrSO}_4$ . Такие электролиты называют саморегулирующимися. Добавление в раствор кремнефторида калия  $\text{K}_2\text{SiF}_6$  делает электролит саморегулирующимся как по

3.78. Состав электролитов и режимы хромирования

Компоненты и параметры режима	Номер электролита				
	1	2	3	4	5
Хромовый ангидрид, г/л	120...150	220...250	300...350	225...300	380...420
Серная кислота, г/л	1,2...1,5	2,2...2,5	3...3,5	—	—
Сернокислый стронций, г/л	Не применяются			5,5...6,5	—
Кремнефтористый калий, г/л	Не применяются			18...20	—
Углекислый кальций, г/л	Не применяются			—	40...60
Сернокислый кобальт, г/л	Не применяются			—	18...20
Температура электролита, °C	50...65	45...60	40...50	50...65	18...25
Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	30...100	20...60	15...30	40...100	100...300
Выход по току, %	15...18	12...14	8...10	18...20	35...40

ионам  $\text{SO}_4$ , так и по ионам  $\text{SiF}_6$ . Подобный электролит отличается повышенной стабильностью и выходом по току. Катодная плотность тока при хромировании в таких условиях 35...100 А/дм<sup>2</sup>, а выход по току 35...40 %. При использовании хлоридных электролитов выход по току достигает 55...60 %.

Малоконцентрированный электролит № 1 отличается лучшей рассеивающей способностью и удовлетворительным выходом по току. Покрытия, полученные в нем, характеризуются высокой твердостью и износостойкостью. Однако электролит нуждается в частом добавлении хромового ангидрида.

Электролит № 2 называют универсальным, с его помощью получают как твердые износостойкие покрытия, так и покрытия с хорошими защитно-декоративными свойствами.

Концентрированный электролит № 3 используют при защитно-декоративном хромировании деталей сложной формы. Ему свойственны низкий выход по току и плохая рассеивающая способность.

Электролит № 4 является саморегулирующимся, хотя он не получил широкого распространения.

Саморегулирующийся электролит № 5 обладает высоким выходом по току и скоростью осаждения хрома (0,18...0,50 мм/ч). Однако для поддержания указанной температуры при высокой плотности тока требуется мощный холодильный аппарат.

Во время хромирования на катоде одновременно протекают три процесса: восстановление шестивалентного хрома до трехвалентного  $\text{Cr}^{6+} + 3e = \text{Cr}^{3+}$ , выделение водорода  $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$ , осаждение металлического хрома  $\text{Cr}^{6+} + 6e = \text{Cr}$ . На аноде выделяется газообразный кислород и окисляется трехвалентный хром до шестивалентного  $\text{Cr}^{3+} - 3e = \text{Cr}^{6+}$ .

Электролитический хром по внешнему виду бывает блестящий, молочный или серый. Блестящий хром имеет высокие твердость (6000...9000 МПа) и износостойкость, хрупкость и внутренние напряжения. На его поверхности видны под микроскопом мелкие пересекающиеся трещины. Молочный хром отличается повышенной износостойкостью, большой вязкостью и пониженной твердостью (4000...6000 МПа). Сетка трещин на нем отсутствует. Серый хром — очень твердый (9 000...12 000 МПа) и хрупкий металл, имеющий из-за хрупкости пониженную износостойкость. При восстановлении деталей используют блестящие и молочные осадки.

Получение осадков различных видов обусловлено условиями электролиза. Блестящие покрытия получают при температуре электролита 45...65 °С, а молочные – при температуре  $\geq 65$  °С в широком диапазоне плотностей тока. Серый хром получают при низкой температуре электролита и высокой плотности тока.

Пористые износостойкие хромовые покрытия получают в результате дополнительной анодной обработки после нанесения покрытия перед извлечением заготовок из ванны.

### 3.11.7. Цинкование

Цинковые покрытия характеризуются пластичностью и невысокой твердостью (500...600 МПа). Их применяют для защиты деталей из черных металлов от коррозии и для восстановления поверхностей отверстий малонагруженных деталей. Электролиты цинкования приведены в табл. 3.79. Аноды цинкования выполняют из цинка Ц0, Ц1 и Ц2.

3.79. Состав электролитов и режимы цинкования

Компонент и параметр режима	Номер электролита		
	1	2	3
Сернокислый цинк, г/л	200...30	–	–
Оксид цинка, г/л	–	12...15	10...20
Едкий натр, г/л	–	100...120	–
Сернокислый натрий, г/л	50...100	–	–
Сернокислый алюминий, г/л	30...50	–	200...300
Хлористый аммоний, г/л	–	–	–
Декстрин, г/л	8...10	–	25...30
Борная кислота, г/л	–	–	1...2
Мездровый клей, г/л	–	2...4	–
Полиэтиленполиамин, г/л	–	0,5	–
Тиомочевина, г/л	–	–	5,9...6,5
Кислотность, рН	3,5	–	15...30
Температура электролита, °С	15...25	18...25	–
Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	1...2	1...2	0,5...1,5

В восстановительном производстве применяют кислые (№ 1) и щелочные (№ 2 и 3) электролиты. В свою очередь, электролит № 2 является цинкатным, а электролит № 3 – аммиакатным. Для увеличения плотности тока электролит перемешивают. Кислые электролиты обладают плохой рассеивающей способностью, а покрытия, полученные из них, меньшей коррозионной стойкостью, чем полученные в щелочных электролитах. В то же время кислые электролиты более долговечны и допускают применение токов большей плотности с выходом по току, близким к единице. Сейчас чаще применяют щелочные цинкатный (№ 2) и аммиакатный (№ 3) электролиты. Они просты по составу, дешевы, обладают высокой электропроводностью и хорошей рассеивающей способностью.

При создании ремонтных заготовок распространено электроконтактное цинкование в электролите, содержащем 280...300 г/л сернокислого цинка и 20...40 г/л борной кислоты. Процесс начинают при плотности тока 30...50 А/дм<sup>2</sup>, которую постепенно доводят до 200 А/дм<sup>2</sup>. Скорость перемещения анодного тампона относительно восстанавливаемой поверхности 10 м/мин.

Мелкие крепежные детали цинкуют во вращающихся колокольных или барабанных ваннах. Частота их вращения 8...15 об/мин.

### **3.11.8. Гальванические композиционные покрытия**

Активно внедряется в восстановительное производство нанесение гальванических композиционных хромовых, никелевых и железных покрытий. Возможно получение композиционных слоев из многих известных электролитов в присутствии мелкодисперсных порошков полимеров, карбидов, оксидов, боридов и др. При максимальной концентрации порошков в электролитах можно получить до 30...40 % гетерогенности покрытий, что положительно сказывается на их физико-механических и эксплуатационных свойствах. Технология электроосаждения позволяет получать композиционные покрытия толщиной > 100 мкм с возможным регулированием их структуры и свойств.

При нанесении композиционных электрохимических покрытий на основе хрома используют ультрадисперсные алмазные добавки размером ~ 4 нм, массовая доля которых в покрытии достигает 2 %. Добавки обеспечивают большой эффект упрочнения. На режимах блестящего хромирования частицы модификатора внедряются в покрытие в виде скоплений размером 100...200 нм. Возможно, что это связано с агрегатированием частиц под действием ионных сил электролита.

На рабочие поверхности деталей, работающих в жестких условиях коррозионно-механического изнашивания, целесообразно наносить тонкие полимерные пленки. Это способствует снижению изнашивания на 45...48 % такого материала по сравнению с базовым покрытием при трении в условиях граничной смазки, износ контртела при этом уменьшается в 1,5...3,0 раза.

### 3.11.9. Микродуговое оксидирование

Микродуговое оксидирование основано на использовании особенностей электрохимических и микроплазменных процессов и позволяет получать на поверхности вентильных металлов (алюминия, титана, циркония, тантала и др.) оксидные покрытия.

В восстановительном производстве нашло применение микродуговое оксидирование деталей из алюминиевых сплавов (Д16Т, АМг, АМц и др.). На поверхности деталей формируются керамические покрытия, в состав которых входят оксиды  $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ . Толщина покрытий достигает 60 мкм, а шероховатость поверхности  $Ra$  0,63 мкм. В ряде случаев механическую обработку после нанесения покрытий не проводят.

При микродуговом оксидировании используют три вида электролитов:

1) растворы кислот или щелочей, в которых преобразование слоев металла направлено вглубь за счет его окисления;

2) растворы жидкого стекла, анионы которого формируют покрытие, растущее наружу;

3) смесь растворов первого и второго видов, где покрытие формируется как вглубь металла, так и наружу за счет окисления металла и осаждения анионов.

Наиболее перспективным оказался электролит третьего вида из щелочи КОН (0,5...3,0 г/л) и жидкого стекла  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (6...20 г/л). Температура электролита 40...50 °С, его кислотность  $\text{pH} = 7...12$ , плотность тока 10...25 А/дм<sup>2</sup>, а продолжительность процесса 1,5...2,0 ч. Анодная составляющая напряжения на третьей – восьмой минутах должна быть ~ 200 В, а катодная ~ 60 В. По мере протекания процесса анодная составляющая напряжения должна возрастать. В этом случае можно восстанавливать малоизношенные детали и упрочнять их большую номенклатуру. Микротвердость покрытий 5 000...11 000 МПа, а их износостойкость в несколько раз превышает износостойкость неупрочненных сплавов.

Для восстановления деталей из сплава АЛ9 применяют электролит состава: 0,9...1,1 КОН, 10...14 г/л  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . При плотности тока 25...

30 А/дм<sup>2</sup> скорость осаждения покрытия достигает 30...50 мкм/ч. Расстояние между электродом и деталью 10...15 мм. После 2 ч нанесения покрытия и снятия внешнего рыхлого слоя остается твердое покрытие толщиной 50 мкм.

По причине значительного тепловыделения при микродуговом оксидировании электролит может нагреться до кипения, поэтому ванну снабжают рубашкой водяного охлаждения. При испарении электролита его уровень повышают добавлением дистиллированной воды.

Механическую обработку покрытий ведут абразивным инструментом на эластичной связке.

### 3.11.10. Средства интенсификации процессов нанесения покрытий

Скорость электрохимической реакции определяется массой осажденного металла или ростом толщины покрытия в единицу времени. Последний показатель  $v$ , мм/ч, найдем, если разделим обе части выражения (3.47) на  $t$ :

$$v = \frac{h}{t} = \frac{CD_k \alpha}{10\gamma} \quad (3.53)$$

Электрохимический эквивалент  $C$  и плотность  $\gamma$  зависят от природы осаждаемого металла и для каждого металла постоянны. Таким образом, производительность гальванического процесса будет тем выше, чем выше плотность тока и выход металла по току.

Имеются два основных направления повышения качества и производительности процесса:

– совершенствование и разработка новых электролитов и технологических процессов, способствующих повышению  $D_k$  и  $\alpha$ ;

– сокращение числа подготовительных и заключительных операций.

Как средство повышения производительности процесса (за счет повышения катодной плотности тока) и качества покрытий применяют: новые электролиты, принудительную циркуляцию электролита в зоне электролиза и повышение его температуры, нестационарные токи, наложение на зону осаждения покрытия ультразвуковых колебаний или электромагнитного поля (в том числе с переменной напряженностью), изменение давления на зеркало ванны, механическое и гидроабразивное активирование. В ряде случаев эти факторы позволяют более эффективно управлять формообразованием и получать покрытия с заданными свойствами.

Одним из эффективных путей снижения энергопотребления при осаждении покрытий является повышение концентрации солей металлов, что в сочетании с внесением различных добавок катионного и анионного типов обеспечивает высокий выход металла по току (для хромирования до 42 %) в широком интервале плотностей катодного тока (90...200 А/дм<sup>2</sup>). Разработаны высокопроизводительные малоокисляющиеся электролиты железнения.

Применение периодических токов (реверсивного, асимметричного и импульсного) вместо постоянного тока (рис. 3.48, а – в) позволяет изменением параметров прямого и обратного импульсов значительно уменьшить ограничения по массовой доле составляющих электролита, повысить рабочую плотность тока и прочность соединения покрытия с основой, в широких пределах управлять их свойствами. При технологических расчетах используют эффективную силу тока  $i_{эф}$ , А, значение которой равно

$$i_{эф} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt, \quad (3.54)$$

где  $i(t)$  – текущее значение тока (А) в функции от времени  $t(с)$ ;  $T$  – период тока, с.

Для питания гальванических ванн асимметричным током служит приставка 0013-013 Ремдеталь. Она представляет собой шкаф с панелью управления. Приставка работает с выпрямителем серий ВАК. Шкаф включает: релейную часть, задатчик тока, органы управления и контроля. Принцип работы приставки основан на обратном включении одного из тиристоров питания сер. ВАК по отношению к другому. Приставка имеет три исполнения в зависимости от пределов регулирования тока. Первое – третье исполнения приставки обеспечивают регулирование анодной и катодной составляющих в пределах соответственно 0...30; 0...60 и 0...100 А.

Действие анодных импульсов обратного тока в зависимости от создаваемой ими поляризации заключается в частичном растворении покрытия и обогащении прикатодного слоя ионами металла или в пассивации осадка.

В первом случае катодный потенциал за время действия обратного импульса тока уменьшается до значения меньше стационарного потенциала, т.е. катодное пересыщение становится отрицательным, что приводит к растворению осадка. К тому же активизируются участки катода.

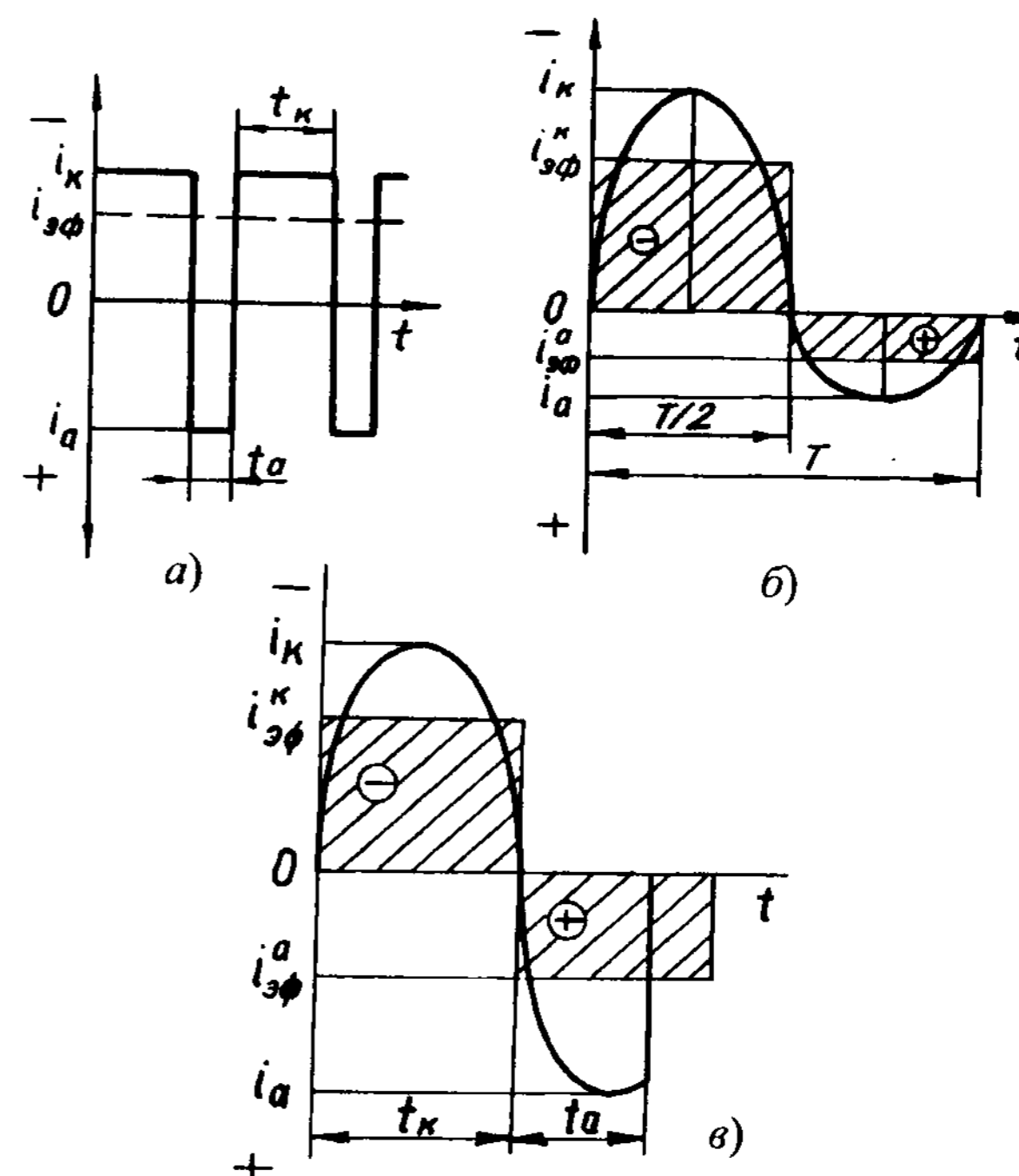


Рис. 3.48. Нестационарные токи при электролизе:  
 $i_k$  – катодный ток;  $i_a$  – анодный ток;  $i_{эф}$  – эффективная сила тока;  
 $i_{эф}^k$ ,  $i_{эф}^a$  – эффективные силы соответственно катодного и анодного тока;  
 $t_k$ ,  $t_a$  – длительность соответственно катодного и анодного импульса;  
 $T$  – период действия переменного тока;  $t$  – текущее время

Вследствие этого поверхность становится энергетически однородной и активной для появления новых центров кристаллизации и равномерного осаждения металла при последующем катодном импульсе. В этом случае снижаются число дефектов кристаллической решетки и содержание примесей в осадке. При относительно большой плотности тока в обратных импульсах ( $i_a > 0,5i_k$ ) и значительной длительности их протекания (скважность  $> 8$ ) растворяются не только грани растущих кристаллов, но и границы зерен. В результате осадки получают крупнокристаллическими, обладающими большой пластичностью и невысокими внутренними напряжениями.



Во втором случае катодное пересыщение за время действия анодного импульса падает до нуля (оптимальный случай) или до некоторого положительного значения.

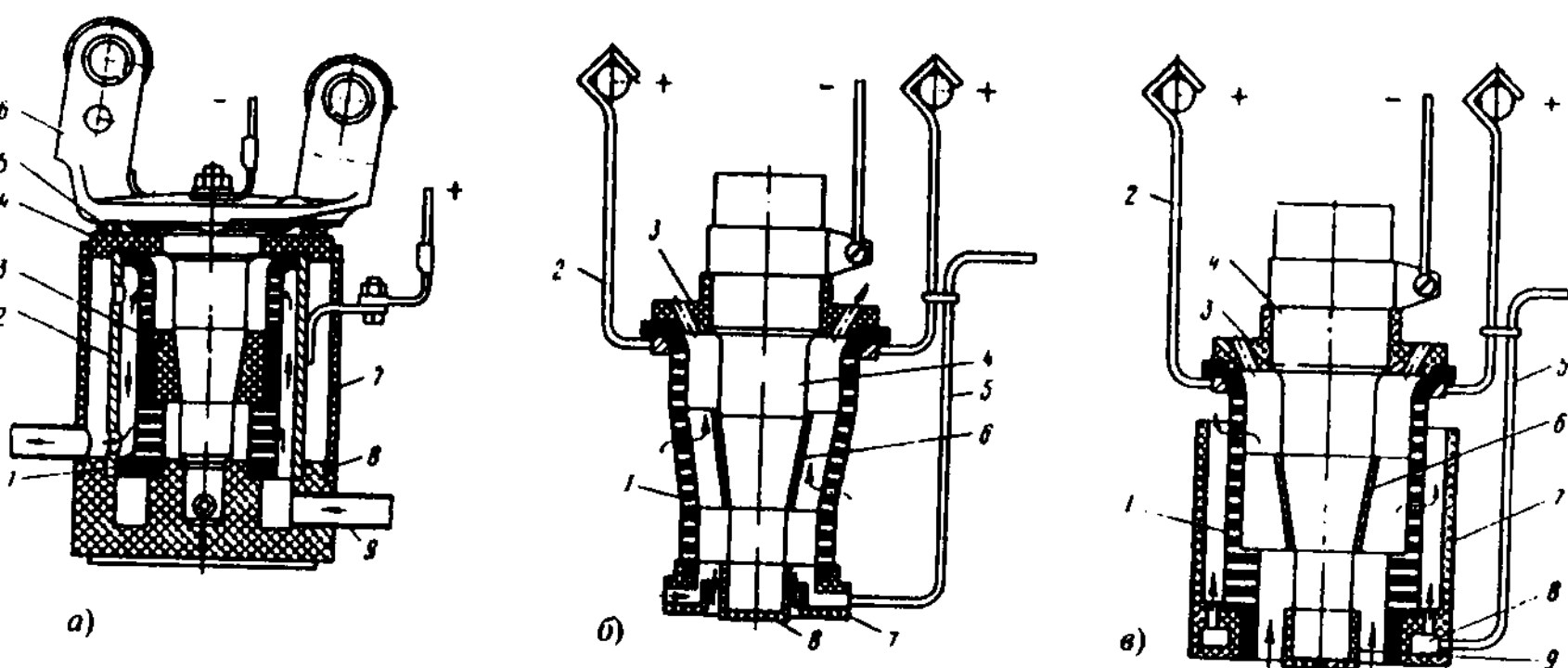
Наиболее эффективны периодические токи при широтно-частотном их регулировании вместо амплитудного. При этом длительность обратного импульса не должна быть больше продолжительности разряда двойного электрического слоя, образующегося на границе металл – раствор [например, при холодном железнении длительность катодного импульса  $t_k = (21...30) 10^{-3}$  с, анодного  $t_a = (0,7...1,5) 10^{-3}$  с].

Резкий сброс тока до нуля позволяет фиксировать состояние, полученное за время действия катодного импульса. Образующиеся за время паузы оксидные и солевые пленки блокируют активные участки поверхности, затрудняя нормальный рост кристаллов. Продолжение последнего возможно при последующем повышении пересыщения до значения, при котором возникают новые зародыши и на неактивных местах. Все это приводит к формированию в осадках мелкокристаллической структуры с большой плотностью точечных и линейных дефектов и, соответственно, к повышенным значениям микротвердости и прочности на разрыв.

Интенсифицировать процесс и уменьшить время нанесения покрытия можно за счет движения электролита относительно покрываемой поверхности в турбулентном режиме (гальваномеханический способ). Такое движение электролита можно создать введением в межэлектродное пространство вращающейся пластмассовой перфорированной перегородки. При скорости движения обода перегородки 2...3 м/с в холодном электролите железнении при массовой доле хлористого железа 580...620 г/л и  $pH = 0,6...0,8$  можно достичь плотности тока 150...200 А/дм<sup>2</sup>, а скорости осаждения покрытия, равной 1,5...2,0 мм/ч. При этом уменьшаются дендритообразование и шероховатость покрытия, повышается его равномерность. Активирование восстанавливаемой поверхности и перемешивание электролита при хромировании позволяют повысить плотность тока до 1000 А/дм<sup>2</sup>, а скорость осаждения покрытий возрастает в 20...50 раз и достигает 3,6 мм/ч. Выход по току при этом 50...55 %.

Производительность процесса можно увеличить непрерывным обогащением прикатодного слоя ионами осаждаемого металла и исключением его защелачивания.

Различают подачу электролита в катодно-анодное пространство под напором, газолифтную и эжекторную (рис. 3.49).



**Рис. 3.49. Схема подачи электролита в электролитическую ячейку:**  
 — под напором (1 — анод; 2 — гильза анода; 3 — втулка; 4 и 8 — центрирующие крышки; 5 — прокладка; 6 — деталь; 7 — кожух; 9 — воздухопровод);  
 б — газолифтная (1 — анод; 2 — анодный контакт; 3 — центрирующая шайба; 4 — деталь; 5 — воздухопровод; 6 — втулка; 7 — воздухораспределительное устройство; 8 — колпак);  
 в — эжекторная (7 — экран; 8 — эжектор; 9 — колпак; остальные обозначения те же, что и на рис. 3.49, б)

Сущность подачи электролита *под напором*, которая реализуется при вневанных способах электролиза, состоит в том, что с помощью насосной установки электролит подается в катодно-анодное пространство ячейки через систему входных отверстий диаметром 2,4...2,6 мм, а отводится через систему выходных отверстий диаметром 2,8...3,0 мм, выполненных в аноде. Площадь всех отверстий составляет 4,8 % площади рабочей поверхности анода.

Система входных отверстий обеспечивает равномерный подвод свежего электролита ко всей восстанавливаемой поверхности детали, а система выходных отверстий позволяет одновременно и равномерно отводить отработавший электролит и побочные продукты электролиза из анодно-катодного пространства. Такой характер циркуляции электролита способствует его обновлению и ускоренному отводу газов, повышению проводимости электролита и уменьшению наводороживания обрабатываемых деталей. Усталостная прочность снижается не более чем на 5 %. Обеспечиваются меньшие остаточные напряжения и небольшое наводороживание.

При *газолифтной* подаче электролита в зону электролиза создается принудительная циркуляция электролита в межэлектродном пространстве за счет всплытия пузырьков отфильтрованного воздуха. Проходя с

большой скоростью, воздух увлекает свежий электролит из ванны и перемещает его через отверстия в аноде в анодно-катодное пространство.

*Эжекторная* подача электролита в зону электролиза заключается в том, что интенсивная циркуляция электролита создается в результате перепада давлений в анодно-катодном пространстве. Это достигается пропусканием отфильтрованного сжатого воздуха снаружи перфорированного анода снизу вверх.

Проточные способы нанесения гальванопокрытий повышают производительность процесса в 3,5...4,0 раза, обеспечивают высокую равномерность и толщину покрытия до 1 мм без дендритов, допускают нанесение покрытия в размер, снижают содержание водорода в покрытии и повышают его качество (обеспечивают мелкую структуру, более высокую твердость и меньшие остаточные напряжения), снижают усталостную твердость только на 4...5 %.

Заслуживает возрождения *электроконтактный способ* нанесения покрытий (электронатирание). Способ обеспечивает меньший расход ресурсов, нанесение покрытий в размер с сокращением или исключением их механической обработки. Область применения способа – создание ремонтных заготовок при восстановлении корпусных деталей и крупногабаритных валов.

Разработана установка для электронатирания 0113-006 Ремдеталь, которая предназначена для восстановления поверхностей отверстий способом вневанного железнения. Установка включает в себя: вращатель; ванны для приготовления электролита, обезжиривания и железнения; электрический шкаф; насосный агрегат Х2/40 и выпрямительный агрегат ВАКР-630-12У4. Производительность нанесения покрытия при толщине слоя 1 мм составляет  $\geq 0,1 \text{ м}^2/\text{ч}$ .

Снижение трудоемкости процесса, уменьшение потребления энергии, химикатов и воды возможно за счет сокращения числа подготовительных и заключительных операций.

Применительно к железнению доказана возможность анодного травления стальных и чугунных деталей с одновременной очисткой их поверхности от травильного шлама непосредственно в хлористом электролите железнения. После операции детали не промывают водой. Эффективно обезжиривание заготовок венской известью вместо электрохимического обезжиривания с последующей промывкой в замкнутой системе водоснабжения.

Используется электролиз при пониженном давлении среды на зеркало ванны. Изменение кинетики взаимодействия металла и водорода в этом случае на поверхности осаждения покрытия уменьшает пористость

(трещиноватость) осадка, значительно увеличивает прочность соединения покрытия с основой и рассеивающую способность электролита. Над ванной исчезает туман, что улучшает экологическую обстановку.

Перспективно создание установок для нанесения гальванических покрытий, в которых заготовка помещается в агрегат гальванической обработки, а технологические среды и ток поочередно подаются в электролизные ячейки.

### 3.11.11. Свойства гальванических покрытий

При выборе режимов нанесения покрытий учитывают общие для большинства гальванических процессов положения: чем выше катодная плотность тока, тем больше скорость осаждения металла и производительность процесса; чем ниже температура и массовая доля составляющих электролита и выше плотность тока (жесткий режим), тем тверже покрытие и меньше достижимая их толщина; чем выше температура и массовая доля составляющих электролита, тем большую плотность тока можно допустить без ущерба для качества покрытий.

Поляризуемость восстанавливаемой поверхности, зависящая от температуры, концентрации и скорости электролита, плотности и формы тока, других факторов, оказывает определяющее влияние на структуру покрытий.

Служебные свойства деталей, восстановленных нанесением гальванических покрытий, определяются: прочностью соединения покрытия с поверхностью детали, твердостью, износостойкостью, внутренними напряжениями и усталостной прочностью. Наиболее критичны для указанных свойств следующие величины процесса: плотность и вид тока, вид и массовая доля составляющих электролита, температура и скорость перемещения электролита у поверхности катода.

Прочность соединения покрытия с деталью зависит от подготовки восстанавливаемой поверхности, условий нанесения покрытия, структуры покрываемого материала, внутренних напряжений в покрытии и др.

На твердость покрытий влияют: температура, массовая доля компонентов электролита и катодная плотность тока (рис. 3.50 и 3.51). Однако рост твердости с повышением плотности тока происходит до определенного предела.

Наиболее износостойки те покрытия, которые имеют достаточную твердость и вязкость. Мелкокристаллическое строение и наличие пор на поверхностях, служащих масляными резервуарами, повышают износостойкость покрытий.

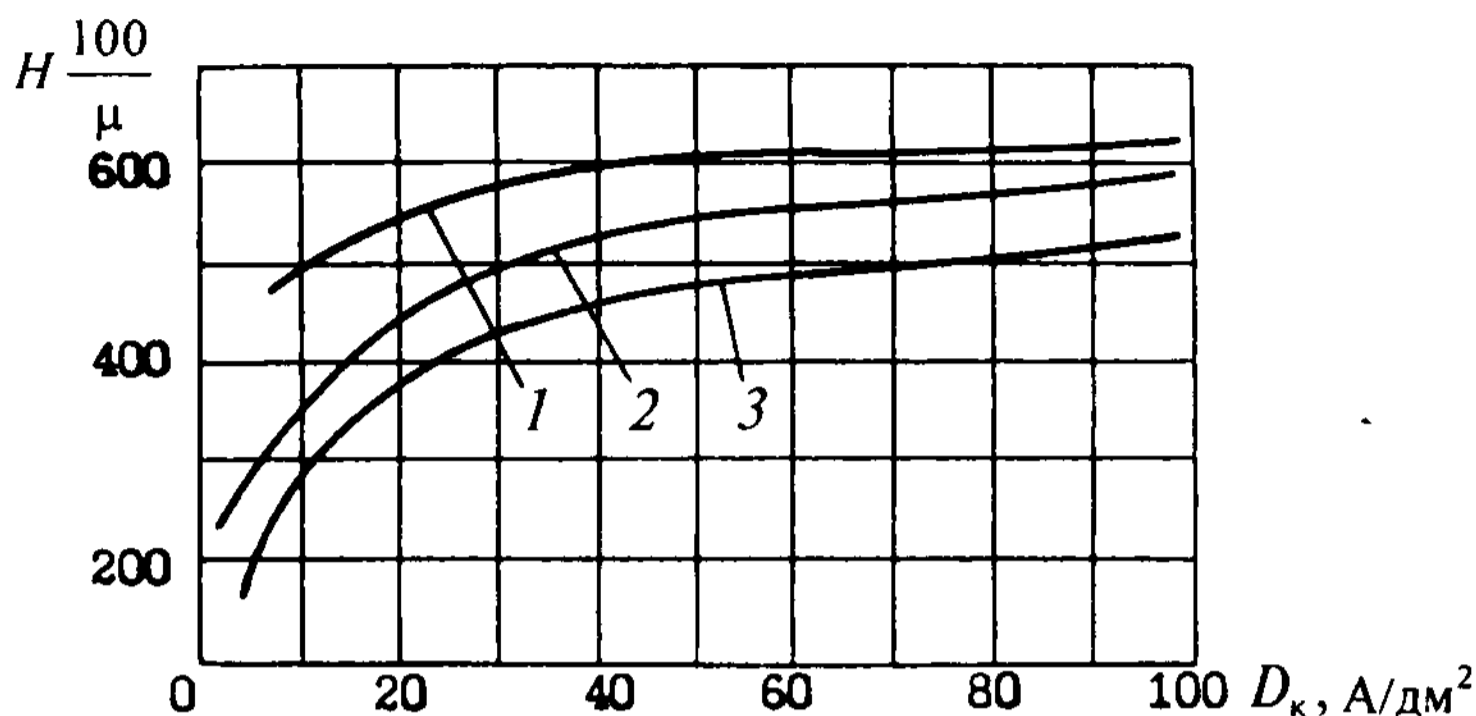


Рис. 3.50. Влияние плотности тока  $D_k$  и температуры электролита на твердость  $H_{\mu}^{100}$  железных покрытий. Температура электролита 60; 80 и 90 °С (соответственно кривые 1, 2, 3); массовая доля  $FeCl_2 \cdot 4H_2O$  равна 200 г/л

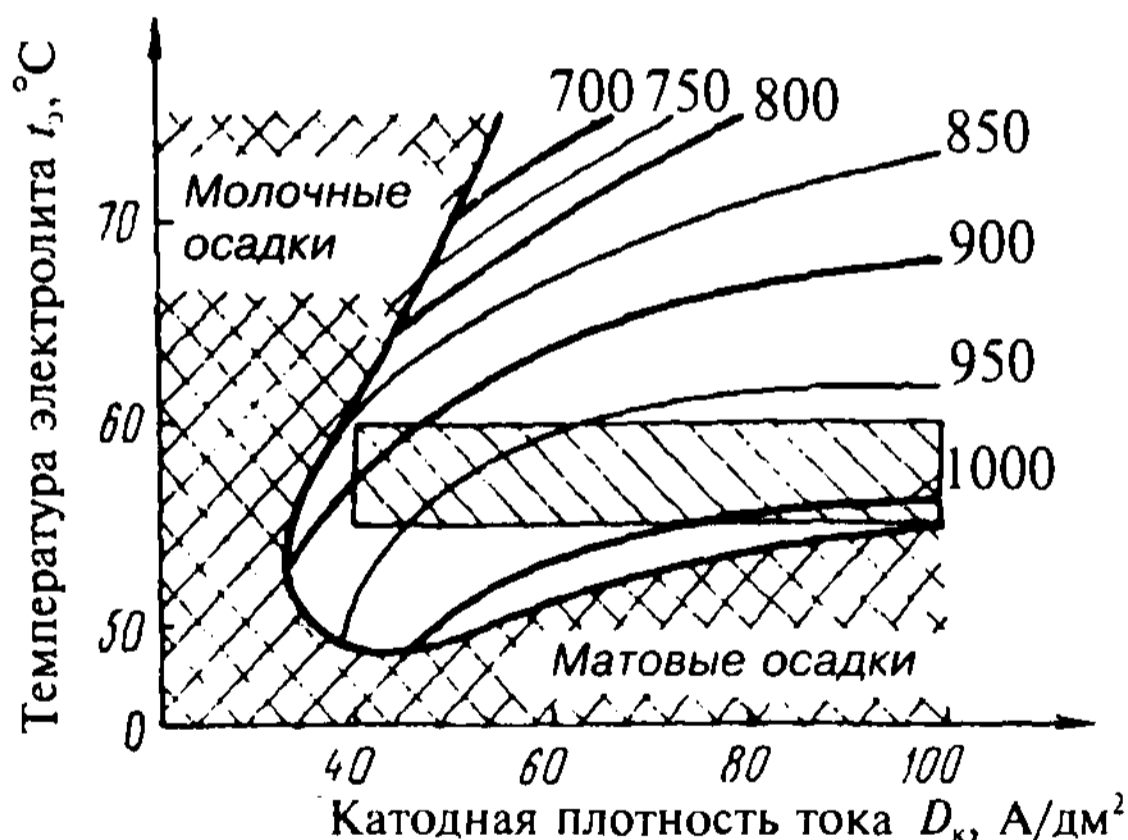


Рис. 3.51. График для выбора температуры электролита  $t$ , и катодной плотности тока  $D_k$  из саморегулирующегося электролита (цифры на кривых – микротвердость,  $kg/mm^2$ )

Внутренние напряжения в покрытиях оказывают большое влияние на твердость, усталостную прочность и прочность соединения с подложкой. На величине и знаке внутренних напряжений значительно сказывается режим электролиза. Покрытия, полученные при низкой температуре электролита, небольшой массовой доле его компонентов и высокой ка-

годной плотности тока, характеризуются напряженной структурой и большим запасом энергии, которая образуется из-за упругого смещения атомов от их равновесного положения. Силы, стремящиеся вернуть смещенные атомы в их равновесное состояние, и есть внутренние напряжения. Последние растут с увеличением толщины покрытий. Растягивающие внутренние напряжения приводят к уменьшению усталостной прочности.

### 3.11.12. Обезвреживание отходов гальванического производства

Сточные воды гальванического производства из ванн химической и электрохимической обработки и нанесения покрытий содержат различные токсичные химические вещества: свободные минеральные кислоты и щелочи, ионы тяжелых металлов, соединения шестивалентного хрома и др. Эти вещества представляют серьезную опасность окружающей среде (почве и воде).

Применяют ионообменные (катионитовые и анионитовые) фильтры для очистки стоков с созданием замкнутых систем водопользования. При этом не только достигаются нейтрализация кислотных или щелочных стоков и очистка их от ионов тяжелых металлов, но и значительно снижается общее солесодержание.

Наиболее эффективно отходы гальванического участка обезвреживаются в установке РВК 50-032М (рис. 3.52) с помощью коагулянта — гидроксида железа  $Fe(OH)_2$ , который получают из стальных отходов и щелочи.

Обезвреживание отходов основано на их взаимодействии с гидроксидом железа с образованием смешанных кристаллов химических соединений, а также с протеканием сорбционных процессов.

Установка содержит блоки сбора сточных вод и концентратов, отделения загрязнений приготовления коагулянта, дозирования реагентов и обезвреживания осадка. Блоки взаимодействуют друг с другом посредством трубопроводов и насосных агрегатов. Имеется пост управления. Основу установки составляет реактор-акселератор, в котором происходят осстановление шестивалентного хрома, перевод ионов тяжелых металлов в нерастворимые гидроксиды, нейтрализация кислот и щелочей, коагуляция гидроксидов из сточных вод.

Реактор-акселератор состоит из сборной 1, реакционной 2 и фильтрационной 3 камер.

В камеру 1 подводятся сточные воды и реагенты. В камере 2 происходит основной процесс обезвреживания. Последняя камера разделена перегородкой 4 на две части: флокуляции *a* и отстойную *б*. В камере *a*

Щелочь или кислота применяется для корректирования pH, а 0,16%-ный раствор поликриламида используется как флокулятор.

Состав перетекает через патрубок в камеру 2. Ее содержимое поступает в камеру фильтрации 3, где взвеси гидроксидов отделяются от обезвреженной воды.

В производство возвращается до 70 % обезвреженной воды.

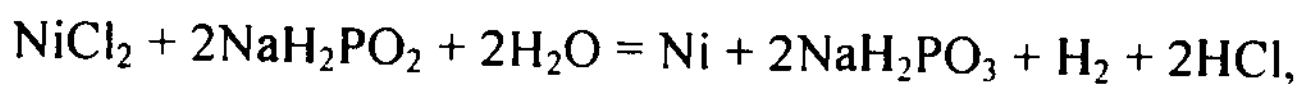
### 3.12. Нанесение покрытий химическим способом

*Химическим способом* наносят металлические покрытия на изношенные поверхности при их восстановлении и для коррозионной защиты, а неметаллические покрытия – для защиты поверхностей от коррозии и придания им диэлектрических и декоративных свойств. При нанесении покрытий используется химическая энергия исходных компонентов.

#### 3.12.1. Нанесение металлических покрытий

Металлические покрытия (меди, кадмия, никеля, олова и др.) можно получить путем осаждения на восстанавливаемые поверхности ионов металлов из водного раствора их хлоридов.

Основой, например, химического *никелирования* является реакция восстановления никеля из водных растворов его солей гипофосфитом натрия в результате окислительно-восстановительной реакции:



здесь степень окисления фосфора возрастает с +1 до +3, ионы никеля  $\text{Ni}^{+2}$  восстанавливаются до металлического никеля, а ионы водорода  $\text{H}^+$  восстанавливаются из воды до газообразного водорода.

Процесс химического никелирования ведут при температуре раствора 45...99 °С. При нижнем пределе температуры производительность осаждения покрытий весьма низкая (1...2 мкм/ч).

Покрытие приобретает полублестящий металлический вид, аморфную структуру и является сплавом никеля с фосфором. Для повышения защитных свойств никелевых покрытий применяют термоокисдирование деталей в воздушной среде при температуре 900 °С в течение 1 ч. В результате процесса на поверхности никеля образуется слой NiO синезеленого цвета толщиной 5...7 мкм.

Для нанесения покрытий из никеля применяют как кислые (pH = 4...6), так и щелочные растворы (pH = 8...10). Состав некоторых растворов, применяемых для нанесения никель-фосфорных покрытий, приведены в табл. 3.80.

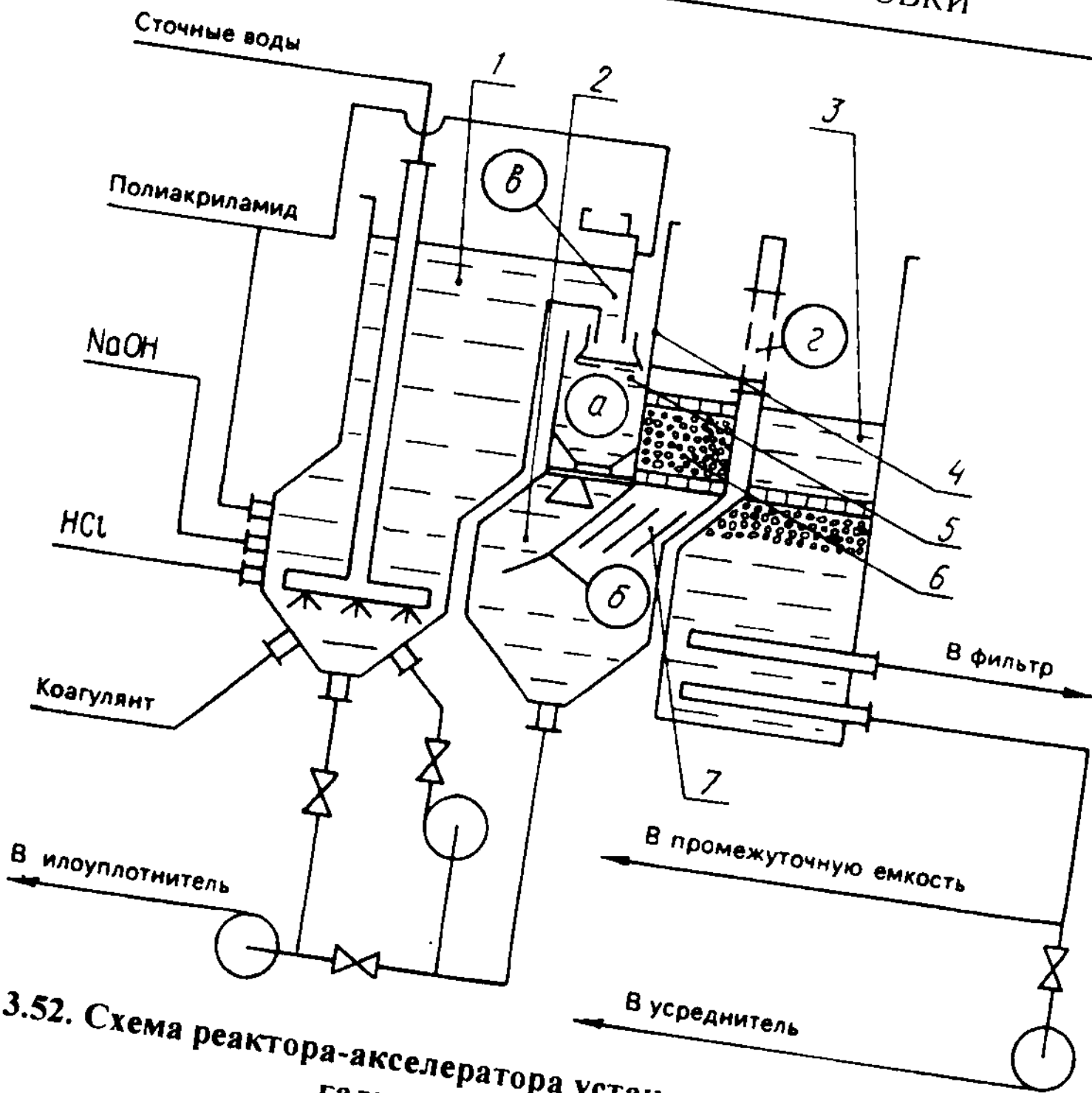


Рис. 3.52. Схема реактора-акселератора установки обезвреживания стоков гальванического участка

размещен флокулятор 5, а в камере 6 – отражательный фильтр 6 и тонкослойный отстойник 7. Пространство фильтра 6 заполнено вспененным полистиролом марки ПСВ или ПСВ-С. Через окно 2 предварительно отфильтрованные продукты реакции перетекают в фильтрационную камеру 3. Эта камера предназначена для финишного отделения взвесей гидроксидов из обезвреженной воды при прохождении ее через слой вспененного полистирола высотой 0,8...0,9 м.

Обезвреживание начинается в сливном трубопроводе сточных вод. При этом соединения шестивалентного хрома взаимодействуют с кислотными и щелочными отходами и преобразуются с помощью ионов двухвалентного железа в соединения трехвалентного хрома и гидроксидные соединения.

Сточные воды, реагенты и коагулянты подаются в камеру реакций 2, где они взаимодействуют при интенсивном перемешивании между собой.

## 3.80. Растворы для химического никелирования\*

Состав раствора	Массовая доля, кг/м <sup>3</sup>	Значение pH	Содержание фосфора, мас. %
Хлористый никель	21	5,1...5,2	8,70
Гипофосфит натрия	24		
Уксусно-кислый натрий	10		
Хлористый никель	30	5,2	9,15
Гипофосфит натрия	10		
Муравьино-кислый натрий	10		
Серно-кислый никель	30	5,4	6,87
Гипофосфит натрия	10		
Уксусно-кислый натрий	10		
Хлористый никель	25	5,5	4,00
Гипофосфит натрия	30		
Янтарно-кислый натрий	15		
Хлористый аммоний	30		
Хлористый никель	30	8,0	3,40
Гипофосфит натрия	5		
Хлористый аммоний	25		
Лимонно-кислый натрий	50		
Хлористый никель	30	8,0	11,90
Гипофосфит натрия	20		
Хлористый аммоний	25		
Лимонно-кислый натрий	150		
Хлористый никель	25	7,5...10,0	13,60
Гипофосфит натрия	24		
Хлористый аммоний	30		
Уксусно-кислый натрий	45		
Хлористый никель	40...50	8,0...10,0	3,50...5,00
Гипофосфит натрия	17...20		
Хлористый аммоний	40...50		
Уксусно-кислый натрий	50...60		

\* Необходимое значение pH щелочных растворов достигается добавлением 25%-ного гидроксида аммония.



Для химического лужения поршней из высококремниевоего алюминиевого сплава при нанесении приработочного покрытия применяют водный раствор следующего состава: 45 г/л двухлористого олова  $\text{SnCl}_2$ ; 30 г/л каустической соды  $\text{NaOH}$  и 20 мл/л пероксида водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Температура раствора в стационарных ваннах 50...60 °С, а время нанесения покрытия толщиной 5 мкм 3...5 мин.

### 3.12.2. Нанесение неметаллических покрытий

Оксидная пленка на поверхности стали или чугуна может быть получена одним из следующих способов: обработкой заготовок изделий в кислотных или щелочных растворах, электрохимической обработкой на аноде в хромовой кислоте или щелочи, термической обработкой при температуре 400...800 °С.

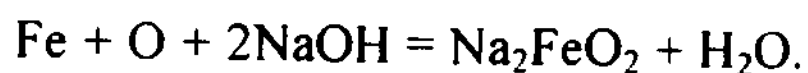
Кислотные растворы для химического оксидирования не обеспечивают стабильную скорость роста толщины покрытий. Этого недостатка лишены щелочные растворы, хотя скорость осаждения покрытий из них ниже, чем из кислотных.

Цвет оксидной пленки зависит от технологии ее получения и толщины, марки металла и вида механической обработки. Толщина пленки достигает 0,5...0,8 мкм при щелочном оксидировании и до 10 мкм при высокотемпературных процессах.

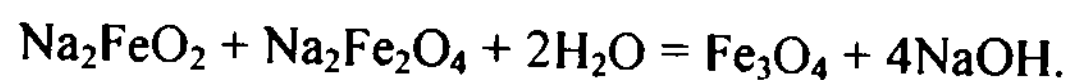
Наибольшее применение нашло химическое оксидирование путем погружения заготовок в горячий раствор щелочи с добавкой окислителей и выдержки в нем. Универсальный щелочной раствор для оксидирования стали и чугуна содержит (г/л): 500...550  $\text{NaOH}$ , 50...100  $\text{NaNO}_3$ , 200...250  $\text{NaNO}_2$ .

Раствор готовят следующим образом. Едкий натр загружают в емкость с отверстиями в стенках диаметром ~ 3 мм, которую завешивают в ванну с водой. Дожидаются полного растворения едкого натра. Затем в раствор вводят  $\text{NaNO}_3$  и  $\text{NaNO}_2$ . Раствор перемешивают до полного растворения компонентов. Состав оксидирующего раствора контролируют с помощью химического анализа.

В концентрированном растворе едкого натра при высокой температуре в присутствии окислителей железо растворяется с образованием соли  $\text{NaFeO}_2$ :



При большом содержании окислителя  $\text{Fe}^{2+}$  окисляется до  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Na}_2\text{FeO}_2$  переходит в  $\text{Na}_2\text{Fe}_2\text{O}_4$ . Эти две соли взаимодействуют с образованием оксида железа  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ :



Полученный оксид покрывает поверхность металла, кристаллизуется на ней и образует сплошную пленку. Полученная при этом черная пленка толщиной до 1,5 мкм является защитно-декоративным покрытием для работы в легких коррозионных условиях.

Режим оксидирования зависит от марок сталей (табл. 3.81).

Оксидирование проводят при температуре кипения раствора, поэтому по мере испарения воды температура в ванне повышается. Для высокоуглеродистых сталей начальная температура оксидирования ~ 135...137 °С, а для легированных сталей 140...145 °С.

Оксидные покрытия образуются только после накопления в растворе начального количества солей железа. Поэтому после приготовления раствора в ванну завешивают стальные полосы и выдерживают их в течение нескольких часов. Об изменении состава этого раствора во время работы ванны судят по температуре кипения раствора, которую непрерывно контролируют. Повышение ее свидетельствует о необходимости добавления воды, а понижение – об обязательном добавлении окислителей.

Вся обрабатываемая поверхность должна омываться оксидирующим раствором, при этом не должно быть полостей у поверхности, заполненных воздухом. В процессе оксидирования в стационарных ваннах детали через каждые полчаса ополаскивают холодной водой.

Постепенно в ванне накапливается осадок гидроксида железа, который периодически удаляют с помощью скребков.

После оксидирования и тщательной промывки деталей от щелочи их рекомендуют промыть в нагретом до 90 °С растворе жидкого или ядрового хозяйственного мыла в течение 2 мин.

Защитную способность пленок повышают пропитыванием минеральным маслом или лаками.

3.81. Режимы оксидирования сталей

Марка стали	Температура, °С	Время, мин
Среднеуглеродистая сталь	135...145	30...50
Низкоуглеродистая сталь	145...155	40...60
Низко- и среднелегированные стали	145...155	60...90

Оксидные покрытия, полученные электрохимической обработкой, имеют лучшие свойства, чем химические покрытия. Пленки в этом случае толще и плотнее. В начале процесса ведут обезжиривание и анодную обработку в 5%-ном растворе  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  при температуре 45...55 °С, плотности тока 3...5 А/дм<sup>2</sup> в течение 10...15 мин. Оксидирование выполняют в щелочном или кислом растворах (табл. 3.82).

Электрохимическое оксидирование требует сложного оборудования, а трудоемкость их нанесения бо́льшая по сравнению с химическим оксидированием.

Оксидно-фосфатные пленки имеют антикоррозионные и адгезионные свойства, значительно превосходящие свойства обычных оксидных покрытий.

Поверхности перед нанесением покрытия обезжиривают, промывают, протравливают или обрабатывают дробью. Непосредственно перед нанесением покрытия поверхности промывают в разбавленном растворе фосфорной кислоты (8...10 г/л) при комнатной температуре.

Состав растворов для нанесения оксидно-фосфатных покрытий приведен в табл. 3.83.

Подготовку ванны начинают с растворения окислителя в воде. Нитрат кальция растворяют в холодной воде, а нитрат бария – в горячей при интенсивном перемешивании. Затем оксид марганца для предотвращения взмучивания насыпают в мешочки из хлопчатобумажной ткани, которые укладывают на дно ванны. Качество раствора определяет содержание в нем свободной кислоты и нитрата (кальция или бария).

3.82. Растворы и режимы при электрохимическом оксидировании

Щелочной раствор		Кислый раствор	
NaOH, г/л	350...600	CrO <sub>3</sub> , г/л	150...250
$i_a$ , А/дм <sup>2</sup>	3...5	HBF <sub>4</sub> , г/л	1...2
$t$ , °С	65...80	$i_a$ , А/дм <sup>2</sup>	5...10
$\tau$ , мин	10...30	$t$ , °С	40...50
		$\tau$ , мин	10...15

Условные обозначения:  $i_a$  – плотность анодного тока;  $t$  – температура электролита;  $\tau$  – время обработки.

## 3.83. Состав растворов и режимы нанесения оксидно-фосфатных покрытий

Компоненты раствора и режимы	Номер раствора			
	1	2	3	4
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , г/л	10...20	–	15...30	–
Ba (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , г/л	–	80...100	–	80...100
MnO <sub>2</sub> , г/л	–	11,8...12,2	0,5...1,5	10...15
H <sub>3</sub> NO <sub>4</sub> , г/л	1...3	0,5...2,5	0,5...1,0	4...5
t, °C	94...98	94...98	98...100	98...100

Углеродистые и легированные стали можно обрабатывать во всех растворах, чугун – в растворе № 2, а закаленные стали – в растворе № 4. Продолжительность обработки 40...60 мин. Уменьшение содержания фосфорной кислоты и снижение температуры раствора приводят к получению крупнокристаллических покрытий с пониженными защитными свойствами.

После оксидирования детали промывают последовательно холодной и горячей водой, а затем помещают на 2...3 мин в кипящий мыльный раствор. В заключение детали высушивают и промасливают.

**Фосфатирование** – процесс осаждения на поверхности металла нерастворимых в воде фосфорно-кислых соединений в результате взаимодействия металла с ортофосфорной кислотой. Процесс заключается в обработке поверхности металла подкисленными растворами однозамещенных фосфатов, в результате которой на поверхности заготовки образуется пленка фосфатов.

Фосфатные покрытия представляют собой мелкокристаллическую пленку, состоящую из фосфатов марганца и железа или цинка и железа. Фосфатная пленка толщиной 7...50 мкм имеет черный цвет и пористую структуру из-за растворения основного металла. Пленка прочно соединена с основой. На пленке хорошо закрепляются лакокрасочные материалы, она обладает большой электропробивной прочностью (до 1000 В). По твердости фосфатная пленка превосходит медь и латунь, но уступает стали.

Фосфатная пленка состоит из двух слоев. Первый слой, непосредственно примыкающий к металлу, прочно с ним связан и содержит монофосфаты железа. Второй, наружный слой состоит из монофосфатов марганца с незначительной примесью вторичных фосфатов железа, он хрупкий и имеет кристаллическое строение.

Для получения фосфатных покрытий применяют однозамещенные фосфаты двухвалентных металлов: марганца, железа, цинка и кадмия. Препарат Мажеф (по начальным буквам составляющих – марганца, железа и фосфорной кислоты) представляет собой смесь однозамещенных солей ортофосфорной кислоты: Fe(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, Mn(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O, MnHPO<sub>4</sub> – и имеет следующий химический состав (%): Fe (2,4...2,5); Mn (14); фосфатов в пересчете на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (46...52); SO<sub>4</sub> (1); CaO и Cl – следы; вода (1...2).

Холодное фосфатирование не получило широкого распространения по причине того, что растворы легко гидролизуются, свободная кислотность их растет, а полученные покрытия имеют пониженную защитную способность.

Наиболее эффективно фосфатирование протекает в растворе, содержащем 30...33 г/л препарата Мажеф при температуре 96...98 °C. Толщина пленки при этом достигает 7...50 мкм.

Обработка в препарате Мажеф имеет существенные недостатки: длительный процесс, высокую температуру и узкий рабочий отрезок температуры. Кроме того, обильно выделяется водород, что приводит к охрупчиванию стали. Разработан процесс ускоренного фосфатирования, устраняющий отмеченные недостатки. Состав и режим работы ванн в этом случае приведены в табл. 3.84.

Фосфатируют углеродистые и низколегированные стали, чугун, кадмий, медь и ее сплавы и алюминий. Высоколегированные стали плохо поддаются фосфатированию.

## 3.84. Состав и режим работы ванн при фосфатировании

Компонент раствора и режимы	Номер раствора	
	1	2
Препарат Мажеф	30...40	30...40
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	50...65	50...70
NaF	2...3	–
NaNO <sub>3</sub>	–	4...5
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	–	0,1...1,0
t, °C	45...65	92...96
τ, мин	8...15	8...10

### 3.13. Технико-экономический анализ способов создания ремонтных заготовок

#### 3.13.1. Структура затрат на создание ремонтных заготовок

Эффективность восстановления деталей оценивается его себестоимостью при выполнении ограничений по производительности и качеству, в том числе по надежности. Себестоимость восстановления деталей учитывает затраты живого и овеществленного труда, поэтому оценочный критерий мероприятий на восстановление деталей должен учитывать как затраты на собственно подготовку производства, так и затраты на обработку деталей с помощью созданных средств восстановления. Учет затрат только на подготовку производства может привести к неверным выводам: малые затраты на саму подготовку обычно приводят к большим текущим затратам на многократно повторяющиеся технологические операции.

Таким образом, затраты  $Z_{в.д.}$ , отнесенные к восстановлению одной детали, включают: расходы на материалы, заработную плату с начислениями за обработку этой детали, капиталовложения в СТО и в здания с амортизационными отчислениями, затраты на их эксплуатацию и ремонт СТО, затраты на создание необходимых условий труда на рабочем месте.

$$Z_{в.д.} = \sum_1^n (M_0 + M_B) + T_{ш-к} C (1 + k_1 + k_2 + k_3 + k_4) + \frac{K_0 (k_0 + A_0) + \mathcal{E} + K_3 (k_3 + P_3 + A_3) + OT + B + OC}{НДк_{п}}, \quad (3.55)$$

где  $n$  – число технологических операций в процессе;  $M_0$  и  $M_B$  – стоимость основных и вспомогательных материалов;  $T_{ш-к}$  – штучно-калькуляционное время;  $C$  – тарифная ставка;  $k_1, k_2, k_3, k_4$  – коэффициенты соответственно отчислений средств на дополнительную заработную плату, социальное страхование, цеховые и заводские расходы;  $K_0$  и  $K_3$  – капиталовложения соответственно в СТО и здания;  $k_0$  и  $k_3$  – доля капиталовложений, относящихся к году эксплуатации соответственно СТО и зданий;  $A_0$  и  $A_3$  – норма амортизации соответственно СТО и зданий;  $\mathcal{E}$  – затраты на эксплуатацию и ремонт зданий;  $P_3$  – затраты на эксплуатацию и ремонт СТО;  $OT, B$  и  $OC$  – затраты на отопление, вентиляцию и

освещение рабочего места;  $N$  – годовой объем ремонта машин;  $D$  – количество восстанавливаемых деталей данного наименования в машине;  $k_{II}$  – коэффициент повторяемости повреждений данного наименования на детали.

Неравномерная инфляция в экономике различных стран содружества независимых государств затрудняет сопоставление между собой абсолютных экономических результатов, полученных в разное время. Выбран такой подход: за единицу денежной величины принималась минимальная заработная плата (МЗП) или ее сотая часть 3 (0,01) – санти-МЗП. Для сравнения: 0,01 МЗП соответствует затратам на создание ремонтной заготовки поршневого пальца карбюраторного двигателя с рабочим объемом 4,8 л. Припуск на шлифование этой заготовки создается нанесением хромового покрытия.

По расчетам ВНИИТУВИД «Ремдеталь», ремонтное производство становится экономически эффективным при доле восстанавливаемых деталей 30 % от их применяемого количества. Эта доля может быть доведена до 70 %.

### 3.13.2. Анализ затрат на создание ремонтных заготовок

Исследования затрат на создание ремонтных заготовок различных деталей показывают, что оптимальные области применения способов восстановления деталей зависят от вида и условий работы деталей, технического состояния исходных заготовок, цены материалов, объемов восстановления и технического уровня производства.

Рассматривались процессы создания ремонтных заготовок деталей различных классов, среди которых корпусные детали, детали – полые тела вращения, шатуны и валы. Выбирались только те способы, которые обеспечивают установленные ограничения по производительности и качеству восстановления.

Ремонтную заготовку корпусной детали – блока цилиндров в сборе с картером сцепления – получают в результате создания припусков на следующих поверхностях: коренных опорах (в том числе двух торцах одной из коренных опор), отверстиях под гильзы, отверстиях во втулках распределительного вала, отверстиях под толкатели, стыках фланца под картер сцепления, стыках и отверстиях в картере сцепления.

Применительно к восстановлению коренных опор сравнивались между собой основные способы создания припусков: использование поверхностного слоя материала после обработки стыков опор, проточное холодное железнение, пайка латуною, плазменное напыление, электро-

контактная приварка металлической ленты, установка ДРД. Нанесение полимерных композиций на поверхности коренных опор и их наплавка не рассматривались как не обеспечивающие необходимое качество восстановления. Припуски в отверстиях под гильзы и под толкатели создают запрессовыванием ДРД в расточенные отверстия. На наружную поверхность запрессовываемой ДРД наносят эпоксидную композицию или самовулканизирующийся герметик. Обломанные фланцы восстанавливают приваркой ДРД.

Рассматривались процессы создания припусков в отверстиях картера сцепления под коробку передач путем запрессовывания ДРД и наплавкой.

Варианты создания припусков на восстанавливаемых поверхностях сборочной единицы включали: установку и закрепление ДРД (способ 1), наплавку (способ 2), газотермическое напыление (способ 3), приварку металлического слоя (способ 4), а также использование поверхностного слоя металла (способ 5).

Наименьшие затраты на получение ремонтной заготовки дает способ 5 (рис. 3.53). Здесь отсутствует расход материалов, а затраты определяются лишь механической обработкой стыков крышек коренных подшипников (на 0,1...0,5 мм) и растачиванием отверстий.

Незначительно различаются по затратам между собой способы 1 и 2. Способ 1 включает: предварительную обработку восстанавливаемых поверхностей, изготовление ДРД, установку их и закрепление приваркой, заклепками или силами упругости. ДРД устанавливаются на поверхностях коренных опор и их торцев, в отверстиях под гильзы и под коробку передач. Способом 2 наносят покрытие на поверхности отверстий в коренных опорах и в картере сцепления и их торцев.

Способ 3 применяют для нанесения покрытий на поверхности отверстий в коренных опорах и картере сцепления.

Сопоставление затрат дает такие результаты. При объемах ремонта 6300 блоков цилиндров в год затраты на способы 1 и 2 почти одинаковы, при меньших объемах ремонта предпочтительнее способ 1, а при больших – способ 2. При увеличении  $N$  сказывается трудоемкость способа 2, хотя стоимость материалов при способе 2 больше, чем при способе 1.

Способ 3 отличается большой производительностью нанесения покрытия, но требует применения дорогих и дефицитных материалов, однако небольшое машинное время их нанесения делает выгодным этот способ в сравнении со способом 1 начиная с  $N = 16$  тыс./год и более эффективным, чем способ 2, начиная с  $N = 18$  тыс./год.

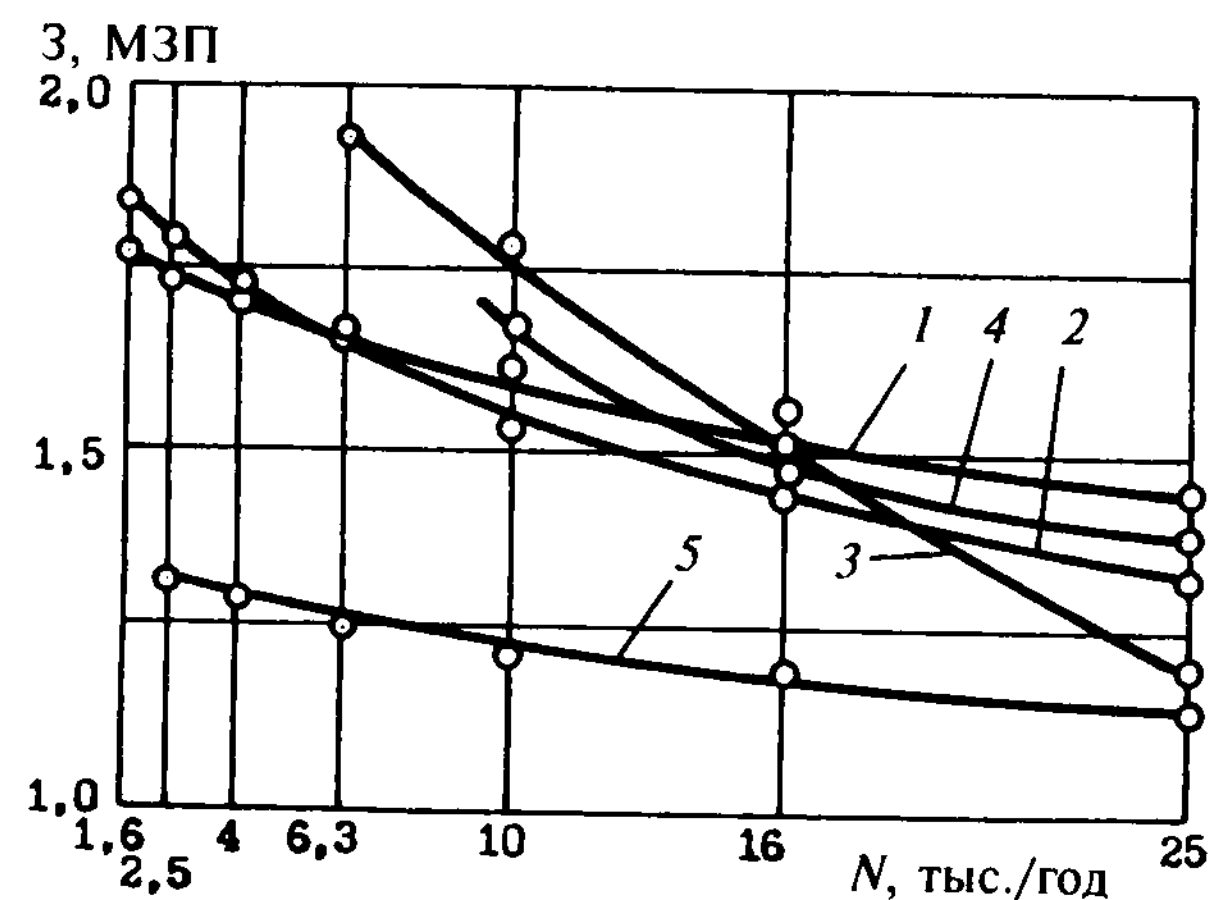


Рис. 3.53. Зависимости затрат  $Z$  (0,01 МЗП) от объемов восстановления  $N$  на создание ремонтных заготовок блоков цилиндров:

1 – установкой и закреплением ДРД; 2 – наплавкой; 3 – газотермическим напылением; 4 – приваркой металлического слоя; 5 – использованием слоя металла на поверхности коренных опор

Ремонтную заготовку гильзы цилиндра, выполненную из чугуна СЧ-18 или ИЧГ-33, получают за счет создания припуска на внутренней и наружной цилиндрических поверхностях и на торце, касающемся блока цилиндров. При этом применяют следующие способы: нанесение композиции порошков индукционной центробежной наплавкой; термопластическое деформирование; установку ДРД в виде свертной ленты; нанесение гальванических покрытий путем осаждения хрома, железа, железо-фосфористых или железоникелевых сплавов; электроконтактную приварку стальной ленты. Следует отметить, что запрессовывание ДРД в гильзу создает ее напряженное состояние, в результате которого наружный диаметр центрирующего пояса увеличивается на 0,05...0,15 мм.

Торец гильзы восстанавливают его подрезкой на 1 мм. При узловой сборке блока цилиндров с гильзами между ними устанавливают компенсирующее кольцо.

Основная трудоемкость при создании ремонтной заготовки гильзы цилиндра приходится на формирование припусков на внутренней цилиндрической поверхности. Сравнивали между собой различные варианты создания припусков на этой поверхности (рис. 3.54).

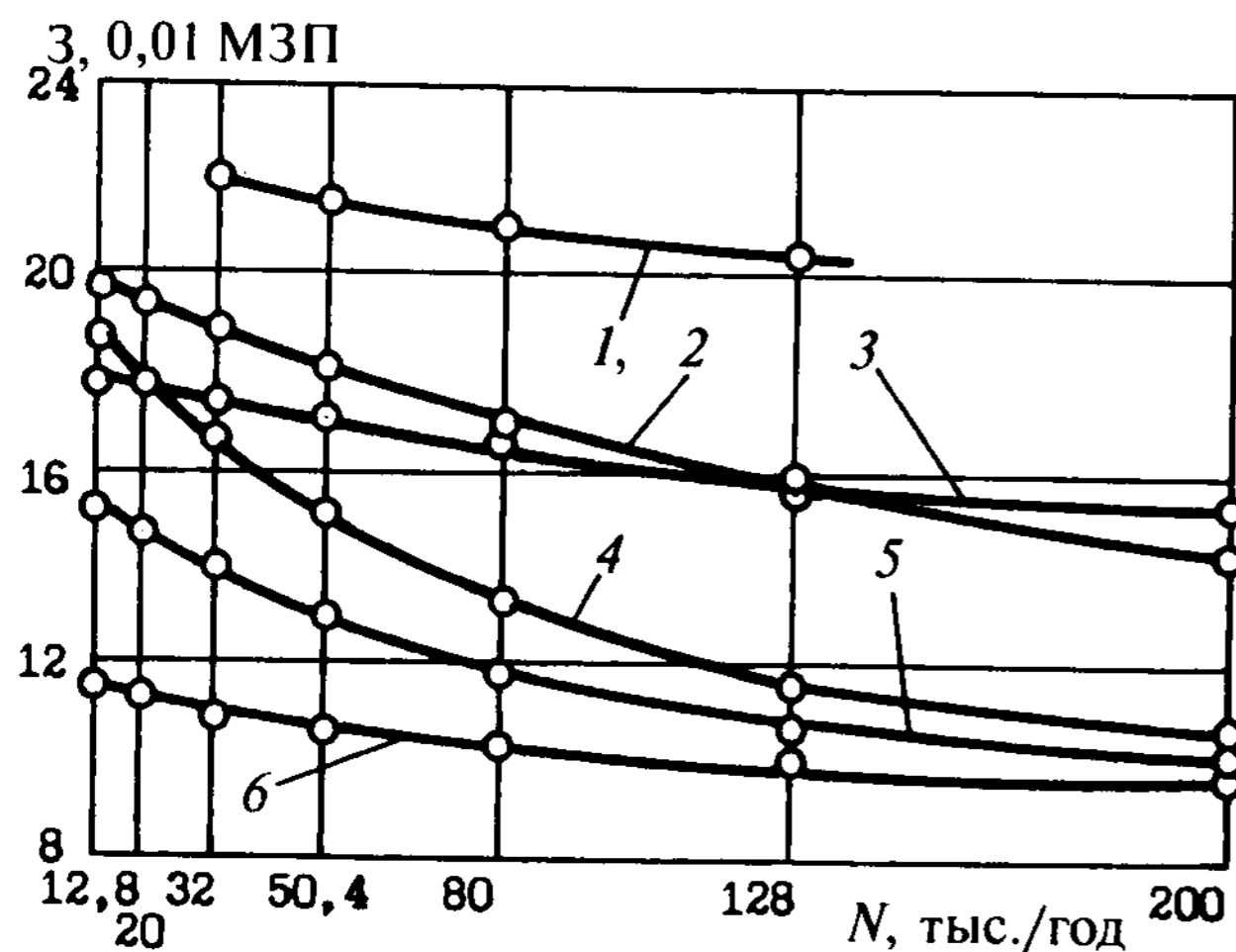


Рис. 3.54. Зависимости затрат  $Z$  (0,01 МЗП) от объемов восстановления  $N$  на создание припусков в отверстиях гильз цилиндров:

1 – хромированием; 2 – индукционной наплавкой металлических порошков; 3 – установкой ДРД; 4 – электроконтактной приваркой металлического слоя; 5 – термопластическим обжатием; 6 – использованием поверхностного слоя металла

Наибольшие затраты при всех объемах ремонта связаны с нанесением гальванических покрытий, а наименьшие – с использованием в качестве припуска поверхностного слоя металла (для обработки под ремонтный размер).

Сопоставление между собой других способов показало следующее. Затраты на электроконтактную приварку металлического слоя примерно в 1,3 раза превышают затраты на термопластическое обжатие материала гильзы. Еще большие затраты связаны с установкой ДРД и индукционной приваркой металлического порошка. При крупных объемах ремонта (160 тыс./год) предпочтение отдается способу 2.

При восстановлении шатуна необходимо создавать припуски на поверхностях отверстий в верхней и нижней головках.

Припуски на поверхностях нижней головки получают использованием поверхностного слоя металла (способ 1), газотермическим напылением (способ 2) и нанесением гальванических покрытий (способ 3), припуски в отверстиях верхней головки – нанесением гальванических покрытий.

При всех объемах ремонта (рис. 3.55) наименьшие затраты приходятся на способ 1, а наибольшие – на способ 3. Нанесение газотермических покрытий соответствует промежуточным значениям затрат.

Припуски на обработку в процессе восстановления коленчатого вала создают на шейках, их торцах и на поверхности отверстия под подшипник ведущего вала коробки передач.

Большие технологические трудности представляет нанесение покрытий при ремонте коленчатых валов, изготовленных из высокопрочного чугуна. Наилучшие показатели по износостойкости и усталостной прочности шеек коленчатых валов обеспечивают способы нанесения плазменных покрытий и установки стальных закаленных ДРД.

Припуск на обработку отверстия под подшипник создают запрессовыванием ДРД или наплавкой.

Сравнивали между собой (рис. 3.56) следующие варианты: установку на шейки и закрепление сваркой стальных закаленных ДРД (кривая 1), наплавку всех поверхностей самозащитной проволокой Св-15ГСТЮЦА (кривая 2); плазменное напыление трущихся поверхностей (кривая 3).

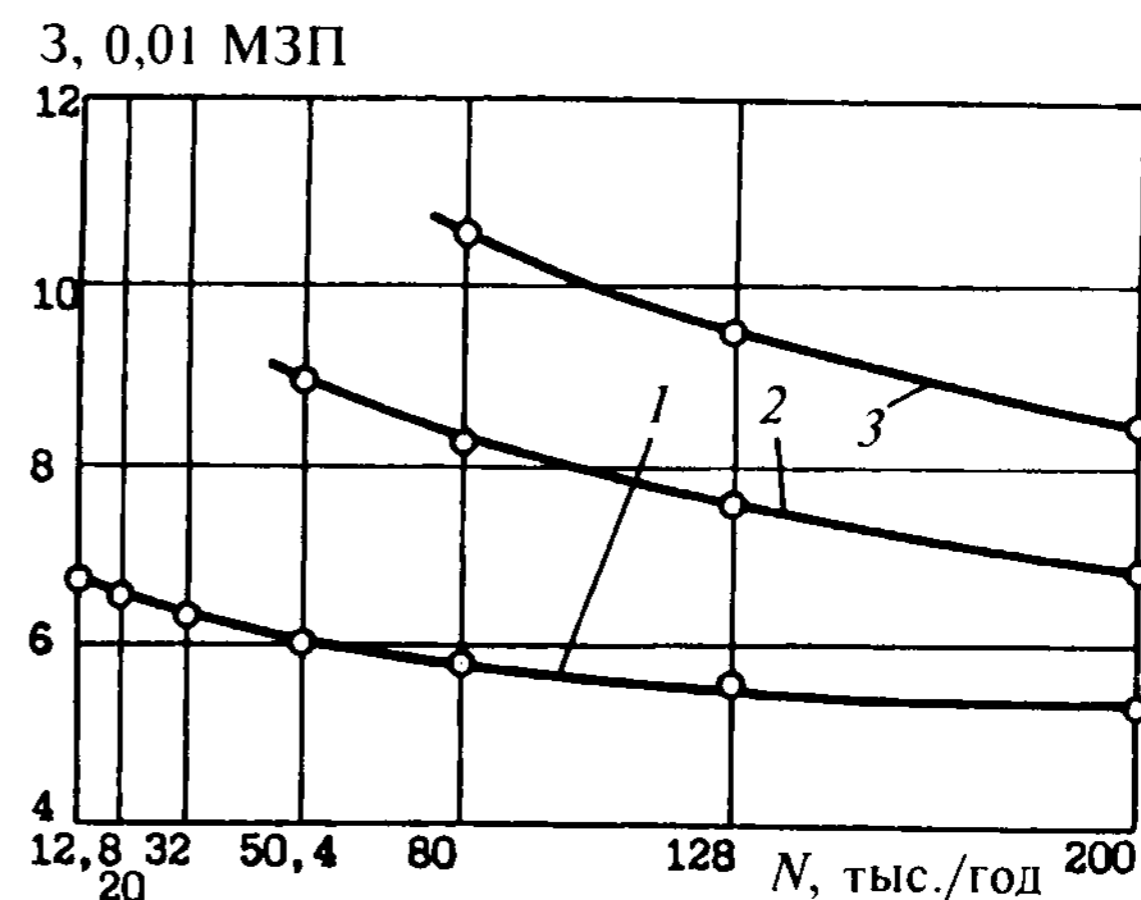


Рис. 3.55. Зависимости затрат  $Z$  (0,01 МЗП) от объемов восстановления  $N$  на создание ремонтных заготовок шатунов:

1 – использованием поверхностного слоя металла;  
2 – газотермическим напылением;  
3 – нанесением гальванического покрытия (железнением)

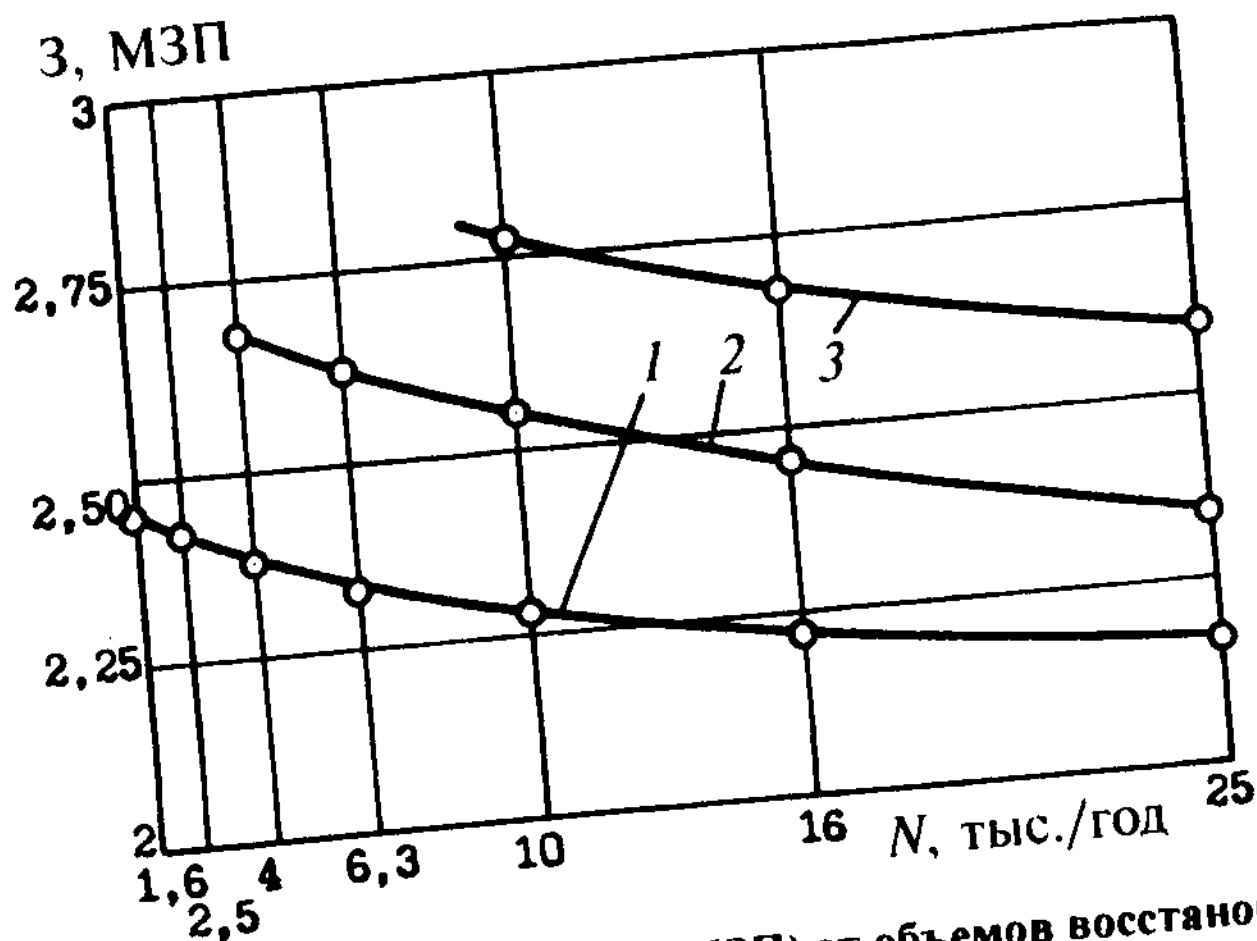


Рис. 3.56. Зависимости затрат  $Z$  (0,01 МЗП) от объемов восстановления  $N$  на создание ремонтных заготовок коленчатых валов

При всех объемах ремонта (с учетом установленных ограничений) выявлено однозначное соотношение затрат: самый дешевый способ создания ремонтных заготовок – установка и закрепление ДРД, а самый дорогой – газотермическое (плазменное) напыление.

### 3.13.3. Области применения ремонтных заготовок различных видов

Рассмотрение технико-экономических моделей затрат на создание ремонтных заготовок для различных деталей и сборочных единиц приводит к таким обобщениям.

Рекомендации ряда авторов о широкой области рационального применения способов создания ремонтных заготовок не подтверждаются. Рекомендации по применению способа должны завершаться наработочными испытаниями и оформлением сертификата способа с указанием области его применения, значений достигнутых физико-механических величин, характеризующих эксплуатационные свойства покрытий и гарантийных показателей наработки.

Наименьшие затраты на создание ремонтных заготовок обеспечиваются использованием в качестве припуска поверхностного слоя металла. Это реализуется способом ремонтных размеров, а также приданием специальной формы поверхностям, образованным путем смыкания пар деталей после механической обработки стыков (например, тело шатуна – крышка,



блок цилиндров – крышка коренного подшипника). В первом случае целесообразно введение дополнительных ремонтных размеров, в том числе на элементы деталей, на которых они не предусмотрены. Во втором случае необходимо применение точного металлорежущего оборудования. Второе воздействие эффективно для деталей, поступающих на восстановление первый или второй раз.

Технологическую подготовку процессов создания ремонтных заготовок блоков и гильз цилиндров, коленчатых и распределительных валов следует начинать с использования ДРД, закрепляемых сваркой, пайкой, клеем и силами упругости. Эти способы эффективны при малых объемах ремонта (до 5000 агрегатов/год).

С ростом объемов ремонта агрегатов повышается эффективность создания ремонтных заготовок путем нанесения газотермических покрытий и электроконтактной приваркой металлического слоя, обеспечивающих высокую производительность процессов, хотя и использующих дорогие материалы. Трудоемкость создания ремонтных заготовок этими способами сокращается с внедрением производительного специализированного оборудования.

Большую экономическую эффективность обеспечивает термопластическая (ое) раздача (обжатие) заготовок – тел вращения, протекающая без расхода материалов. Широкое применение способов в производстве требует исследований стабильности восстановленных размеров при эксплуатации детали и влияния процессов на строение поверхностного слоя и его усталостную прочность и износостойкость.

Нанесение гальванических покрытий является самым дорогим процессом при всех объемах ремонта. Его следует применять обоснованно для восстановления деталей с небольшими износами. Способ необходимо совершенствовать в направлениях повышения производительности труда и уменьшения затрат на материалы.

Разница в затратах на восстановление одной детали различными способами большая при малых объемах восстановления, но она уменьшается при увеличении объемов ремонта.

Сопоставление затрат на восстановление изношенных деталей, исчерпавших ремонтные размеры и требующих трудоемкого восстановления ресурса, с затратами на изготовление литых заготовок гильз цилиндров, поршней, чугунных коленчатых валов, кронштейнов и других деталей показывает эффективность применения последних при объемах ремонта агрегатов более 16... 20 тыс./год.

## Глава 4

### МЕХАНИЧЕСКАЯ, ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА В ПРОЦЕССАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

#### 4.1. Задачи и особенности механической обработки восстанавливаемых деталей

*Механическая обработка* ремонтных заготовок применяется для подготовки поверхностей под нанесение покрытий, обеспечения точности восстанавливаемых элементов, а также для упрочнения поверхностей. Эта обработка является основным средством достижения точности геометрических параметров деталей (их номинальных и ремонтных размеров, формы, взаимного расположения, шероховатости и волнистости поверхностей). На операции механической обработки приходится 40...60 % общей трудоемкости восстановления деталей.

Примерное распределение числа восстанавливаемых поверхностей деталей по признаку формы следующее (%): цилиндрических 65, конических и сферических по 5, плоскостей 20 и резьб ~ 7. Наибольшее количество восстанавливаемых элементов приходится на цилиндрические и плоские поверхности. Среди цилиндрических поверхностей ~ 60 % отверстий и 40 % шеек. Эти распределения вместе с распределениями толщины, значений физико-механических свойств материала припусков и требуемой точности поверхностей дают представление о видах и количестве оборудования для механической обработки.

*Толщина* восстановительных покрытий состоит из двух составляющих. Первая составляющая соответствует расстоянию от окончательно обработанной поверхности до поверхности, на которую наносят покрытие. Вторая составляющая – это припуск на обработку. Значение толщины  $Z$  (мм) наносимого покрытия рассчитывают по дополненной формуле В.И. Кована:

$$Z = \left[ \frac{d_n - d_{из}}{2} (\text{вал}) \text{ или } \frac{D_{из} - D_n}{2} \right] + \sum_1^n \left( R_{zi} + T_i + \sqrt{\delta_{pi}^2 + \delta_{bi}^2 + \delta_{zi}^2 + \delta_{fi}^2 + \delta_{pri}^2} \right), \quad (4.1)$$

где  $d_n$ ,  $D_n$  – номинальные размеры элементов, мм;  $d_{из}$ ,  $D_{из}$  – размеры изношенных элементов, мм;  $i=1, \dots, n$  – операции механической обработки;  $R_{zi}$  – высота неровностей слоя перед механической обработкой на  $i$ -й операции, мм;  $T_i$  – глубина поврежденного слоя, мм;  $\delta_{pi}$  – пространственные отклонения поверхности, мм;  $\delta_{bi}$ ,  $\delta_{zi}$  и  $\delta_{fi}$  – соответственно погрешности базирования, закрепления и формы детали, мм;  $\delta_{pri}$  – погрешность приспособления, мм.

Механическая обработка заготовок при восстановлении деталей отличается от изготовления деталей из отливок, проката или поковок. Это объясняется такими причинами: преднамеренным разрушением некоторых технологических баз в конце процесса изготовления деталей; износом или повреждением группы баз во время работы машины; деформацией деталей в эксплуатации; небольшими значениями толщины припусков, материал которых, как правило, отличается от материала основы; различием в свойствах припусков при изготовлении и восстановлении деталей; требованием обеспечения необходимой точности взаимного расположения поверхностей, обрабатываемых при восстановлении, и поверхностей, обрабатываемых при изготовлении, а при восстановлении остающихся необработанными.

Восстановительно-упрочняющие покрытия отличаются особыми свойствами. Наплавленные покрытия, например, имеют высокую твердость, неоднородны по строению и химическому составу, являются пористыми, а их наружная поверхность неровная. Ряд гальванических покрытий обладает высокой твердостью, и в них присутствуют гидроксиды, однако покрытия железнения, наоборот, мягкие и имеют значительную вязкость. Для многих газотермических покрытий характерны большая пористость и низкая прочность соединения с основой. Полимерные покрытия хрупкие, отличаются плохой теплопроводностью и низкой температурой плавления или начала разрушения. Эти причины объясняют назначение иных режимов обработки ремонтных заготовок, видов и геометрии инструмента, а также применяемых СОЖ.

Копирование технологии механической обработки деталей при изготовлении машин для их восстановления не дает оптимальных результатов.

Распространение современных материалов и нанесение покрытий из них требуют внедрения прогрессивных способов их обработки. Так, например, время механической обработки композитных покрытий и покрытий из оксидной керамики, нанесенных плазменным или детонационным напылением, в 5...10 раз больше, чем время обработки покрытий, полученных электродуговой наплавкой. Использование в таких случаях традиционных процессов обработки связано с большим расходом инструмента, снижением качества поверхностей и, как следствие, ставит под сомнение возможность применения прогрессивного способа создания ремонтной заготовки и процесса восстановления детали в целом.

Механическая обработка восстановительно-упрочняющего покрытия включает блоки таких операций: черновых, чистовых и отделочных. Восстанавливаемые поверхности в зависимости от толщины и твердости снимаемого слоя проходят лезвийную и (или) абразивную обработку.

#### 4.2. Технологические базы в процессах механической обработки восстанавливаемых деталей: назначение, применение и смена

*Технологические базы* (по ГОСТ 21495-76) – это поверхности, линии, точки на поверхности заготовки, которые определяют ее положения в переходах установки и ориентирование при обработке и сборке. От обоснованного выбора технологических баз зависят правильность расположения контура детали в заготовке, точность взаимного расположения поверхностей в обработанной детали, сложность приспособлений, производительность и точность обработки.

В зависимости от числа и видов лишаемых степеней свободы технологические базы делятся на установочные, направляющие, опорные, двойные направляющие и двойные опорные. Установочная база лишает заготовку трех степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей. Направляющая база лишает заготовку двух степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси. Опорная база лишает заготовку перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси. Двойная направляющая база лишает заготовку четырех степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей. Двойная опорная база лишает заготовку двух степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей. Установочные базы долж-

ны иметь наибольшие габаритные размеры, направляющие – наибольшую протяженность, а опорные – небольшие размеры.

Технологический процесс обработки разделен на ряд установов. Технологическая база для первого установа заготовки обеспечивает правильное «выкраивание» из нее будущей детали. Эта база используется один раз, и в качестве нее выбирают основные поверхности, остающиеся при восстановлении необработанными и служащие для ориентации основных поверхностей.

Затем решают задачу обеспечения точности взаимного расположения поверхностей. Здесь учитывают принцип совмещения технологических и измерительных баз и в качестве баз выбирают поверхности наибольшей площади.

Точность взаимного расположения поверхностей в значительной мере обеспечивается выбором связного множества базирующих поверхностей.

По признаку направленности связей между поверхностями восстанавливаемой детали имеются два вида отношений. Подмножество отношений первого вида содержит поверхности, строго от которых проводят измерения. Такие отношения на графе поверхностей детали изображаются ориентированными дугами, выходящими из измерительных баз. Эти отношения включают например, параметр «биение поверхности». Подмножество второго вида изображается неориентированными ребрами. В паре поверхностей, связанных ребром, любая поверхность может быть выбрана в качестве измерительной базы.

Если с одной из обрабатываемых поверхностей необходимо снять небольшой припуск, то ее поверхность используют как предыдущую базу. При выборе этой базы решается также задача равномерного распределения припусков между последующими операциями обработки. При механической обработке поверхностей будет снят минимальный припуск, если за технологическую базу будет выбрана сама обрабатываемая поверхность.

Приведем *примеры* обработки восстанавливаемых деталей с использованием в качестве технологических баз обрабатываемых поверхностей: бесцентровое шлифование поршневого пальца или отверстия в гильзе цилиндра; растачивание отверстия в верхней головке шатуна с ориентированием этого отверстия перед обработкой центрирующей оправкой и закреплением детали в таком положении; подрезание торца картера сцепления с ориентированием его подвижным упором и закреплением детали в таком положении; шлифование шеек коленчатых валов по принципам адаптивного базирования; суперфиниширование шеек плавающими мелкозернистыми мягкими брусками; полирование шеек абразивной лентой.

Сущность *адаптивного базирования* заключается в поиске необходимого положения обрабатываемой детали относительно траектории режущего инструмента, обеспечивающего минимальный суммарный припуск на обработку, и закреплении детали в таком положении. При обработке шатунных шеек коленчатых валов осуществляют фиксированный поворот детали относительно коренных шеек до получения равных по величине, но противоположных по знаку максимальных отклонений относительно номинального углового расположения, по крайней мере, двух шатунных шеек. Реализация способа обеспечивает минимальный суммарный припуск со всех шеек коленчатого вала и повышает среднее число его восстановлений в 1,2...1,5 раза, хотя не гарантирует нормативной точности взаимного расположения шпоночного паза на носке вала и первой шатунной шейки.

В общем случае выбор технологических баз при механической обработке восстанавливаемых деталей подчиняется следующему правилу. Во всех установках технологические базы, как правило, должны совпадать с измерительными, а обработанные поверхности на данном установе должны быть использованы в качестве измерительных баз для последующего установа. Поверхности, которые будут применяться в качестве измерительных баз, обрабатываются первыми.

Надо учитывать, что при восстановлении деталей обеспечивают необходимую точность параметров взаимного расположения поверхностей двух групп. Первую группу поверхностей обрабатывают при восстановлении детали, а вторую группу обработали ранее, при ее изготовлении, и при восстановлении оставляют без изменения. С учетом направленности отношений пар поверхностей эти поверхности могут быть упорядочены.

Очередность использования поверхностей восстанавливаемой детали в качестве базовых при ее механической обработке выбирается из графа отношений основных поверхностей ремонтной заготовки путем выделения вершин, не имеющих предков.

Механическую обработку следует начинать, приняв за технологические базы поверхности, расположенные в первом слое упорядоченного графа. При обработке других поверхностей в качестве технологических баз применяют поверхности, находящиеся в предыдущих слоях этого графа. Использование принципа «кратчайшего пути» А.П. Соколовского обеспечивает наименьшее число операций механической обработки с минимальными погрешностями базирования, а при создании ремонтных заготовок – припуски наименьшей толщины.

Рассмотрим *пример* выбора и смены технологических баз при механической обработке блока цилиндров двигателя. Множество основных поверхностей блока цилиндров, участвующих в базировании и обработке, и их отношения представлены в виде графа на рис. 4.1. Матрица смежности этого графа приведена в табл. 4.1.

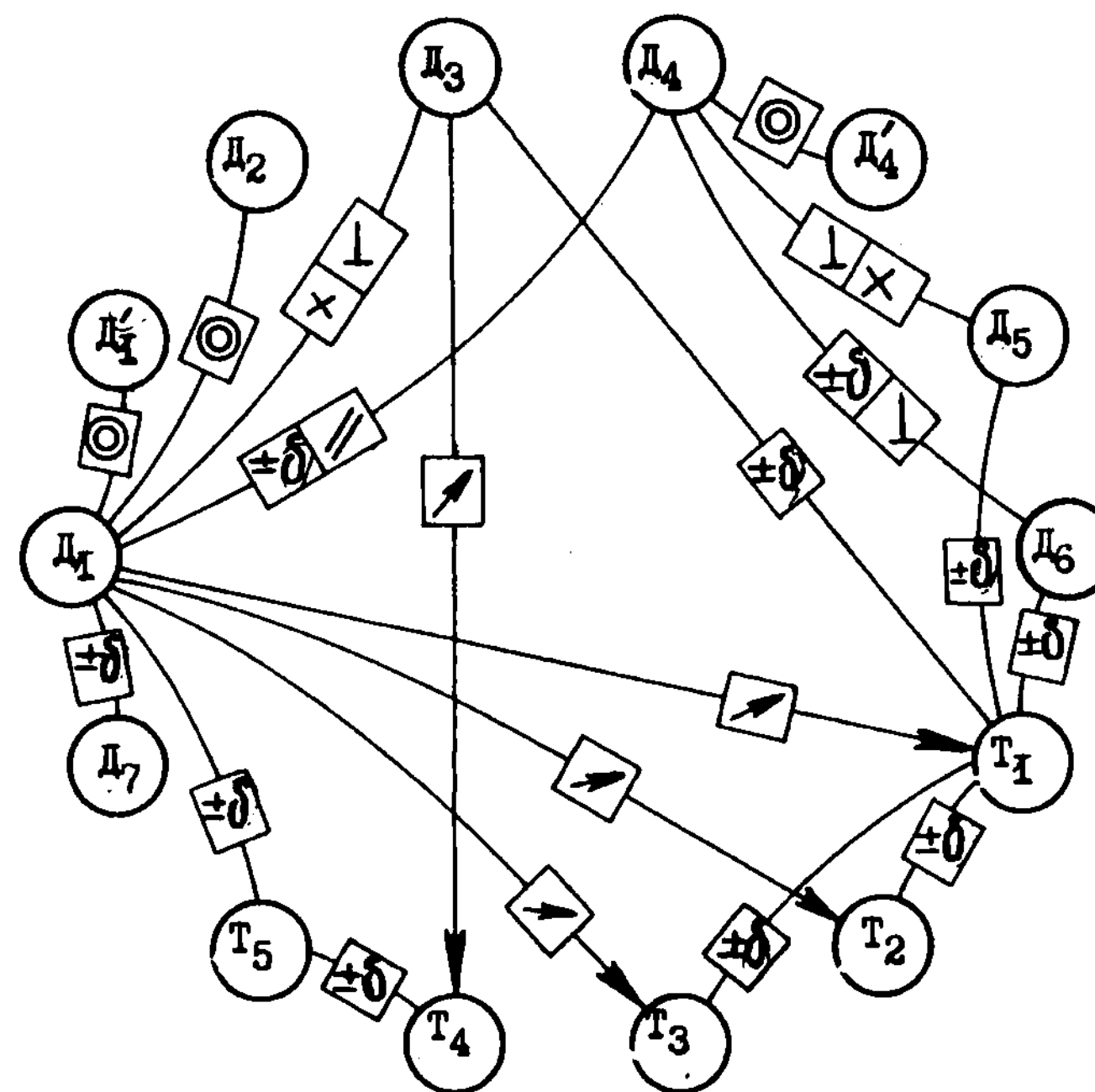


Рис. 4.1. Граф основных поверхностей блока цилиндров и их отношений:  $D_1$  и  $D_1'$  — соответственно отверстия в крайних и средних коренных опорах;  $D_2$  — отверстие в картере сцепления;  $D_3$  — отверстия под гильзы;  $D_4$  и  $D_4'$  — соответственно отверстия в крайних и средних втулках распределительного вала;  $D_5$  — отверстия под толкатели;  $D_6$  — отверстие под привод распределителя;  $D_7$  — отверстие под стартер;  $T_1$  и  $T_2$  — соответственно передний и задний торцы первой коренной опоры;  $T_3$  — торец картера сцепления;  $T_4$  — торец под гильзу;  $T_5$  — поверхность под головку цилиндров;  $\odot$  — соосность отверстий;  $\perp$  — неперпендикулярность осей (поверхностей);  $\pm\delta$  — линейное отклонение;  $\times$  — непересечение осей;  $\nearrow$  — биение поверхностей;  $//$  — непараллельность осей

## 4.1. Матрица, представляющая граф, изображенный на рис. 4.1

	Д <sub>1</sub>	Д' <sub>1</sub>	Д <sub>2</sub>	Д <sub>3</sub>	Д <sub>4</sub>	Д' <sub>4</sub>	Д <sub>5</sub>	Д <sub>6</sub>	Д <sub>7</sub>	Т <sub>1</sub>	Т <sub>2</sub>	Т <sub>3</sub>	Т <sub>4</sub>	Т <sub>5</sub>
Д <sub>1</sub>		1	1		1				1	1	1	1		
Д' <sub>1</sub>														
Д <sub>2</sub>														
Д <sub>3</sub>	1									1			1	
Д <sub>4</sub>						1	1	1						
Д' <sub>4</sub>														
Д <sub>5</sub>														
Д <sub>6</sub>														
Д <sub>7</sub>														
Т <sub>1</sub>							1	1			1	1		
Т <sub>2</sub>														
Т <sub>3</sub>														
Т <sub>4</sub>														
Т <sub>5</sub>	1												1	
V <sub>0</sub>	2	1	1	0	1	1	2	2	1	2	2	2	2	0
V <sub>1</sub>	0	1	1	—	1	1	2	2	1	1	2	2	0	—
V <sub>2</sub>	—	0	0	—	0	1	2	2	0	1	1	1	—	—
V <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	0	0	0	—	0	0	0	—	—

Обозначим через  $V_{Д_1}, V_{Д'_1}, \dots, V_{Т_5}$  векторы, являющиеся строками матрицы. Вычислим

$$V_0 = V_{Д_1} + V_{Д'_1} + \dots + V_{Т_5}$$

и припишем этот результат внизу таблицы. Этот вектор содержит два нуля, соответствующих вершинам  $Д_3$  и  $Т_5$ . Это значит, что эти вершины не имеют предков, они образуют нулевой слой.

Теперь найдем вектор

$$V_1 = V_0 - V_{Д_3} - V_{Т_5},$$

где появятся два новых нуля, отвечающих вершинам  $Т_4$  и  $Д_1$ , которые образуют слой 1.

Затем определим

$$V_2 = V_1 - V_{T_4} - V_{D_1},$$

где появятся пять новых нулей, соответствующих вершинам  $D'_1, D_2, D_4, D_7$  и  $T_1$ , которые образуют слой 2.

Наконец вычислим вектор

$$V_3 = V_2 - V_{D_1} - V_{D_2} - V_{D_4} - V_{D_7} - V_{T_1},$$

где также появятся пять новых нулей, соответствующих вершинам  $D'_4, D_5, D_6, T_2$  и  $T_3$ , которые образуют слой 3.

Результат упорядочения множества поверхностей имеется на рис. 4.2. Две вершины упорядоченного графа:  $T_5$  – плоскость под головку цилиндров и  $D_3$  – поверхности отверстий под гильзы цилиндров – находятся в верхнем нулевом слое графа. Эти поверхности при восстановлении не обрабатываются. В первом и втором слоях графа находятся три узловые вершины:  $D_1$  – поверхности коренных опор,  $T_1$  – передний торец первой коренной опоры,  $D_4$  – поверхности отверстий во втулках распределительного вала. Относительно трех последних узловых вершин ориентированы три группы поверхностей, находящиеся в предпоследнем

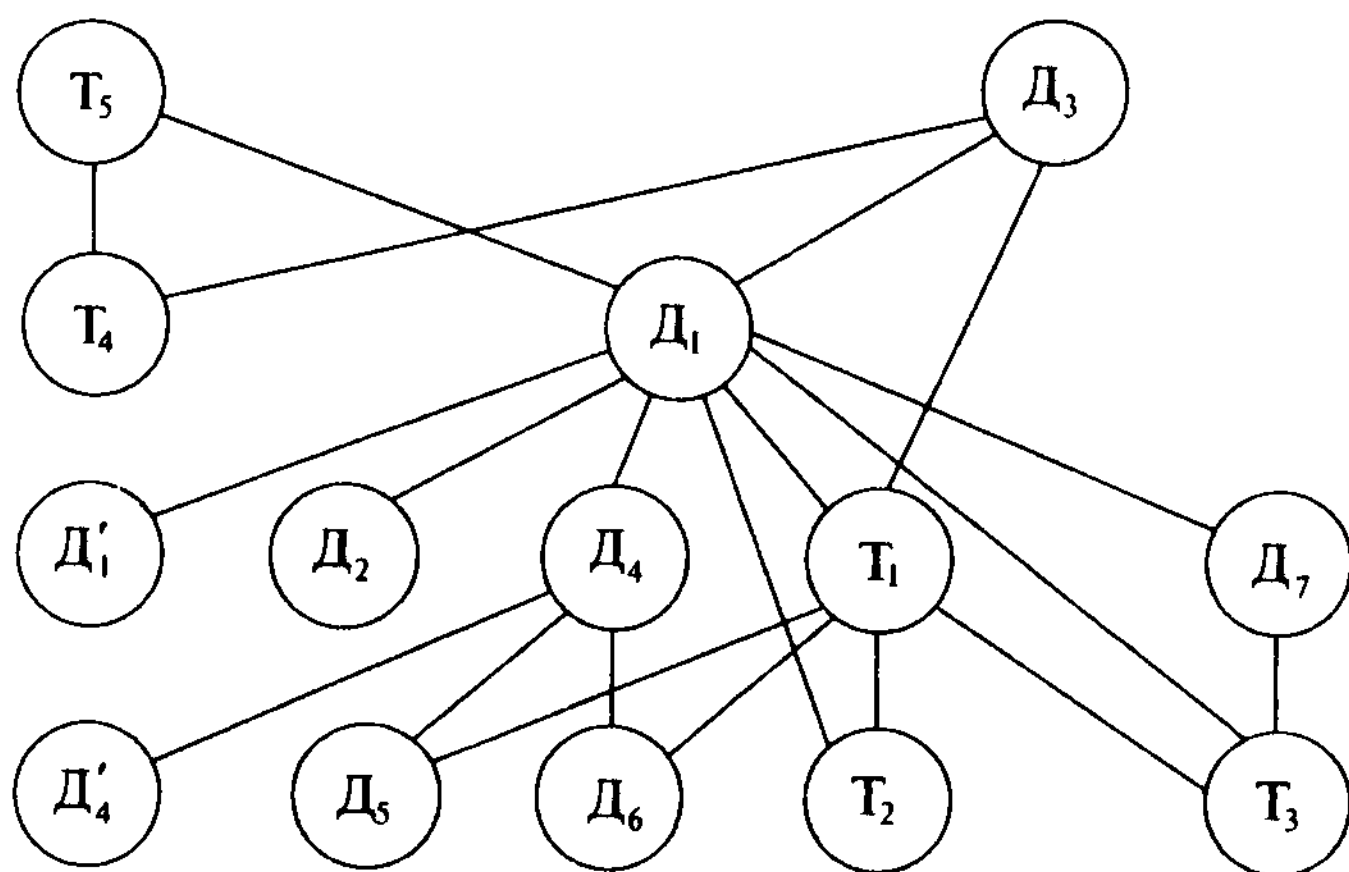


Рис. 4.2. Упорядоченный граф поверхностей блока цилиндров, полученный выделением вершин, не имеющих предков

и последнем слоях графа. В качестве технологических баз последовательно принимают вершины-поверхности  $T_5$  и  $D_3, D_1, D_4$  и  $T_1$ , находящиеся по отношению друг к другу и остальным вершинам в верхних слоях графа.

Реализация полученных результатов в производстве обеспечила следующую очередность механической обработки и базирования сборочной единицы «блок цилиндров» двухрядного восьмицилиндрового двигателя.

Коренные опоры, отверстия в картере сцепления и под стартер предварительно растачивают с базированием по стыковой плоскости к головке цилиндров (установочная база) и крайним отверстиям под гильзы цилиндров (направляющая и опорная базы). Затем предварительно обработанные отверстия вместе с начерно обработанными втулками распределительного вала растачивают окончательно с прежним базированием.

Торцы первой коренной опоры подрезают с базированием по обработанным коренным опорам (двойная направляющая база) и поверхности отверстия под гильзу первого цилиндра (опорная база). Торец картера сцепления подрезают с базированием по коренным опорам и обрабатываемой поверхности (опорная база). Последняя база обеспечивает снятие припуска наименьшей толщины.

Отверстия под толкатели разворачивают под ремонтный размер с направлением инструмента по обрабатываемой поверхности. Торец отверстия под гильзу цекуют ручным инструментом с базированием его по плоскости под головку цилиндров. Значения параметров расположения осей цилиндров и оси коренных опор зависят от точности обработки гильз цилиндров, которые восстанавливаются отдельно. Отверстия под гильзы цилиндров в результате эксплуатационных нагрузок принимают форму овала. Большая его ось расположена в плоскости качания шатуна и превышает меньшую ось до 0,07 мм. Гильзы, установленные в такие отверстия, принимают их форму. Точность указанных параметров обеспечивают следующим образом.

Гильзы цилиндров собирают с блоком, имея припуск на окончательное растачивание и хонингование. Их жестко фиксируют в отверстиях блока с помощью прижимов. Отверстия в гильзах растачивают с базированием блока цилиндров по обработанным коренным опорам (двойная направляющая база), переднему торцу первой коренной опоры и поверхности под головку цилиндров (опорные базы). Применяют позиционное растачивание с принудительным перемещением детали во время вспомогательного перехода на величину расстояния между осями цилиндров. Гильзы хонингуют также в сборе их с блоком цилиндров. Гильзы не

только не разукрупняют с блоком цилиндров, но и не изменяют их положение, приданное им при первоначальной установке.

Предложенный процесс обработки блока цилиндров в сборе с картером сцепления допускает нанесение покрытий в 2 раза меньшей толщины, чем при традиционных процессах восстановления, с достижением точности взаимного расположения поверхностей (как обрабатываемых, так и необрабатываемых при восстановлении), установленной заводом-изготовителем.

Усовершенствование механической обработки испытано на следующих операциях: позиционного растачивания зеркала цилиндров рядного блока цилиндров на оснащенной станке 2Е78П; хонингования цилиндров на станке 3М83; подрезки торцев передней коренной опоры на переоборудованном станке ОР-14572; подрезки торца картера сцепления на станке ОР-12068. Полное внедрение процесса требует переоснащения опорно-базировочными приспособлениями расточного оборудования 1А775, или ОР-14572, или РД-53 силами заводов – изготовителей этого оборудования.

На заключительных операциях обрабатываемым элементам придают правильную форму и точность размеров. На последней операции создают необходимую шероховатость поверхности без изменения достигнутых ранее значений параметров расположения и формы.

### 4.3. Лезвийная обработка

Заготовки с покрытиями точат (в том числе ротационным инструментом), фрезеруют, строгают и сверлят.

Точением и фрезерованием обычно обрабатывают относительно пластичные покрытия из малоуглеродистых сталей, алюминия, меди и их сплавов, а также из самофлюсующихся сплавов твердостью до 45 HRC. При обработке резанием необходимо обеспечить срезание частиц без их выкрашивания. Напыленные покрытия во время механической обработки не следует нагружать растяжением, изгибом или отрывом.

Лезвийная обработка покрытий из высоколегированных, нержавеющей сталей и самофлюсующихся сплавов выполняется резцами из быстрорежущих сталей или твердых сплавов в том случае, когда припуск на обработку  $> 0,25$  мм на сторону и твердость монолитного материала  $\leq 3000$  МПа (35...45 HRC). Механическую лезвийную обработку наплавленных и напыленных покрытий с твердостью до 35 HRC выполняют в несколько ходов. Скорость резания при черновом точении уменьшают на 30...60 %, а при чистовом на 20...40 % по сравнению со скоростью обработки нормализованной стали 45.

Нвплавленные покрытия, имеющие твердость до 45 HRC можно обрабатывать резцами из твердого сплава T15K6. Обработку ведут в два хода: первый, черновой, по корке, второй получистовой. Оставляют припуск на шлифование 0,3 мм на диаметр (при необходимости). Возможна лезвийная обработка наплавленных поверхностей твердостью 45...65 HRC инструментом из мелкозернистого твердого сплава BK6-OM. Задние и передние углы инструмента рекомендуется устанавливать в пределах 5...10°, скорость резания 30...60 м/мин, подачу 0,03...0,20 мм/об, а глубину резания 0,05...1 мм.

Электролитические железные покрытия точат резцами из твердых сплавов T5K10, T15K6 обычной геометрии.

Детали из пластмасс обрабатывают на больших скоростях резания. Термопласты обтачивают резцами, снабженными пластинками из твердых сплавов BK-6 и BK-8, со скоростью резания 300...600 м/мин и подачей до 0,4 мм/об. Терморезистивные пластмассы обрабатывают теми же резцами, но со скоростью резания 200...500 м/мин и подачей до 0,3 мм/об.

Качество поверхностей и производительность обработки значительно повышаются при использовании инструментальных материалов в виде минералокерамики и *поликристаллических сверхтвердых материалов* (ПСТМ).

Термически обработанные стали и чугуны и наплавленные покрытия обрабатывают резцами, оснащенными пластинками из минералокерамики. Материалы ВО-13 применяют для чистового и получистового точения покрытий из порошков конструкционных и легированных сталей твердостью до 160...230 НВ; ВОК-60 и ВОК-71 – соответственно для чистового и получистового точения покрытий из порошков сталей твердостью 30...64 HRC; В-3 и ОНТ-20 – для чистового и получистового точения покрытий из порошков на основе соответственно меди и сплава меди с никелем; силинит-Р – для чистового и получистового точения покрытий из порошков сталей твердостью 230...380 НВ на основе никеля.

При точении сплавов ПГ-СР2, ПГ-СР3 и ПГ-СР4 может быть использована режущая керамика на основе  $Al_2O_3$  с незначительными добавками MgO и  $SiO_2$  или с добавками TiC и WC.

Применение в ремонтном производстве инструмента, оснащенного ПСТМ на основе кубического нитрида бора при содержании последнего 50...98 %, существенно улучшает технико-экономические показатели процесса резания наплавленных и напыленных покрытий. Для черновой обработки покрытий высокой твердости (в том числе и по корке) целесообразно применять ПСТМ киборит. Для чистовой и отделочной обработки служат инструменты с режущей частью из композитов: 01 (эльбор-Р),

02 (белбор), 05 и 09 (ПТНБ), 10 (гексанит-Р), 10Д (двухслойные поликристаллы) и др. Наиболее работоспособны из ПСТМ киборит и композит-10. Высокая теплопроводность киборита –  $> 50$  Вт/(м·К) обуславливает высокую износостойкость резцов при скорости резания до 200 м/мин.

Институт сверхтвердых материалов НАН Украины разработал и освоил выпуск сменных многогранных неперетачиваемых пластин из киборита. Пластины выпускаются пяти форм в соответствии со стандартом ISO 1832-1991E (R): трехгранной (Т), квадратной (S), ромбической (С) с углом при вершине 80° (D), с углом при вершине 55°, а также специальной формы для оснащения станков с ЧПУ. Пластины изготавливаются с задними углами 0 (N), 5 (B), 7 (C) и 11° (P) классов точности U, M и G без отверстий и канавок. Размеры цилиндрических пластин изменяются от диаметра 3,97 до 12,7 мм с высотой 2,38...4,76 мм. Применяют и другие формы пластин, вписанные в приведенные размеры. Композит выпускают в виде режущих зерен, впаиваемых в металлическую матрицу. Теплоустойчивость материалов на воздухе  $> 1200$  °С, пределы прочности при растяжении  $> 0,3$  ГПа, при изгибе  $> 0,6$  ГПа, а модуль упругости 800 ГПа.

Наиболее изучены способы обработки материалов мартенситного класса, нанесенных вибродуговой наплавкой или наплавкой под слоем флюса, в том числе порошковыми проволоками и электродными лентами, а также напыленных покрытий из материалов системы Ni-Cr-B-Si и керамических покрытий из  $Al_2O_3$ . Большой эффект достигнут при точении покрытий из порошка ПГ-Н80Х13С2Р, полученных газопорошковой наплавкой, и покрытий из порошка ПГ-СР3, нанесенных плазменным напылением с последующим оплавлением. При точении покрытий из порошковых проволок типов ПП-АН106, ПП-АН125 и ПП-АН154М, имеющих аустенитную структуру, эффективность резцов из ПСТМ значительно ниже. При обработке наплавленных покрытий инструментом из киборита достигают производительности 5...10 см<sup>3</sup>/мин, а напыленных – 10...20 см<sup>3</sup>/мин.

В целом стойкость резцов и фрез из ПСТМ выше стойкости инструмента из твердого сплава T15K6 в 20...30 раз. Стойкость инструмента из киборита по сравнению с эльбором в 2 раза, в производительность в 6...11 раз выше при практически одинаковой шероховатости обработанных поверхностей.

Точение покрытий резцами, оснащенными гексанитом-Р, выполняют при следующих режимах: скорости резания 60...100 м/мин, подаче 0,03...0,15 мм/об, глубине резания 0,1...0,3 мм. Углы заточки резцов при обработке наплавленных поверхностей приведены в табл. 4.2.



## 4.2. Геометрия резцов при обработке наплавленных поверхностей

Материал	Твердость покрытия, HRC	Вид точения	Материал режущей части	Углы заточки, °				
				$\gamma$	$\alpha$	$\lambda$	$\varphi$	$\varphi_1$
Нп-30ХГСА и флюс АН-348А	25...30	Черновое	T15K6, TT7K12, КНТ-16, T5K10	-8	8	9	45	22
		Получистовое	КНТ-16, T15K10	-5		0		
		Чистовое	Гексанит-Р, T15K6	2	6	-7		
Нп-30ХГСА и CO <sub>2</sub>	22...27	Черновое	КНТ-16, T5K10, TT7K12, КНТ-16	-7	8	9	45	22
		Получистовое	КНТ-20, КНТ-16, T15K10	-3		0		
		Чистовое	T5K10, гексанит-Р	2	6	-7		

Таким образом, основное назначение композитов – это оснащение режущего инструмента для лезвийной обработки высокотвердых сплавов на основе железа и никеля, закаленных сталей, отбеленных чугунов, наплавленных и напыленных износостойких покрытий. Наиболее эффективная область применения инструментов из ПСТМ – высокоскоростная обработка твердых покрытий (до 68 HRC) с малой толщиной срезаемого слоя (0,2...0,5 мм). Процесс резания характеризуется незначительными энергетическими затратами, небольшим нагревом детали, низкой шероховатостью и отличным качеством поверхностного слоя. Однако процесс предъявляет высокие требования к жесткости и техническому состоянию оборудования.

Лезвийная обработка инструментальными материалами из ПСТМ в ряде случаев заменяет шлифование и позволяет получить шероховатость поверхности  $Ra$  1,25...0,63 мкм, а при использовании жесткого оборудо-

дования и специального инструмента  $Ra$  0,20...0,18 мкм. Применение этих инструментальных материалов на финишных операциях будет непрерывно расширяться по мере их изучения.

Выбор лезвийного инструмента для обработки восстановительных покрытий ведут в три этапа. На первом этапе определяют отношение твердости инструментального и обрабатываемого материалов при рабочей температуре резания. Полагают, что при обработке покрытий инструментом из твердых сплавов эта температура равна 800 °С, а сверхтвердыми материалами 1000 °С. Выбирают тот инструментальный материал, который обеспечивает наибольшее отношение твердости. На втором этапе оценивают износостойкость режущего инструмента. На последнем этапе проводят экспериментальную проверку полученных результатов.

#### 4.4. Абразивная обработка

Если твердость ремонтной заготовки не позволяет применить лезвийную обработку или необходимо получить высокую точность детали с малой шероховатостью поверхностей, то применяют абразивную обработку.

Шлифование является основным способом обработки износостойких покрытий, отличающихся высокой твердостью. Шлифование обеспечивает должное качество поверхностного слоя. Покрытия на основе карбидов вольфрама и керамики могут быть эффективно обработаны только шлифованием.

При абразивной обработке применяют материалы, состоящие из зерен, обладающих высокими твердостью и режущей способностью. Абразивные материалы бывают природные (горные породы и минералы) и искусственные. Природных материалов мало, они недостаточно однородны и тверды. Из природных материалов используют корунд  $Al_2O_3$ , наждак (смесь корунда с оксидами железа, кремния, титана и др.), кремнь, кварцевый песок, пемзу. К искусственным абразивным материалам, применяемым при шлифовании, относятся карбид кремния – карборунд  $SiC$ , карбид бора, электрокорунд, крокус (содержащий до 75 % оксида железа), оксид хрома, оксид алюминия. Для полирования служат: крокус, трепел, доломит, технический мел, высокая известь (до 95 % оксида кальция), каолин, тальк.

Зерна шлифующих материалов имеют острые грани и при шлифовании, разрушаясь, образуют осколки с острыми гранями, тем самым самозатачиваются. Зерна полирующих материалов округлой формы, что способствует выравниванию обрабатываемой поверхности.

В соответствии с ГОСТ 3647–80 абразивные материалы подразделяются по крупности зерен на группы, номера которых обозначают размеры зерен в метрической системе (табл. 4.3). Для отделочного шлифования или полирования применяют в основном шлифо- и микропорошки.

Шлифовальный круг состоит из шлифзерен, связанных каким-либо веществом. Эти круги изготовляют прессованием или литьем абразивного материала. В качестве абразивного материала используют карборунд, корунд, наждак с размером зерен 250...1200 мкм; как связку – различные глины, полевой шпат, жидкое стекло, смолы, резины и др.

#### 4.3. Группы абразивных материалов в зависимости от их зернистости

Группа	Зернистость	Размер зерна, мкм
Шлифзерно	200	2500...2000
	160	2000...1600
	125	1600...1250
	100	1250...1000
	80	1000...800
	63	800...630
	50	630...500
	40	500...400
	32	400...315
	25	315...250
	20	250...200
Шлифпорошок	16	200...160
	12	160...125
	10	125...100
	8	100...80
	6	80...63
	5	63...50
	4	50...40
Микропорошок	3	40
	M40	40...28
	M28	28...20
	M20	20...14
	M14	14...10
	M10	10...7
	M7	7...5
M5	5...3	

Шлифовальные круги различаются по твердости. Твердостью шлифовального круга принято считать сопротивление его связки выкрашиванию зерен при работе. При шлифовании твердых материалов следует применять мягкие круги, в которых выпадение затупившихся зерен и оголение новых происходит быстрее. При шлифовании мягких металлов зерна тупятся медленнее и круг может быть твердым.

Шлифование и полирование ведут с помощью кругов или непрерывной гибкой абразивной ленты.

Абразивные зерна шлифовальных кругов чаще изготавливают из электрокорунда. В зависимости от содержания примесей и технологии производства электрокорунд делят на следующие виды: нормальный (12А...16А), белый (22А...25А), хромистый (32А...34А), титанистый (37А) и монокорунд (43А...45А). Круги нормального и белого электрокорунда применяют для обработки конструкционных и легированных сталей с невысокой износостойкостью и твердостью до 40 HRC. Для шлифования этих сталей в интенсивном режиме лучше зарекомендовал себя хромистый электрокорунд. Для обработки инструментальных, жаропрочных и других труднообрабатываемых сталей используют монокорунд.

Для обработки чугуна, цветных металлов и сплавов, титановых сплавов обычно применяют абразивные зерна из черного (53С...55С) и зеленого карбида кремния (63С...64С). Круги из карбида кремния (64С) пригодны для обработки покрытий средней и высокой износостойкости, однако в большинстве случаев эта обработка нерентабельна для покрытий твердостью 40...60 HRC.

Электрокорундовыми кругами хорошо обрабатываются покрытия с твердостью 24...36 HRC, нанесенные электродуговой наплавкой, а также порошковые неоплавленные покрытия из ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-10Н-04, ПГ-10К-01. Зернистость кругов несколько большая, чем при обработке компактных материалов, а связка – более мягкая.

При обработке оплавленных покрытий из никельборкремниевых сплавов рекомендуются круги 64С с зернистостью М28, М40, твердостью СМ...СТ1. Кругами из зеленого и черного карбида кремния хорошо обрабатываются неоплавленные порошковые покрытия типа ПГ-СР4, нанесенные плазменным или газопламенным способом, а также покрытия ПГ-12Н-01, ПГ-12Р-02, полученные детонационным способом. Гальванические покрытия шлифуют абразивными кругами из нормального или белого электрокорунда марок 12А...25А. Напыленные покрытия и поверхности деталей из алюминиевого сплава шлифуют кругами из хромисто-титанистого электрокорунда марок 91А...95А.

Ремонтные заготовки с твердым покрытием на основе железа, например Сормайт ( $У20Х15С2Н2$ ,  $У30Х28С4Н4$ ), шлифуют способом врезания. Применяют шлифовальные круги из хромистого электрокорунда марки 34А или из карбида зеленого кремния марки 64С. Шлифование хромоникелевых покрытий с высокой вязкостью гамма-твердого раствора на основе никеля с распределенными в нем карбидами и боридами высокой твердости резко увеличивают износ и затупление шлифовального круга вследствие налипания частичек металла на вершины абразива. Интенсивное обновление рабочей поверхности круга достигается применением мягких кругов, однако круги из корунда и карбида кремния в результате отжима не снимают заданную величину припуска, которая тем больше, чем труднее шлифуется покрытие.

Круги из эльбора обеспечивают высокие показатели шлифования оплавленных покрытий типов ПГ-СР3, ПГ-СР4 и 12НКВ, а также неоплавленных ПГ-10Н-01, ПТ88Н12, НХ20Л, Полимак, Сормайт и других труднообрабатываемых покрытий. Зерна из эльбора выпускаются двух марок: ЛП – повышенной и ЛО – обычной прочности. Кроме того, этими кругами обеспечивается высокоэффективная и высококачественная обработка слоя, полученного микродуговым оксидированием деталей из алюминиевого сплава. Применение кругов из эльбора при обработке упрочненных поверхностей снижает затраты на шлифование в 1,7...5 раз по сравнению с электрокорундовыми кругами.

Опытный образец сегментного эльборового круга диаметром 900 мм прошел приемочные испытания на Лубенском станкостроительном заводе ОАО «Шлифверст» на специализированном станке 3Д423 для шлифования шеек коленчатого вала.

Шлифование покрытий типа ПГ-СР4 можно вести алмазными кругами АСКМ, АСК, АСВ с зернистостью 200/160 на металлической связке. Покрытия с наибольшей износостойкостью, которые обладают твердостью  $\geq 60$  HRC, обрабатывают только алмазными кругами. Наибольшая эффективность применения алмазных кругов обеспечивается при шлифовании покрытий на основе оксидов алюминия, хрома и титана, карбидов вольфрама, титана в сочетании с кобальтом, никелем или бором. Плазменно-напыленный Сормайт и оксид алюминия, нанесенный детонационным напылением, шлифуют также алмазными кругами с алмазами АС 4 100%-ной концентрации на связках М2-01, В2-08, В3-03-1. Для отделочной обработки применяют бесконечные алмазные ленты АЛШБ с алмазами АСМ, АС, имеющими зернистость 80/63, 40/28, 20/14, на связках В3-06, В3-02. При шлифовании покрытий круги правят чаще, чем при обработке компактных материалов.

С целью повышения стойкости алмазных кругов при обработке наплавленных покрытий рекомендуется применять алмазы, которые характеризуются высокой противоударной стойкостью, например из шлифпорошков АС 15, АС 20 и АС 32 (ГОСТ 9206–80).

Обладая высокими режущими свойствами, круги из алмаза и кубического нитрида бора (КНБ) – кубонитовые круги КР, КО работают практически без отжима. Высокая износостойкость таких кругов обуславливает повышенную точность их формы в течение длительного времени и, в свою очередь, экономичность процесса и точность шлифованных деталей. Круги из КНБ характеризуются стабильной режущей способностью. Преобладающим видом изнашивания является механическое разрушение зерен, имеющих развитый рельеф рабочей поверхности.

Алмазное шлифование применяется в ремонтном производстве и для заточки и доводки режущего и мерительного инструмента.

Обработку износостойких покрытий можно интенсифицировать путем введения в зону резания дополнительных видов энергии (механической, тепловой, электрической, химической и др.) или их сочетаний. Так, дополнительные термомеханические воздействия позволяют управлять стружкообразованием и качеством формируемой поверхности. Электромеханическое шлифование заключается в том, что на токопроводящий абразивный круг и деталь подают напряжение с последующим удалением продуктов анодного растворения электронейтральным шлифовальным кругом из электрокорунда.

Шлифование сопровождается выделением большого количества тепла и деформацией поверхностного слоя на глубину до 50 мкм, что способствует возникновению в этом слое значительных растягивающих напряжений. Неправильно выбранные режимы резания, затупленные зерна и «засаленный» круг приводят к структурным изменениям поверхностного слоя покрытия, образованию прижогов и шлифовальных трещин. В поверхностном слое недопустимо оставлять растягивающие остаточные напряжения, отпущенные участки и шлифовальные трещины. Прижоги при шлифовании снижают предел выносливости на 30 %, а шлифовальные трещины – до 3 раз. Поверхностное обезуглероживание и снижение твердости только на 5 HRC уменьшает долговечность, например, зубчатых колес в 2...3 раза. Поэтому при шлифовании покрытий значения режимов следует выбирать значительно меньшие, чем при обработке монолитных материалов.

Режим шлифования определяется материалом обрабатываемой детали, скоростью вращения круга и его давлением на поверхность детали. Качество шлифования и полирования кругами в значительной степени

зависит от окружной скорости круга. При отделке твердого металла необходима более высокая окружная скорость, чем при отделке мягкого. При шлифовании следует поддерживать определенную частоту вращения круга; увеличение ее равносильно применению более твердого круга. Частота вращения шлифовальных кругов, применяемых при обработке различных материалов, зависит от диаметра круга.

Финишные операции обеспечивают необходимые форму и размеры восстанавливаемых поверхностей, а также свойства поверхностного слоя. На этих операциях снимают незначительный слой металла, но уменьшают на один-два класса показатели шероховатости. Тонкое шлифование выполняют абразивным инструментом с зернистостью 12...25. Снимаемый припуск за один ход  $\leq 0,5$  мкм. В конце операции требуется выхаживание в течение пяти-семи оборотов детали. Для тонкого шлифования применяют станки повышенной точности.

Режимы правки абразивных кругов обтачиванием алмазом и алмазно-металлическим карандашом приведены в табл. 4.4.

4.4. Режимы правки кругов обтачиванием

Способ шлифования	Шероховатость обрабатываемой поверхности $Ra$ , мкм	Правка			
		алмазом		алмазно-металлическим карандашом	
		$S_{\text{прод}}$ , м/мин	$S_{\text{поп}}$ , мм/дв.ход	$S_{\text{прод}}$ , м/мин	$S_{\text{поп}}$ , мм/дв.ход
Круглое наружное	0,32...1,2	0,3	0,02	0,4	0,03
Круглое внутреннее		1,0		1,5	
Плоское	0,08...0,32	0,2	0,01	0,3	0,02
Резьбошлифование	0,16...0,63			—	—
Профильное	0,16...0,32			0,1	0,2
Шлицешлифование		0,2	0,3		

Условные обозначения:  $S_{\text{прод}}$ ,  $S_{\text{поп}}$  – продольная и поперечная подача.

*Суперфиниширование и полирование* – процессы удаления разупроченного на предыдущих операциях тонкого слоя и достижения необходимой шероховатости поверхности. Процесс суперфиниширования цилиндрических шеек протекает при вращении детали и осциллирующем движении мелкозернистых брусков вдоль оси шпинделя. Давление брусков на поверхность обработки  $\leq 3$  МПа, оно уменьшается к завершению операции. Шейки коленчатых валов, например, полируют на станках типа 3875 с применением абразивных лент из шлифовальной шкурки марки 15AM40BM433. Хотя лента обеспечивает большую площадь соприкосновения инструмента с заготовкой, более эффективное рассеяние тепла, хорошую приспособленность к форме поверхности и возможность обработки галтелей, но шероховатость рабочих поверхностей улучшает незначительно, а аморфный слой оставляет заполированным.

*Притирка* – процесс совместной обработки деталей, работающих в паре, для получения плотного контакта рабочих поверхностей. Притирают, например, клапаны двигателей к седлам, плунжеры топливной аппаратуры к гильзам, зубчатые колеса друг к другу. Обработка происходит при относительном возвратно-вращательном или поступательном движении притираемых деталей. В зону обработки подают зерна электрокорунда, карбида кремния, карбида титана, карборунда или алмазную пасту в индустриальном масле. Чтобы следы резания не налагались друг на друга, необходимо каждый последующий ход притирки начинать с нового относительного положения притираемых деталей. Эту функцию выполняет механизм углового смещения приводных шпинделей.

*Хонингование* – процесс доводки внутренних цилиндрических поверхностей абразивными брусками, которые закреплены в головке и вращаются с одновременным возвратно-поступательным движением. В процессе хонингования бруски постоянно прижимаются к поверхности детали с давлением 0,05...1,4 МПа. Хонингование дает возможность получать поверхность с точностью пятого-шестого качества и шероховатостью до 0,16 мкм. Погрешность обработанного отверстия 0,005...0,02 мм, а отклонения от круглости и конусности  $\leq 0,005$  мм.

В качестве инструментальных материалов применяют хонинговальные бруски из синтетических алмазов, закрепленные в металлической связке М1 (порошковый состав из 80 % Си и 20 % Sn). Существуют синтетические алмазы следующих марок ( в порядке возрастания прочности и снижения хрупкости зерен): АСО, АСП, АСВ, АСК, АСС. Для обработки восстанавливаемых деталей широко используют бруски из алмазов

марки АСВ (алмазный синтетический высокопрочный). Толщина алмазного слоя в брусках 1...2 мм. Зерна практически не теряют своих режущих свойств до полного истирания брусков. Алмазное хонингование по сравнению с традиционным абразивным производительнее в 4...6 раз, улучшает шероховатость поверхности на два класса и повышает точность обработки в 1,5...2 раза.

Хонингование применяют для обработки стальных и чугунных деталей, а также при чистовой обработке хромовых и железных покрытий. Скорость резания при хонинговании в 20 раз меньше, чем при шлифовании, поэтому деталь практически не нагревается, а ее поверхностные слои не претерпевают структурных изменений.

Устанавливают и закрепляют ремонтные заготовки при их механической обработке с помощью приспособлений, которые обеспечивают необходимую точность расположения обрабатываемых поверхностей. Применение приспособлений повышает производительность обработки. Шатунные шейки коленчатого вала, например, точат или шлифуют в центросместителях, которые обеспечивают совмещение осей шпинделя станка и обрабатываемой шейки и точный поворот детали относительно оси коренных шеек, равный нормативному углу между кривошипами.

#### 4.5. Смазывающе-охлаждающие жидкости при механической обработке

Применение *смазывающе-охлаждающих жидкостей* (СОЖ) при механической обработке снижает изнашивание режущего инструмента, улучшает качество обрабатываемых поверхностей и повышает производительность. Основные функции СОЖ: охлаждение инструмента и детали, расклинивающее разделение частей материала заготовки, граничная и гидродинамическая смазка, адсорбция поверхностно-активных веществ на вновь образованных поверхностях для облегчения пластического деформирования при разрыве металла, снижение диффузионного изнашивания.

Характеристика наиболее применяемых прогрессивных СОЖ приведена в табл. 4.5. Масляные СОЖ – это минеральные масла с присадками (или без них) различного назначения. Эмульсионные (водосмешиваемые) СОЖ содержат минеральные масла, эмульгаторы, ингибиторы коррозии, биоциды, противоизносно-противозадирные присадки, антипенные добавки, электролиты, связующие и другие органические и неорганические вещества.

## 4.5. Характеристика СОЖ

Наименование	Область применения	Аналоги
<i>Синтетические СОЖ</i>		
Эфтол	Лезвийная и абразивная обработка стали и чугуна	Укринол-1, аквол 6,1 ОМ, НГЛ-205, эмульсол ЭГТ, автокат
Прогресс-13К	Лезвийная и абразивная обработка стали, алюминия и его сплавов	
Синтол	Лезвийная и абразивная обработка стали и чугуна	Сувар, конвекс
Аквахон	Хонингование стали	Керосин, керосино-масляные смеси, ОМС-1, ОМС-3
Аспарин	Шлифование, хонингование чугуна	ОСМ-1, керосино-масляная смесь
Асхон	Хонингование хромированных сталей, лезвийная обработка легированных нержавеющей жаропрочных сталей	ОСМ-2
<i>Полусинтетические СОЖ</i>		
Автокат, ивкат, эмулькат	Лезвийная и абразивная обработка стали, чугуна, алюминия и его сплавов	Укринол-1, аквол 6,1 ОМ, НГЛ-205, эмульсол ЭГТ, уверол, велс
<i>Эмульсионные СОЖ</i>		
Эмульсол Т	Холодная прокатка стали, лезвийная и абразивная обработка стали и чугуна	Эмульсол ЭГТ
Тафол	Лезвийная и абразивная обработка стали, чугуна, алюминия и его сплавов, холодная прокатка меди и ее сплавов	Укринол 1М, аквол 10М, аквол 11, эмульсол ЭГТ, эмульсол Т, технологическая смазка СП-3, НГЛ-205
<i>Масляные СОЖ</i>		
Режущее масло СП-4	Сверление, нарезание резьбы	МР-1У, МР-2У, минеральное масло
Концентрат режущего масла СП-44		МР-5У (концентрат)
Сульфогал	Вытяжка и высадка изделий из сталей, штамповка, нарезание резьбы	ХС-147, ХС-170, укринол 5/5



## 4.6. Измерение линейных величин

При технологической подготовке процессов определения технического состояния и механической обработки заготовок решаются такие основные задачи: 1) выбор средств измерений в зависимости от вида и погрешности измеряемой величины; 2) обоснование уровня автоматизации процесса. Первую задачу решают по коэффициенту уточнения (запасу точности); на основе информационной теории измерительных устройств и по принципу *безошибочности контроля*.

Наиболее распространен последний метод, при котором средства измерений выбирают по известным значениям номинального размера  $d$ , допуска на изготовление  $IT$  и погрешности измерений  $\delta$ . Под погрешностью измерений понимают отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Допускаемые погрешности измерений при приемочном контроле на линейные размеры до 500 мм устанавливает ГОСТ 8.051-81. Здесь погрешности приняты равными 20...35 % от допуска на изготовление детали. Предельные погрешности измерения наиболее часто употребляемыми средствами контроля деталей приведены в табл. 4.6.

Средства измерений при механической обработке деталей с наиболее распространенными линейными размерами (6...120 мм) следующие.

## 4.6. Погрешности измерения деталей

Наименование приборов и инструментов	Класс применяемых концевых мер	Интервалы размеров, мм		
		1...10	150...80	300...500
		Предельные погрешности, мкм		
1	2	3	4	5
Оптиметры горизонтальный и вертикальный, измерительные машины для измерения наружных размеров	0	$\pm 0,35$	$\pm 0,6$	$\pm 1,8$
	1	$\pm 0,4$	$\pm 0,8$	$\pm 3,0$
	2	$\pm 0,7$	$\pm 1,3$	$\pm 4,5$
Оптиметр горизонтальный, измерительная машина с оптиметром и микроскопом для измерения внутренних размеров	0	—	$\pm 1,1$	—
	1	—	$\pm 1,3$	—
	2	—	$\pm 1,8$	—

Продолжение табл. 4.6

1	2	3	4	5
Миниметр с ценой деления 0,001 мм	0	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,8$
	1	$\pm 0,6$	$\pm 1,0$	$\pm 3,0$
	2	$\pm 0,7$	$\pm 1,4$	$\pm 4,5$
	3	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 8,0$
То же, 0,002 мм	1	$\pm 1,0$	$\pm 1,4$	$\pm 3,5$
	2	$\pm 1,2$	$\pm 1,8$	$\pm 5,0$
	3	$\pm 1,4$	$\pm 2,5$	$\pm 8,0$
То же, 0,005 мм	2	2,0	2,5	5,0
	3	2,2	3,0	8,5
Индикаторы с ценой деления 0,01 мм при работе в пределах одного оборота стрелки: нулевого класса точности первого класса второго класса	3	$\pm 10$	$\pm 10$	$\pm 13$
	3	$\pm 15$	$\pm 15$	$\pm 16$
	3	$\pm 20$	$\pm 20$	$\pm 22$
Микрометр нулевого класса точности	—	$\pm 4,5$	$\pm 6$	$\pm 15$
То же, первого класса точности	—	$\pm 7,0$	$\pm 9$	$\pm 25$
То же, второго класса точности	—	$\pm 12$	$\pm 14$	$\pm 35$
Штихмас микрометрический первого класса точности	—	—	$\pm 18$	
Штангенциркули с ценой деления, мм: 0,05 0,1	—	$\pm 40$	$\pm 45$	—
	—	$\pm 75$	$\pm 75$	$\pm 90$

*Измерение наружных поверхностей.* При точности размеров 5–6 квалитетов применяют: рычажные микрометры типов МР и МРИ, рычажные скобы типа СР при использовании в стойке, рычажно-зубчатые головки типа ИГ с ценой деления 0,001 мм, вертикальные оптиметры типа ОВ-3 и горизонтальные типа ОГ-3, инструментальные микроскопы. При уменьшении точности измеряемых элементов до седьмого квалитета вводятся индикаторные скобы типа СИ при настройке на нуль по концевым мерам длины и гладкие микрометры типа МК. Детали, выполненные грубее квалитета 9 точности, измеряют штангенциркулем ШЦ-II с ценой деления 0,05 мм.

*Измерение внутренних поверхностей.* Измерения с точностью по квалитетам 5–8 предполагает применение инструментальных микроскопов типов МРИ-2, БМИ-1, горизонтальных оптиметров типа ОГ-3 и нутромеров с ценой деления 0,001 или 0,002 мм с настройкой по установочным кольцам. Размеры отверстий, выполненные с точностью по квалитетам 9–14, измеряют индикаторными нутромерами типа НИ с ценой деления 0,01 мм. При измерении отверстий диаметром > 80 мм могут применяться микрометрические нутромеры типа НМ. При более грубых измерениях используют штангенциркули типов ШЦ-I и ШЦ-II с ценой деления соответственно 0,05 и 0,1 мм.

Вторая задача – обоснование уровня автоматизации процесса измерений – актуальна при технологической подготовке операций определения технического состояния большого количества несложных деталей одного вида, например поршневых пальцев, клапанов и толкателей. Область эффективного применения автоматических средств для измерения линейных величин этих деталей начинается с объемов ремонта агрегатов 5...8 тыс./год.

Производительное измерение параметров отверстий (размеров, формы и расположения относительно базовых поверхностей) проводится пневматическим измерительным прибором (рис. 4.3). С помощью этого прибора также сортируют детали на размерные группы. Пневматический способ измерений основан на использовании зависимости между расходом или давлением сжатого воздуха и значениями зазора между деталью и калибром, через который воздух выходит в атмосферу.

Прибор снабжен вертикально расположенной конической стеклянной трубкой 5 с поплавком, который находится во взвешенном состоянии в струе сжатого воздуха, подаваемого под давлением 0,3...0,5 МПа. Верхняя плоскость поплавка служит указателем при считывании размера. Цена деления шкалы 6 составляет 0,2...2 мкм. Постоянство давления сжатого воздуха обеспечивают стабилизаторы давления 3 и 11.

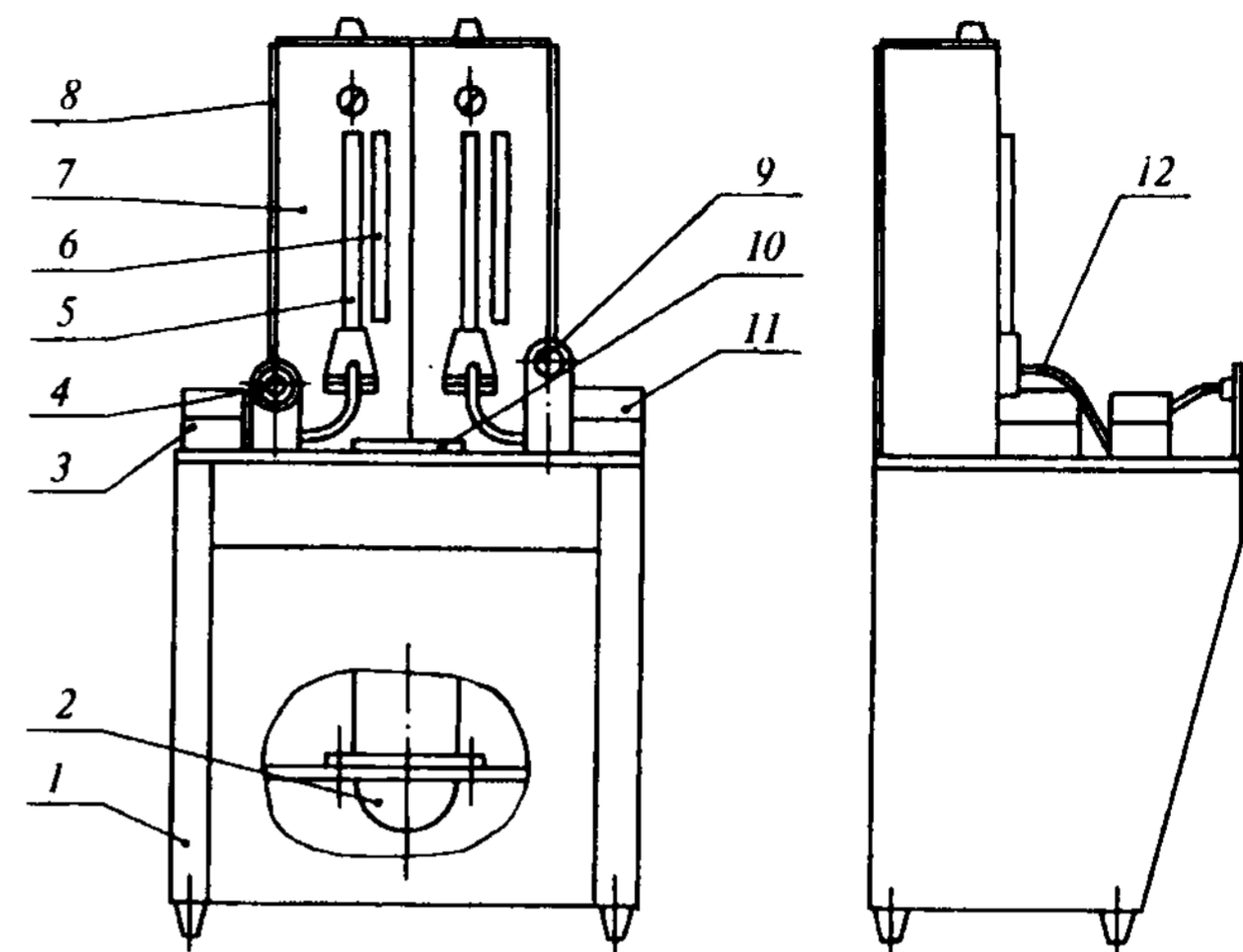


Рис. 4.3. Схема пневматического измерительного прибора:

1 – корпус; 2 – баллон; 3 и 11 – стабилизаторы давления; 4 и 9 – пневматические калибры; 5 – трубка ротаметра; 6 – шкала; 7 – панель; 8 – щиток; 10 – плита; 12 – воздушная трубка

Высота, на которую поднимается поплавок, зависит от скорости течения воздуха, возрастающей при увеличении зазора между калибром 4 или 9 и деталью.

Для проверки отклонения формы и расположения поверхностей применяют средства контроля линейных размеров в сочетании с различными приспособлениями (табл. 4.7).

Приборы для измерения параметров формы и расположения восстановленных поверхностей имеют корпус с опорными элементами, индикаторы и эталон детали. В составе прибора может быть устройство для перемещения детали относительно опорных поверхностей или образцового перемещения индикаторов. Опорные элементы соприкасаются при работе прибора с измерительными базами детали. Индикаторы установлены на корпусе, скалке или другом устройстве. Измерения выполняются относительным методом, показания индикаторов при соприкосновении их щупов с поверхностями эталонов устанавливаются на нуль.

*Пример.* С помощью прибора (рис. 4.4) измеряют диаметральные размеры юбки поршня в двух сечениях с ручным поворотом детали относительно ее оси. Перед измерением детали на опорные элементы 2 прибора устанавливают эталон поршня, имеющий форму образцового цилиндра номинального диаметра, а стрелки индикаторов при этом

4.7. Характеристика методов контроля и средств измерения формы и расположения поверхностей

Отклонение формы или расположения поверхностей	Рекомендуемые средства измерения	Метод контроля
1	2	3
Отклонение от круглости	Универсальные	Измерения в нескольких направлениях
	Индикатор на стойке легкого типа, призма	Измерение биения поверхности детали, установленной на призму
Отклонение профиля продольного сечения	Универсальные	Измерения в нескольких направлениях и сечениях
Отклонение от прямолинейности и плоскостности	Лекальные линейки, поверочные линейки, щупы	Проверка на просвет и измерение зазора щупом
	Поверочные линейки и поверочные плиты	Проверка на краску
Отклонение формы заданного профиля	Шаблоны (профильные калибры), щупы	Проверка на просвет и измерение зазора щупом
Отклонение от соосности относительно общей оси	Комплексный проходной калибр	Проверка калибром
Торцовое биение	Прибор ПБ с индикатором, угловой рычаг	Проверка биения торца при вращении детали в центрах
	Поверочные призмы, индикатор на универсальном штативе	То же, на призмах
Отклонение от параллельности плоскостей	Индикатор на универсальном штативе, поверочная плита	Проверка расстояния от одной плоскости до другой на заданной длине

Продолжение табл. 4.7

1	2	3
Отклонение от параллельности оси и плоскости	Индикатор на универсальном штативе, калиброванная скалка, поверочная плита	Проверка расстояния от верхней образующей скалки до плиты в двух положениях на заданной длине
Радиальное биение	Прибор ПБ с индикатором	Проверка стрелы прогиба при вращении в центрах
	Индикатор, призмы, индикатор на универсальном штативе	Проверка стрелы прогиба или относительного биения шеек при вращении детали в центрах
	Прибор ПБ с индикатором, оправка	Проверка биения наружной поверхности относительно внутренней на оправке при вращении детали в центрах
	Поверочные призмы, индикатор на универсальном штативе, прямой рычаг	Проверка биения внутренней поверхности относительно наружной при вращении детали на призмах

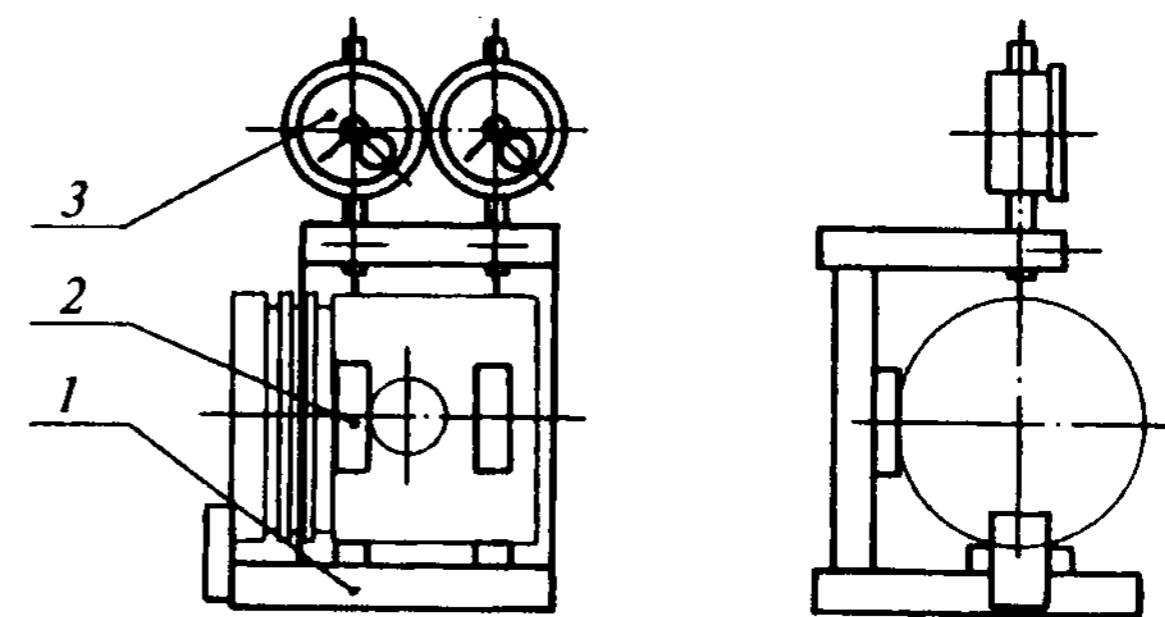


Рис. 4.4. Прибор для измерения размеров, эллипсоидности юбки поршня

совмещают с нулевыми значениями шкал. Затем измеряют размеры детали сначала в том ее положении, когда ось поршневого пальца горизонтальна (положение 1), а затем в процессе поворотов детали вокруг ее оси в одну и другую сторону на угол примерно  $45^\circ$  (положения 2 и 3). Значение размера в правом сечении, отстоящем от ее торца на 5 мм, в положении 1 определяет диаметр юбки. Показания левого индикатора в этом положении детали определяют значения конусообразности юбки, а разность показаний каждого индикатора в положениях 1, 2 и 3 – ее эллипсообразность.

#### 4.7. Упрочнение при механической обработке

Механической обработкой в ряде случаев выполняют поверхностное пластическое деформирование. Внутренние поверхности, например, гильз цилиндров или отверстий в головках шатунов упрочняют шариковыми или роликовыми раскатниками (см. рис. 3.44). Инструмент во время обработки вдавливают и осаживают материал микронеровностей от предшествующей обработки поверхности и заполняют им впадины профиля. При этом высота микронеровностей существенно уменьшается, а новый микропрофиль отличается плавностью форм неровностей и их увеличенным шагом.

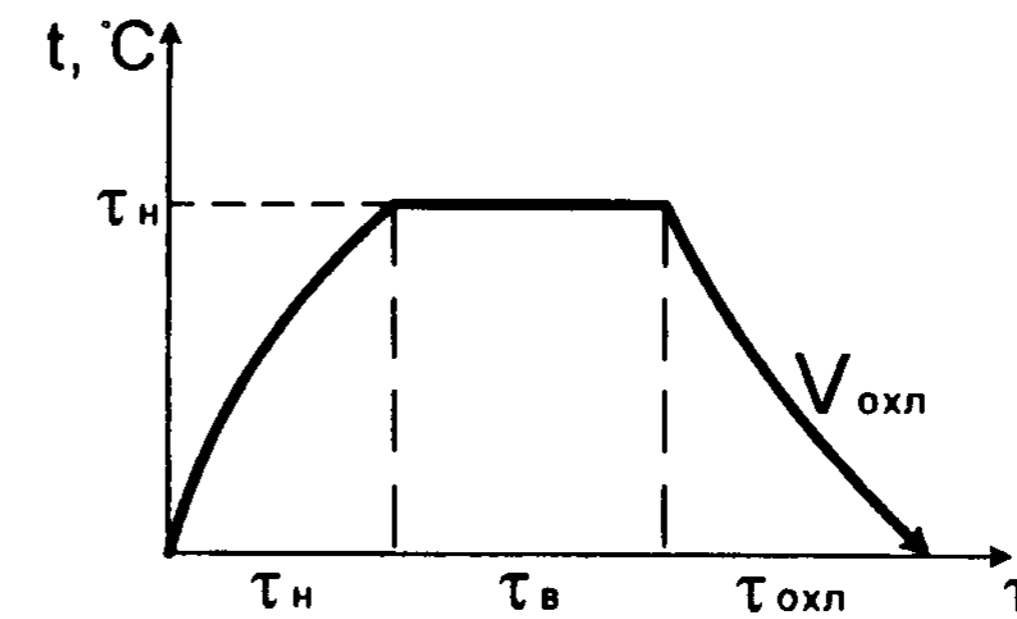
Обработка повышает несущую способность поверхности, уменьшает удельное давление в контакте трущейся пары, а образовавшийся рельеф с большими радиусами выступов и впадин способствует удержанию смазки между поверхностями. Давление на инструмент в зависимости от материала детали достигает 5...20 МПа, число ходов 2...4. Пластическое деформирование применяется и как отделочно-упрочняющая обработка в виде дорнования отверстий и алмазного выглаживания отверстий и шеек. В контакте детали и инструмента в этом случае имеет место трение скольжения.

Отверстия калибруют перемещением в них с натягом деформирующего инструмента с подачей СОЖ. Инструмент имеет вид шарика. При первоначальной шероховатости  $Ra$  6,3...1,6 мкм получают шероховатость  $Ra$  0,8...0,1 мкм для стали и 1,6...0,4 мкм для чугуна. Если необходимо получить большую деформацию и высокое качество поверхности, то операцию делят на два перехода. На первом переходе деформируют 75...80 % припуска, на втором остальную часть. Скорость обработки 2...25 м/мин. Способы механического упрочнения по-разному влияют на шероховатость обработанной поверхности. Например, обкатка (раскатка) и дорнование во всех случаях улучшают шероховатость поверхности на один-два класса.

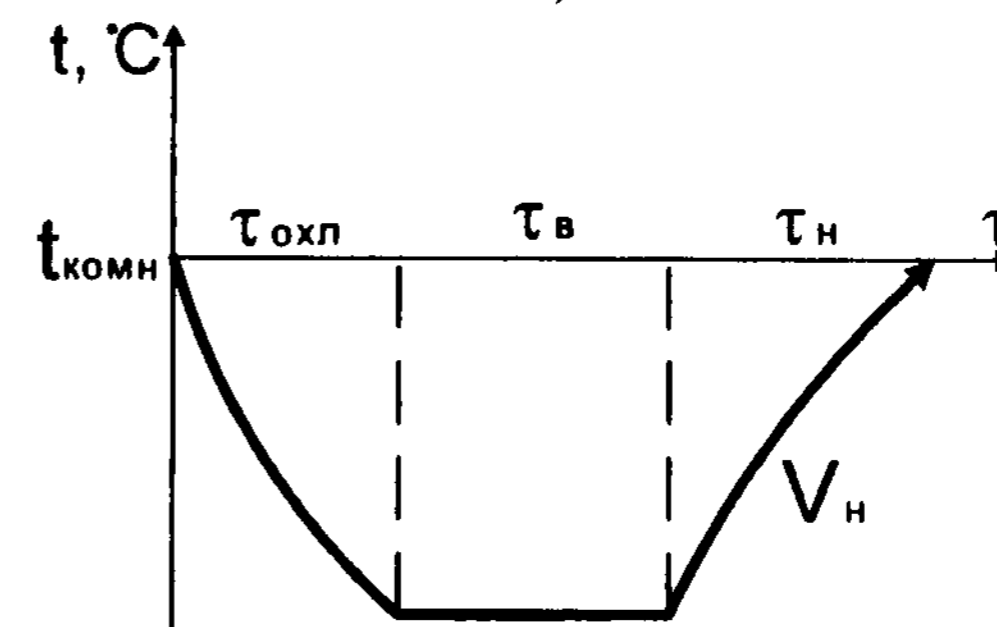
### 4.8. Термическая и химико-термическая обработка в процессах восстановления деталей

#### 4.8.1. Задачи и особенности термической и химико-термической обработки восстанавливаемых деталей

Под *термической обработкой* металлов и сплавов понимают совокупность операций нагрева с заданной скоростью; требуемой выдержки и последующего охлаждения с регламентируемой скоростью. В координатах температура – время график любого вида термической обработки может быть представлен так, как показано на рис. 4.5.



а)



б)

Рис. 4.5. График термической обработки:  
а – собственно термическая обработка; б – обработка холодом;  
 $t_n$  – температура нагрева;  $\tau_n$  – время нагрева;  $\tau_b$  – время выдержки;  
 $\tau_{охл}$  – время охлаждения;  $v_{охл}$  – скорость охлаждения

Целью термической обработки является получение необходимой структуры, а следовательно, и физико-механических или иных свойств металлов и сплавов. По степени воздействия на свойства металлов и сплавов термическая обработка значительно эффективней других воздействий, например механической обработки.

Процессы термической обработки принято подразделять на собственно термическую обработку, включающую только тепловое воздействие; термомеханическую, сочетающую тепловое воздействие с пластическим деформированием, и химико-термическую, подразумевающую тепловое воздействие с изменением химического состава поверхности металлов и сплавов. В свою очередь, собственно термическая обработка включает отжиг I рода (гомогенизационный, рекристаллизационный, для снятия внутренних напряжений, называемый иногда релаксационный), отжиг II рода, закалку с полиморфным превращением, отпуск, закалку без полиморфного превращения, старение.

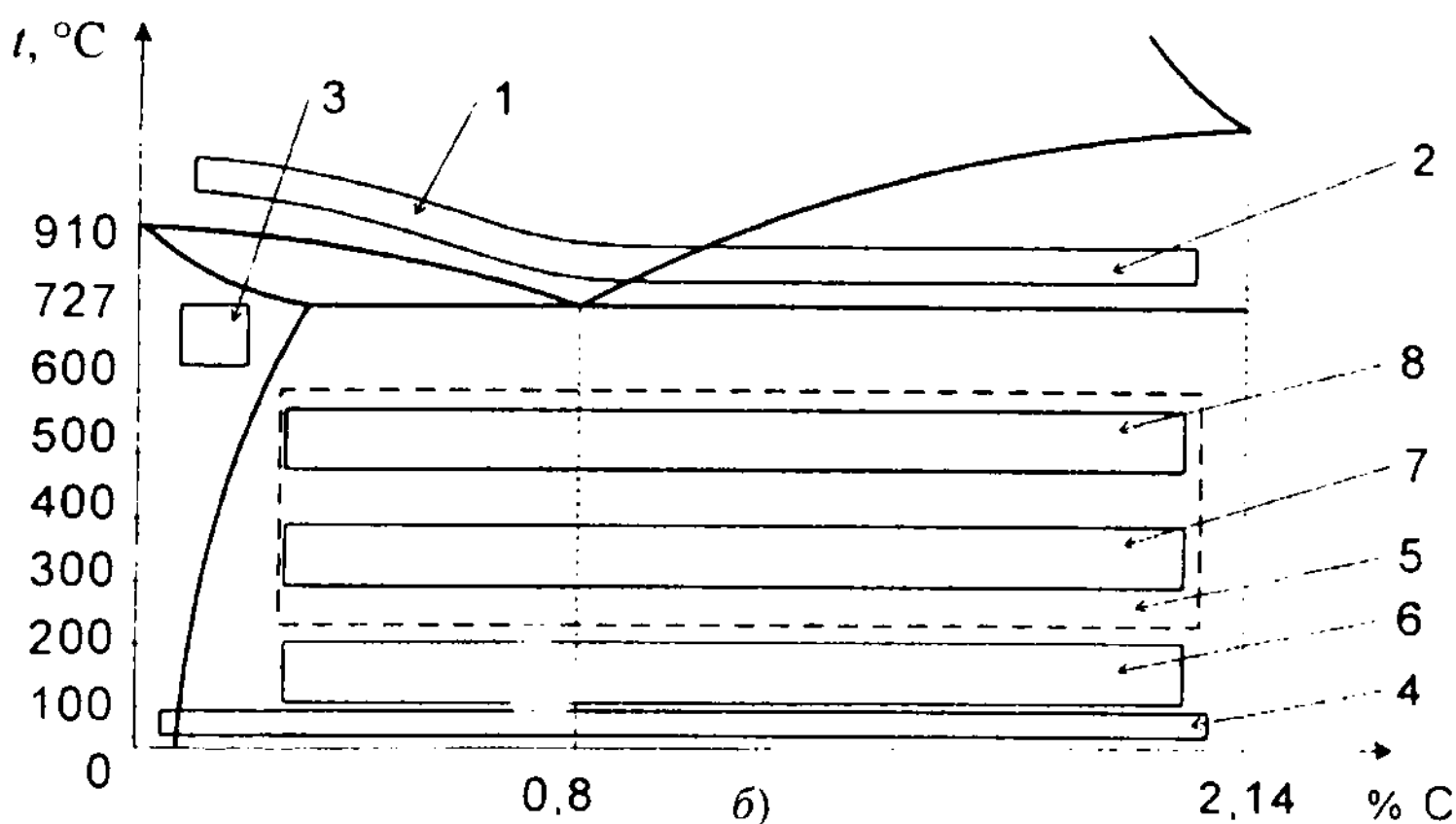
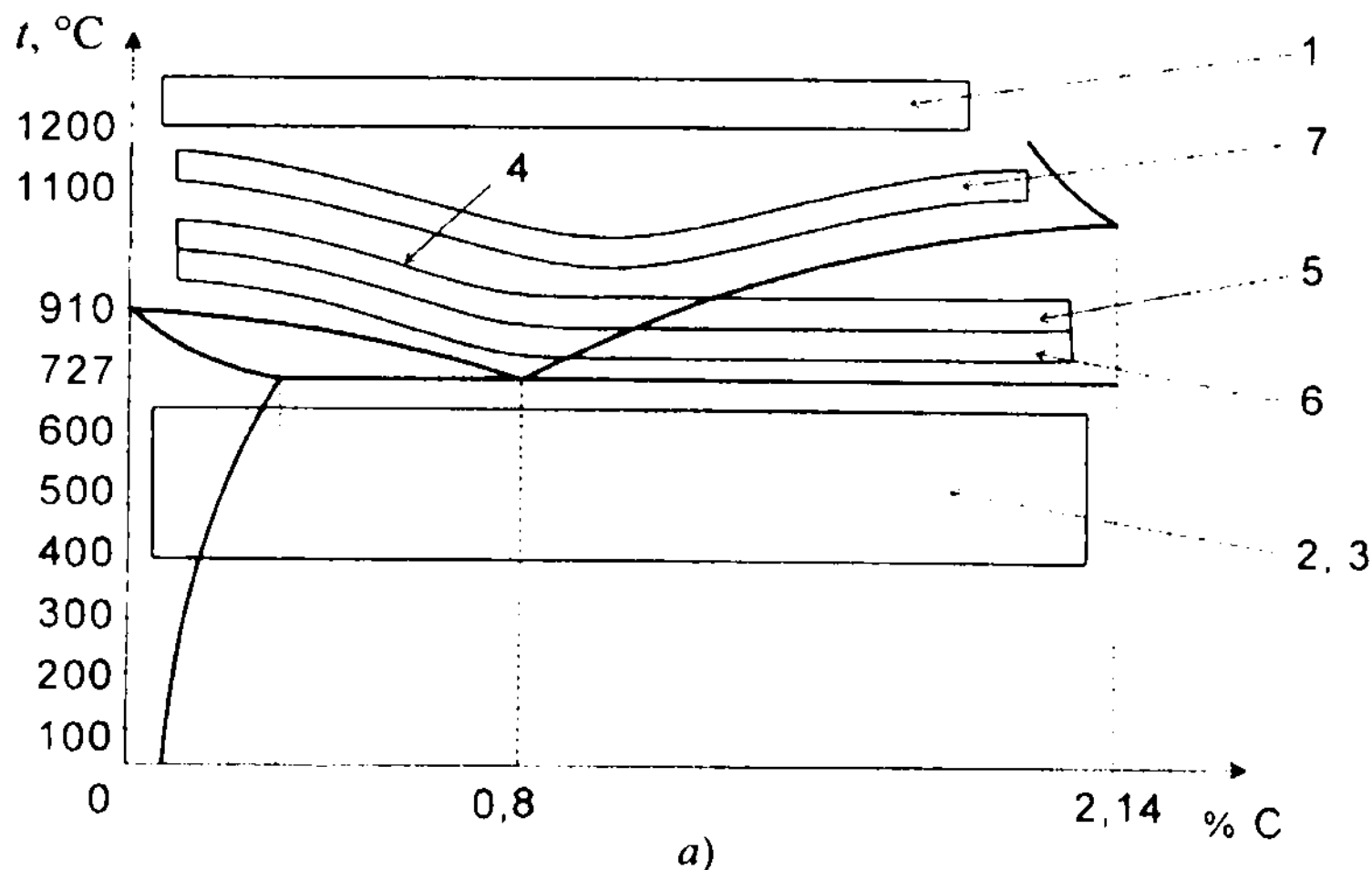
Выбор температур нагрева при любом виде термической обработки базируется на соответствующей диаграмме состояния. Так, например, для сталей – сплавов системы Fe–Fe<sub>3</sub>C температуры приведены на рис. 4.6.

*Отжиг I рода* позволяет устранить неоднородность, возникшую в металлах и сплавах в процессе предшествующей обработки.

Так, например, гомогенизационный (диффузионный) отжиг (см. рис. 4.6, а, 1) выравнивает и устраняет неоднородность химического состава (ликвации) отливок, слитков, наплавленного металла за счет протекания диффузионных процессов при высоких температурах. Чем сильнее неоднородность, тем более продолжительной должна быть выдержка при высокой температуре. Рекристаллизационный отжиг (см. рис. 4.6, а, 2), который включает нагрев металла выше температуры его рекристаллизации (примерно до 0,5 от температуры его плавления), дает возможность устранить структурную неоднородность (текстуру) и упрочнение (наклеп), вызванные предшествующей холодной пластической деформацией, и повысить пластичность.

Отжиг I рода позволяет также избегать трещинообразования за счет значительного снижения внутренних остаточных напряжений, возникающих при охлаждении отливок, сварных соединений, наплавов (см. рис. 4.6, а, 3).

Различают следующие разновидности *отжига II рода*: перекристаллизационный полный или неполный (для заэвтектоидных сталей неполный отжиг называют сфероидизирующим отжигом на зернистый перлит), изотермический, нормализационный отжиг (нормализация), графитизирующий.



**Рис. 4.6. Участок диаграммы состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C с нанесенными температурами для различных видов термической обработки углеродистой стали:**

*а* - отжиг I рода [1 - гомогенизационный (диффузионный); 2 - рекристаллизационный; 3 - для снятия внутренних напряжений (релаксационный)]; отжиг II рода [4 - полный; 5 - неполный (сфероидизирующий); 6 - изотермический; 7 - нормализация];

*б* - закалка, старение, отпуск: закалка с полиморфным превращением (1 - полная; 2 - неполная; 3 - без полиморфного превращения; 4 - естественное старение; 5 - искусственное старение; 6-8 - низкий, средний и высокий отпуск соответственно)

В случае перекристаллизационного отжига металл нагревают выше температуры фазового перехода (т.е. выше температуры полиморфного превращения). В результате при последующем медленном охлаждении протекают фазовые превращения и образуется мелкозернистая равновесная структура с улучшенными свойствами.

При нагреве стали несколько выше первой критической точки  $A_{c1}$  происходят неполная перекристаллизация и превращение только перлита в аустенит. Такой неполный отжиг (см. рис. 4.6, а, 5) для заэвтектоидных сталей вызывает сфероидизацию цементита (отжиг на зернистый перлит) и, как следствие, снижение твердости и улучшение обрабатываемости резанием. При полном отжиге (см. рис. 4.6, а, 4) нагрев стали осуществляют выше точки  $A_{c3}$ , образуется аустенитная структура и происходит полная перекристаллизация при охлаждении.

При изотермическом отжиге доэвтектоидную сталь нагревают на 30...50 °С выше  $A_{c3}$ , а заэвтектоидную – на столько же выше  $A_{c1}$  и выдерживают при этой температуре, быстро переохлаждают несколько ниже  $A_{c1}$  и выдерживают до полного распада аустенита, затем охлаждают с любой скоростью.

Изотермический отжиг часто заменяет для легированных и высокоуглеродистых сталей полный отжиг, он требует меньше времени.

Для сокращения продолжительности термической обработки стали часто охлаждают не с печью, а на спокойном воздухе – нормализация (см. рис. 4.6, а, 7). Нормализацией, например, исправляют структуру перегретой стали сварных конструкций.

Графитизирующий отжиг, применяемый и для сталей, и для чугунов, позволяет благодаря распаду при высоких температурах карбидной составляющей (цементита) получать свободный углерод в виде графита. Это повышает износостойкость материала, снижает коэффициент трения. Такая обработка широко распространена, например, для получения из белых ковких чугунов с хлопьевидной формой графита, а также получения графитизируемых сталей.

Закалка с полиморфным превращением реализуется в тех металлах и сплавах, в которых перестраивается кристаллическая решетка. Доэвтектоидные стали нагревают для превращения перлита в аустенит (полная закалка; см. рис. 4.6, б, 1) либо сохранения в заэвтектоидных сталях избыточного цементита (неполная закалка, см. рис. 4.6, б, 2). Во время ус-

коренного охлаждения со скоростью выше критической аустенит превращается в мартенсит. Твердость и износостойкость стали возрастают. Закалку с полиморфным превращением называют закалкой на мартенсит.

Закалка без полиморфного превращения происходит (см. рис. 4.6, б, 3) в тех сплавах, в которых по мере нагрева и выдержки увеличивается растворимость второго компонента и избыточная фаза растворяется в матричной фазе. Последующее быстрое охлаждение фиксирует состояние неравновесного пересыщенного твердого раствора, не характерное для низких температур. Такая закалка широко применяется для алюминиевых, магниевых, никелевых, медных и других сплавов, некоторых легированных сталей.

Сильного упрочнения и снижения пластичности сплавов, подвергаемых закалке без полиморфного превращения, не наблюдается.

В последующем такая неравновесная система при комнатных температурах стремится к равновесию и выделению избыточной фазы (естественное старение, см. рис. 4.6, б, 4). Некоторый подогрев закаленного сплава значительно ускоряет этот процесс (искусственное старение, см. рис. 4.6, б, 5). Закалка и частичное старение обеспечивают повышение твердости, прочности, изменение других свойств. Полное старение приводит сплав к двухфазному равновесному состоянию и, следовательно, исходным свойствам.

В случае закалки с полиморфным превращением аналогично старению при нагреве (отпуске) закаленный сплав стремится к равновесному состоянию, что позволяет понизить напряжения и твердость, повысить пластичность. Отпуск включает нагрев закаленного сплава до температур не выше критических, выдержку и охлаждение с заданной скоростью. Различают низкий отпуск (150...200 °С; см. рис. 4.6, б, 6), средний (300...400 °С, см. рис. 4.6, б, 7) и высокий отпуск (~ 500...600 °С, см. рис. 4.6, б, 8) стали.

Применительно, например, к углеродистым инструментальным сталям закалка с низким отпуском обеспечивает высокие твердость и износостойкость, сохраняя структуру мартенсита отпуска. Для среднеуглеродистых сталей закалка со средним отпуском дает максимальную упругость и достаточную твердость, что необходимо для рессор, пружин, деревообрабатывающего инструмента. При среднем отпуске мартенсит распадается на зернистую дисперсную ферритоцементитную смесь (троостит). Закалка с высоким отпуском для среднеуглеродистых сталей обеспечивает еще большее приближение к равновесному состоянию и получение более грубой зернистой ферритоцементитной смеси (сорбит),

имеющей достаточные прочностные свойства, высокую ударную вязкость и наилучшую обрабатываемость резанием. Поэтому закалку с высоким отпуском называют улучшением и применяют для ответственных деталей конструкций и машин.

Нагрев закаленной стали до температуры, близкой к  $A_{c1}$ , приводит к близкому к равновесному состоянию и распаду мартенсита на еще более грубую, чем сорбит, ферритоцементитную структуру зернистого перлита.

В зависимости от характера охлаждения при закалке различают следующие ее виды, представленные на рис. 4.7 с наложением на диаграмму распада переохлажденного аустенита: в одной среде (непрерывная), в двух средах, ступенчатую, изотермическую, с самоотпуском.

Непрерывная закалка ведется со скоростью выше критической в одном охладителе (см. рис. 4.7, 1). С целью уменьшения остающихся в детали после закалки напряжений перед началом мартенситного превращения закаливаемую деталь перебрасывают в другую среду, имеющую меньшую скорость охлаждения (закалка в двух средах, см. рис. 4.7, 2), например из воды в масло. Это обеспечивает меньшие внутренние напряжения после закалки. Взамен такой закалки для мелких деталей часто реализуют ступенчатую закалку (см. рис. 4.7, 3) с охлаждением и выдержкой деталей в расплаве солей, имеющих температуру на 20...40 °С выше точки начала мартенситного превращения, и последующим охлаждением в масле или на воздухе.

При изотермической закалке (см. рис. 4.7, 4) выдержку осуществляют до полного распада аустенита в среде с температурой, обеспечивающей получение требуемой структуры, например троостита, и, следовательно, требуемых свойств.

В ряде случаев, когда нужны твердая поверхность и способность воспринимать ударные нагрузки, выполняют закалку с самоотпуском.

При этом, не дожидаясь при закалке полного охлаждения, извлекают деталь из закалочной среды. Оставшееся внутри детали тепло обеспечивает самоотпуск закаленной поверхности, после чего следует окончательное охлаждение.

В зависимости от вида нагрева различают газопламенную, плазменную, лазерную, электронно-лучевую закалку, закалку с нагревом токами высокой частоты (индукционную), которая наиболее широко применяется в промышленности.

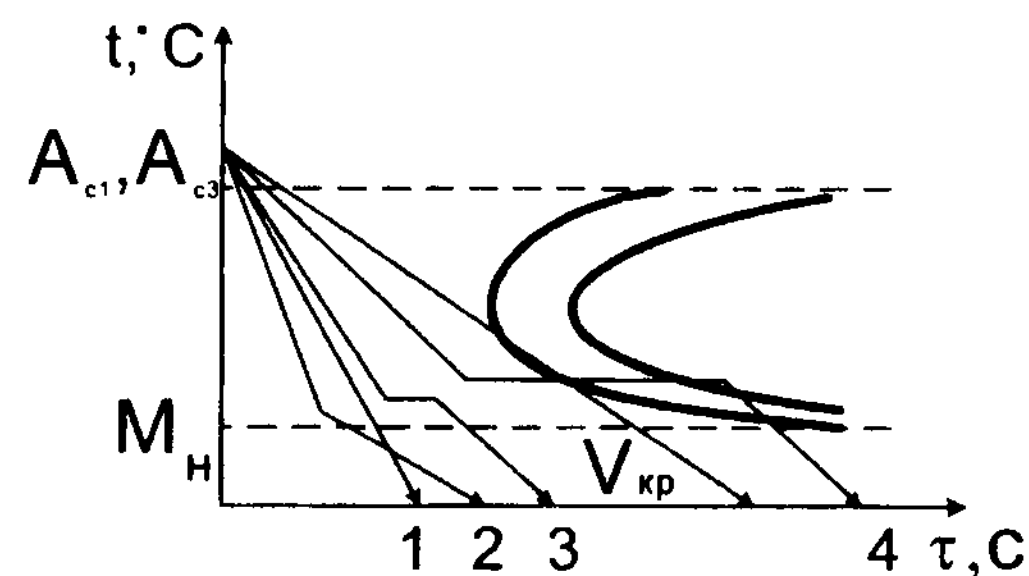


Рис. 4.7. Виды закалки в зависимости от характера охлаждения (на примере эвтектондной стали):

1 – в одной среде (непрерывная); 2 – в двух средах; 3 – ступенчатая; 4 – изотермическая;  $v_{кр}$  – критическая скорость охлаждения при закалке

При разработке и реализации любого из перечисленных видов термической обработки необходимо учитывать ряд факторов. Так, например, чем больше степень легированности стали, тем значительнее смещение критических точек, сильнее ее влияние на различные свойства стали. Поэтому при выборе температур нагрева значения критических точек следует брать из марочников сталей, сплавов. Продолжительность и скорость нагрева сплава до выбранной температуры зависят преимущественно от степени легированности, температуры нагрева, формы изделий, типа печи, характера укладки изделий в печи. В табл. 4.8 приведены примеры ориентировочных норм продолжительности нагрева стали для разных температур и типов печей.

4.8. Ориентировочные нормы нагрева стальных изделий

Тип нагревательного устройства	Температура нагрева, °С	Время нагрева, с, на 1 мм диаметра изделия	
		из углеродистой стали	из легированной стали
Пламенная печь	800...900	60...70	65...80
Электрическая печь	770...820	60...65	70...75
	820...880	50...55	60...65
Соляная ванна	770...820	12...14	18...20
	820...880	10...12	16...18



При нагреве стали под термическую обработку в наиболее распространенных электрических печах в зависимости от температуры нагрева и формы изделия можно руководствоваться такими данными, как, например, приведенные в табл. 4.9.

Продолжительность нагрева  $\tau_n$  под термическую обработку можно ориентировочно определить и с помощью эмпирических формул, например такой:

$$\tau_n = 0,1DK_1K_2K_3, \quad (4.2)$$

где  $D$  – размерная характеристика изделия – минимальный размер максимального сечения, мм;  $K_1$  – коэффициент нагревательной среды (для газа – 2, расплава соли – 1, расплава металла – 0,5);  $K_2$  – коэффициент формы (для шара – 1, цилиндра – 2, параллелепипеда – 2,5, пластины – 4);  $K_3$  – коэффициент равномерности нагрева (всесторонний нагрев – 1, односторонний – 4).

Время выдержки стальных изделий, например, при температуре нагрева под закалку для электрической печи можно принять также из расчета 1 мин на 1 мм условной толщины изделия. Условная толщина равна произведению фактической толщины на коэффициент формы.

При высоких температурах в результате взаимодействия металлов и сплавов с воздушной средой происходят нежелательные явления: окисление и обезуглероживание. *Окисление* – образование непрочных оксидов железа и других элементов с кислородом воздуха, *обезуглероживание* – выгорание углерода из поверхностных слоев. Чем выше

#### 4.9. Ориентировочное время нагрева деталей из углеродистой стали в электрической печи

Температура нагрева, °С	Время нагрева, с, на 1 мм диаметра или толщины изделия		
	круглого	квадратного	прямоугольного
600	120	180	240
700	90	130	180
800	45...50	55...60	70...75
900	40...45	50...55	65...70
1000	25...30	30...40	50...60

температура, тем интенсивнее протекают эти диффузионные процессы. Нагрев в среде инертных газов, специальных контролируемых атмосфер или в расплавах солей и металлов позволяет избежать этих нежелательных явлений. В табл. 4.10 приведен состав некоторых часто применяемых для нагрева под закалку солей.

При термической обработке важна роль охлаждающих сред. Так, например, при закалке используют воду, масло, водомасляные эмульсии, водные растворы солей. Наиболее простой закалочной средой является вода, однако она обладает высокой охлаждающей способностью в области мартенситного интервала и может вызвать повышенные внутренние напряжения и трещинообразование.

Для масла характерна более низкая охлаждающая способность, поэтому чаще оно применяется для легированных сталей, имеющих более высокую прокаливаемость, чем углеродистые стали.

Предпочтительны такие закалочные среды, которые обладают высокой охлаждающей способностью в области температур наименьшей устойчивости аустенита (500...650 °С) и пониженной – в области мартенситного превращения (< 300 °С). В табл. 4.11 приведены характеристики типичных охлаждающих сред.

#### 4.10. Состав соляных смесей, применяемых для нагрева изделий под закалку

Состав смеси	Температура плавления, °С	Рекомендуемые температурные интервалы применения, °С
По 50 % поваренной соли (NaCl) и кальцинированной соды (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	560	590...900
100 % хлористого бария (BaCl)	962	1020...1350
По 50 % поваренной соли (NaCl) и хлористого кальция (CaCl <sub>2</sub> )	595	630...850
100 % поваренной соли (NaCl)	800	850...920
100 % хлористого калия (KCl)	768	820...920
100 % сильвинита (NaCl, KCl)	700	780...950

## 4.11. Скорость охлаждения стали в различных охлаждающих средах

Охлаждающая среда	Скорость охлаждения, °/с, при температуре, °С	
	650...550	300...200
Дистиллированная вода	250	250
Вода при температуре, °С:		
18	600	270
26	500	270
50	100	270
74	30	200
10%-ный раствор поваренной соли в воде при 18 °С	1100	300
10%-ный раствор серной кислоты в воде при 18 °С	750	300
Минеральное масло	100...150	20...50
Трансформаторное масло	120	25
Эмульсия масла в воде	70	200
Медные плиты	60	30
Железные плиты	35	15
Воздух под давлением	30	10

В ряде случаев весьма эффективным способом упрочнения является *термомеханическая обработка*, сочетающая эффекты упрочнения как от собственно термической обработки, так и от пластической деформации. Для сплавов, имеющих полиморфные превращения (сталей в том числе), наиболее подходят высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО), низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО), патентирование.

На рис. 4.8 приведены примеры типичных режимов термомеханической обработки.

Хотя при ВТМО пластическая деформация протекает выше температуры рекристаллизации, в аустенитной области с целью подавления разупрочняющих рекристаллизационных процессов осуществляют закалку.

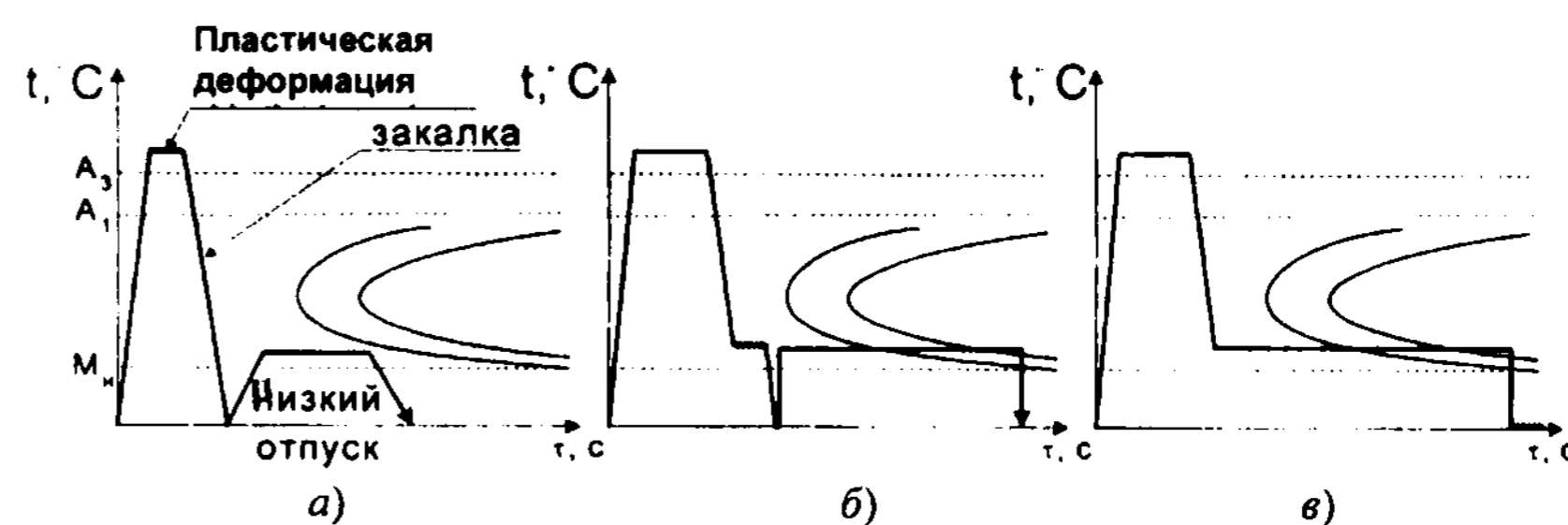


Рис. 4.8. Типичные режимы термомеханической обработки:  
а – ВТМО; б – НТМО; в – патентирование

При НТМО упрочняющий эффект еще выше, поскольку пластическую деформацию проводят при температуре несколько ниже температуры рекристаллизации.

В случае патентирования холодную пластическую деформацию выполняют до нагрева и после закалки на троостит, что обеспечивает высокий комплекс механических свойств.

Химико-термическая обработка (ХТО), сочетающая тепловое воздействие с диффузионным насыщением поверхности металлов и сплавов одним или несколькими химическими элементами, позволяет получать в поверхностном слое изделия сплав практически любого состава, обеспечивая этим комплекс необходимых свойств. Диффузионное насыщение при нагреве возможно в тех случаях, когда насыщающий и насыщаемый компоненты взаимодействуют, т.е. образуют твердые растворы или химические соединения. Ответ на этот вопрос дает анализ соответствующей диаграммы состояния.

Повышение температуры ХТО экспоненциально повышает скорость диффузионных процессов, продолжительности ХТО – параболически, т.е. в меньшей степени.

*Науглероживание* (цементация) является одним из наиболее распространенных процессов ХТО. Насыщение поверхностного слоя стали углеродом с последующей закалкой и низким отпуском проводится с целью повышения ее твердости, износостойкости, усталостной прочности. Как правило, цементации подвергают углеродистые и легированные стали, содержащие до 0,25 % С (так называемые цементируемые стали: 10, 15, 20, 20Х, 20ХГТ и др.). После науглероживания содержание углерода в поверхностном слое достигает 0,8...1,4 %.

Науглероживание проводят в твердых, жидких и газообразных средах (карбюризаторах).

Наиболее проста в ремонтно-восстановительном производстве цементация в твердом карбюризаторе. В металлический ящик (контейнер) насыпают древесный уголь, укладывают детали так, чтобы расстояние между ними, а также стенками ящика было  $\geq 15$  мм, закрывают крышкой, герметизируют огнеупорной глиной и помещают в печь. Прогревают ящик до 750...800 °С, а затем повышают температуру печи до 920...950 °С. Обычно глубину науглероженного слоя получают  $\sim 1$  мм. В табл. 4.12 приведены параметры науглероживания.

Контроль науглероженного слоя проводят на образце-свидетеле. При цементации в пастах углеродсодержащий порошок (сажу, древесно-угольную пыль, соду и т.п.) разводят связующим (патокой, канцелярским клеем и др.) и наносят в виде суспензии, обмазки, шликера на цементуемую деталь, сушат. Толщина слоя пасты в 6...8 раз должна превышать требуемую толщину цементованного слоя.

При науглероживании в пасте, содержащей 50...55 % сажи, 30...40 % соды и 10...15 % щавелево-кислого натрия, при 950 °С за 1,5...3 ч формируется науглероженный слой 0,6...1,0 мм.

Цементацию в расплавленных карбюризаторах (например, 75... 85 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + 10...15 %  $\text{NaCl}$  + 8...15 %  $\text{SiC}$ ;  $t_{\text{хто}} = 950$  °С; толщина слоя 1,2 мм) осуществляют в расплавах солей металлов электролизным или безэлектролизным способом.

Наибольшее распространение в промышленности получила газовая цементация. Ее проводят в специальных печах или агрегатах при температуре 920...950 °С, подавая в печь каплями керосин, уайт-спирит, веретенное масло или газ (природный газ, пропан, бутан и др.). В течение 8...12 ч формируется слой толщиной 1,0...1,8 мм.

4.12. Ориентировочная продолжительность выдержки при цементации в твердом карбюризаторе ( $t_{\text{хто}} = 900...950$  °С)

Размер наименьшей стороны ящика, мм	Продолжительность выдержки в печи (ч) для получения глубины цементованного слоя, мм							
	0,25	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4
100	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	7,5	8,0	8,5
150	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5
200	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5
250	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5

Участки стальных деталей, не подлежащие науглероживанию, меднят, покрывают специальными обмазками или защищают припуском, который снимают механической обработкой после цементации.

С целью придания поверхностным слоям максимальной твердости и износостойкости науглероженные стальные изделия подвергают затем закалке, а также низкому отпуску. В результате поверхность имеет структуру отпущенного мартенсита с твердостью  $\sim 60$  HRC, а в сердцевине сохраняет вязкость, пластичность.

*Азотирование* – диффузионное насыщение поверхности металла азотом с целью повышения твердости, износостойкости, усталостной прочности, коррозионной стойкости деталей.

Чаще всего азотируют среднеуглеродистые легированные стали типов 38ХМЮА, 38ХВФЮ (нитралои), в поверхности которых образуются твердые нитриды хрома, молибдена, алюминия. Твердость поверхности таких сталей после азотирования достигает 1200 HV, в то время как после азотирования среднеуглеродистой стали  $\sim 200$  HV.

Как правило, перед азотированием проводят закалку с высоким отпуском (улучшение).

Обычно азотирование проводят при температурах 480...530 °С в течение 20...40 ч в среде аммиака. Толщина азотированного слоя 0,4...0,8 мм.

*Цианирование* – одновременное насыщение поверхности металла углеродом и азотом с целью повышения твердости, износостойкости, усталостной прочности изделий.

Различают низко- (540...560 °С), средне- (820...860 °С) и высокотемпературное (920...960 °С) цианирование. При низких температурах идет преимущественное насыщение азотом, при высоких – углеродом.

Наиболее распространено цианирование в среде газов (смеси аммиака, природного газа, эндогаза и т.п.).

Цианированию подвергают чаще всего цементируемые легированные стали. После цианирования проводят закалку и низкий отпуск.

*Борирование* – насыщение металла бором с целью повышения твердости и износостойкости. Благодаря тому, что на поверхности сталей и чугунов формируется слой боридов FeB и  $\text{Fe}_2\text{B}$  толщиной  $\sim 0,1$  мм, твердость ее составляет  $\sim 2000$  HV. Поэтому борированные изделия успешно противостоят абразивному изнашиванию.

Отличительными чертами термической обработки восстанавливаемых деталей является специфика задач. Так, например, как правило, для обеспечения хорошей обрабатываемости резанием стальные детали под-

вергают отжигу II рода или улучшению (закалке с высоким отпуском). Такие операции термической обработки восстанавливаемых деталей проводятся в том случае, если эксплуатировавшиеся детали подвергались упрочняющей обработке и имеют высокую твердость и плохую обрабатываемость резанием. После этой смягчающей обработки проводят обработку резанием в требуемый размер (протачивание, нарезание рваной резьбы и т.п.), последующие наплавку или напыление.

Как правило, после восстановления геометрии изношенной детали при необходимости ее подвергают упрочняющей обработке.

Для снятия внутренних остаточных напряжений и предотвращения образования трещин после операций восстановления изношенных деталей, если эти операции сопровождались значительными тепловложениями в деталь в неравновесных условиях (сварка, наплавка и т.п.), необходим отжиг I рода. При этом, особенно для легированных сталей, склонных к образованию неравновесных закалочных структур и повышенной хрупкости, отжиг I рода для снятия внутренних напряжений проводят безотлагательно после сварочных или наплавочных операций.

С целью полной или частичной релаксации внутренних напряжений осуществляют отжиг, уменьшающий напряжения после восстановления деталей осаждением металлов и сплавов электрохимическим способом.

#### 4.8.2. Термическая обработка в процессах восстановления деталей

В технологическом процессе, связанном с восстановлением деталей, может возникать необходимость в подготовке к механической обработке резанием, снятии напряжений с целью недопущения трещинообразования, упрочнении поверхности восстановленной детали.

Для обеспечения оптимальной обрабатываемости резанием в сталях необходимо получать наиболее целесообразные равновесные или близкие к ним структуры, содержащие зачастую зернистый, а не пластинчатый перлит. В табл. 4.13 приведены примеры режимов термической обработки, обеспечивающих оптимальную обрабатываемость резанием типичных конструкционных сталей.

При подготовке к обработке резанием сложнoleгированных сталей и специальных сплавов имеется ряд особенностей.

Например, мартенситно-стареющая сталь H18K8M5 имеет наилучшую обрабатываемость резанием сразу после закалки на структуру пересыщенного твердого раствора. Последующее старение повышает твердость и снижает скорость резания в 5 раз. Аналогична закономерность для хромоникелевых аустенитных нержавеющей сталей, а также всех стареющих или дисперсионно-твердеющих сплавов.

4.13. Режимы термической обработки, обеспечивающие оптимальную обрабатываемость резанием некоторых сталей

Марка стали	Рекомендуемая обработка	Особенности структуры	Примечание
08сп, 10кп	Без термической обработки	Исходная ферритно-перлитная структура	—
20	Нормализация	Мелкая ферритно-перлитная структура	
40, 45, 40X, 40XH	Нормализация при 880...900 °С	Мелкая ферритно-перлитная структура	Допустимо улучшение (закалка с высоким отпуском) на феррит и перлит зернистый
18ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ, 25ХГТ, 25ХГНМТ, 25ХГНМЮА	Изотермический отжиг	Ферритно-перлитная структура с частично сфероидизированным перлитом	—
12ХН3А, 20Х2Н4А	Нормализация + высокий отпуск при 640...680 °С	Мелкая ферритно-перлитная структура (перлит частично — до 20 % — сфероидизирован)	
60С2	Нормализация + высокий отпуск при 650...680 °С	Мелкая перлитная структура (перлит частично сфероидизирован)	
65Г	Рекристаллизационный отжиг при 670...680 °С	Частично ( $\geq 30\%$ ) сфероидизированный перлит	При больших объемах фрезерования и сверления длительность термической обработки увеличивается в 1,5 раза
У8-У12, ШХ15	Маятниковый отжиг около критической точки $A_1$	Зернистый перлит	Для стали ШХ15 в сечениях до 100 мм — не более двух циклов

Применение в восстановительных технологиях сварки и наплавки приводит к возникновению остаточных напряжений, величина которых может достигать предела текучести. Поэтому необходимо снятие или уменьшение этих напряжений, поскольку они значительно повышают склонность изделий к хрупкому разрушению, коррозионному растрескиванию, снижают выносливость.

Термическая обработка позволяет снять или снизить уровень остаточных напряжений, а также восстановить или улучшить структуру и свойства металла в зоне термического влияния, на которую источник тепла при сварке или наплавке оказал неблагоприятное влияние.

Для низко- и среднеуглеродистых нелегированных и среднелегированных сталей, как правило, в этих целях используют высокий отпуск или нормализацию, для высоколегированной хромоникелевой аустенитной стали – аустенитизацию или стабилизирующий отжиг, для высоколегированных хромистых – высокой отпуск.

В табл. 4.14–4.16 приведены некоторые типичные режимы термической обработки сварных соединений.

Как правило, термическая обработка проводится сразу после сварки.

#### 4.14. Термическая обработка сварных соединений из сталей с мартенситом в зоне термического влияния

Марка стали	Операция	Температура нагрева, °С	Выдержка, ч	Скорость нагрева, °С/ч	Скорость охлаждения, °С/ч
12Х1МФ,	Отпуск	710...740	2...3	200 (до 500 °С)	400 (до 500 °С)
20ХМФЛ	Нормализация,	950	0,5	300	Воздух
	отпуск	710...740	2...3		200
15Х5М	Отпуск	740...760	5	150...200	200...250
15Х5МФ	Нормализация,	950...980	1	300...350	300...350
	отпуск	740...760	3	300	300
30ХГСНА	Отпуск	550...640	2	250...300	250...300
	Закалка,	880...900	0,5		
	отпуск	260	3	150...200	Воздух

4.15. Термическая обработка сварных соединений из углеродистых и низколегированных сталей

Марка стали	Температура воздуха при сварке, °С	Толщина свариваемого металла, мм	Термическая обработка			НВ	
			Операция	Температура нагрева, °С	Выдержка		Способ охлаждения
10	При всех температурах	45	Отпуск (местный, общий) или нормализация всего изделия	640...660	1	На воздухе	160
				910...930	0,5		
				630...650	1,5		
				900...920	0,5		
20	До -10	35	Отпуск	620...640	1,5	В теплоизоляции	200
				880...900	0,5		
				620...640	1,5		
45	Любая	До 25	Отпуск	630...650	1,5	На воздухе	180
				680...700	3		
16ГС	До 0	25	Отпуск	630...650	1,5	В теплоизоляции	200
				630...650	1,5		
15ХМ	Ниже -20	До 25	Отпуск	630...650	1,5	На воздухе	180
				680...700	3		
40Х	Любая	До 25	Отпуск	630...650	2	На воздухе	200
				630...650	2		

## 4.16. Термическая обработка сварных соединений из нержавеющей стали

Марка стали	Операция	Температура нагрева, °С	Выдержка, ч	НВ
20X13, 30X13, 40X13	Отпуск	660...770	2	200
		200...300		500
12X17, 15X28	Отжиг с ускоренным охлаждением	760...780	0,5	200
08X17T 15X25T	Отпуск	700...750	1...2	
08X18H10, 08X18H12Б	Аустенизация	1000...1080	0,5...1	—

В тех случаях, когда в восстановительных технологиях для восстановления геометрии (размеров, формы) изделий используется пластическая деформация значительных объемов металла и в несколько переходов, требуется рекристаллизационный отжиг. Он снимает наклеп и восстанавливает пластичность металла, исключает трещинообразование. Теоретическая температура рекристаллизации металлов  $\sim 0,4 T_{пл}$  (температуры плавления). Для сталей температура рекристаллизационного отжига 600...770 °С. Чем выше степень легированности стали тугоплавкими элементами, тем выше температура рекристаллизационного отжига. Так, например, для стали 10X18H10T температура рекристаллизационного отжига составляет 1100...1150 °С.

При восстановлении изделий путем нанесения гальванических покрытий возникают внутренние I рода или остаточные напряжения, что может привести к растрескиванию или отслаиванию покрытий от основы.

Термическая обработка, включающая нагрев железных, хромовых, кобальтовых, никелевых, медных покрытий до  $0,20...0,25 T_{пл}$ , значительно снижает внутренние напряжения, а до  $0,30...0,35 T_{пл}$  — полностью их снимает.

С целью придания восстановленному изделию окончательных физико-механических свойств и в первую очередь необходимой прочности, твердости проводят окончательную термическую обработку. В табл. 4.17–4.19 представлены примеры режимов окончательной термической обработки для некоторых групп сталей.

**4.17. Режимы окончательной термической обработки изделий из конструкционных марок сталей**

Марка стали	Закалка		Отпуск		Предел прочности, МПа			
	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда				
0	870	Вода	250	Воздух	Не определяется			
0	840				1300			
5	830				450	550		
					350	1100		
					250	1150		
					160	Не определяется		
0	810				Масло	500	Вода или масло	800
0X	860							900
0X								1000
0X	830							520
0XГТ	880	200	900					
0XГР			1400					
0XГМ	860	1200						
0XГТ	850	1500						
0XС	900	540	Масло	1250				
0XМА	880			950				
0XН	820	Вода или масло	500	Вода или масло	1000			
0XНЗА		Масло			950			
0XГСА	880		540	1100				
0XНМА	850		620	1000				
0XМЮА	940	Вода или масло	640		1000			

#### 4.18. Режимы окончательной термической обработки изделий из рессорно-пружинной стали

Марка стали	Закалка		Температура отпуска, °С	Твердость, HRC
	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда		
55	785...820	Вода	420...450	35...42
65	785...810	Масло	250	52...54
			400	45
			500	37
75	780...820		375	40...46
85	770...800		380...420	42...47
65Г	790...810			
50ХФА	840...870		375...420	42...50
60С2			400...475	43...48
60С2ВА	840...860		450	Не определяется
60С2Н2А	830...850		400...430	

#### 4.19. Режимы окончательной термической обработки нержавеющей стали

Марка стали	Закалка		Температура отпуска, °С	Твердость, HRC
	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда		
10Х13	950...1050	Масло	500...600	Не определяется
20Х13				
30Х13	500			
40Х13	1000...1050		200...225	48...50
			200...300	50...55
			550...600	Не определяется
12Х18Н9Т	1050	Воздух	Не определяется	<18



Таким образом, улучшаемые углеродистые и легированные стали подвергают закалке и высокому отпуску. Охлаждение при закалке и отпуске легированных сталей предпочтительнее в масле, углеродистых ввиду их низкой прокаливаемости – в воде и на воздухе соответственно.

Для обеспечения максимальной упругости рессорно-пружинные стали чаще всего подвергают закалке и среднему отпуску.

Охлаждение при отпуске нержавеющей сталей проводится, как правило, на воздухе.

В табл. 4.20 приведены процессы упрочняющей термической обработки ряда типичных деталей машин (станков, автомобилей, тракторов).

**4.20. Материалы и методы упрочнения ответственных деталей станков, автомобилей, тракторов**

Наименование деталей	Твердость поверхности	Толщина упрочненного слоя, мм	Материал	Метод упрочнения
1	2	3	4	5
Валы, работающие при изгибе, кручении, контактных нагрузках	217...285 НВ, 32...38 HRC, 45...52 HRC	Сквозная прокаливаемость	Стали 45, 40X, 40XГТР, 40X2HMA	Объемная закалка с высоким, средним и низким отпуском
	48...56 HRC	1,0...1,6	Стали 45, 40X, 50XФА	Поверхностная закалка с индукционным нагревом
Втулки, направляющие, гайки передач	58...62 HRC	Сквозная прокаливаемость	ШХ15, ШХ15СГ	Объемная закалка
Винты передач скольжения	54...58 HRC		ХВГ, 7ХГ2ВМ	
Шпиндели, игольчатые подшипники, втулки	45...55 HRC	1,0...1,8	45	Поверхностная закалка с индукционным нагревом
Червяки силовых вспомогательных передач	45...52 HRC	Сплошная прокаливаемость	40X, 50ХН	Объемная закалка

Продолжение табл. 4.20

1	2	3	4	5
Зубчатые колеса средненапряженные	48...54 HRC	2...3 ниже впадины зуба	40X	Поверхностная закалка с нагревом ТВЧ
Чугунные базовые детали	45...50 HRC	1,2...1,8	СЧ21-40, СЧ28-48	
Втулки, болты, гайки, шпильки	35...42 HRC	Сплошная прокаливаемость	Сталь 35	Объемная закалка с 850...860 °С с отпуском 440 °С
	267...313 НВ			То же, 600 °С
	187...241 НВ			То же, 640 °С
Штифты, гайки, втулки	241...269 НВ		45	Объемная закалка с 830 °С с отпуском 565 °С
	207...241 НВ			То же, 625 °С
	313...347 НВ			То же, 440 °С
Болты, винты, шпильки, гайки	347...406 НВ		40X	Объемная закалка с 840 °С с отпуском 520 °С
	241...285 НВ			То же, 630...680 °С
	267...313 НВ			То же, 600...650 °С
Пружины	42...48 HRC		65Г	Объемная закалка с 820 °С с отпуском 390 °С
Бамперы	Не измеряют	60С2	Объемная закалка с 900 °С с отпуском 430 °С	
Торсион капота автомобиля	50...54 HRC	45ХН2МФА	Объемная закалка с 870 °С с отпуском 300...350 °С	

Продолжение табл. 4.20

1	2	3	4	5
Коленчатый вал	52...62 HRC	3,5...6,5	45	Закалка ТВЧ
Скользящие вилки кардана	42...56 HRC	2,6...4,6		Закалка с отпуском 190 °С
Поршневые кольца	60...62 HRC	3...5	55	Закалка ТВЧ
Шаровые кольца	≥ 56 HRC	2,0...2,5	55, 40X	Закалка сферы
Коромысла клапанов	56...62 HRC	≥ 2	45 (50 ПП)	Закалка бойка

Термическая обработка чугунных изделий во многом такая же, как и стальных.

#### 4.8.3. Химико-термическая обработка в процессах восстановления деталей

В ряде случаев после операций восстановления геометрии и размеров деталей машин путем пластической деформации, наплавки, например низкоуглеродистой сварочной проволокой типа Св-08кп, гальванического железнения с целью придания поверхности максимальной твердости и износостойкости проводят ХТО, к примеру цементацию, цианирование или другие виды ХТО. В табл. 4.21 приведены такие примеры.

Как правило, после ХТО проводят термическую обработку, например закалку с низким отпуском, во избежание продавливания твердого диффузионного слоя.

В случае азотирования ХТО предшествует улучшение.

#### 4.9. Термическое оборудование

Все оборудование, используемое для термической обработки, делят на две группы: основное и вспомогательное.

К основному относят нагревательные печи, печи-ванны, закалочные баки, с помощью которых выполняют основные операции термической обработки; к вспомогательному – правильные прессы, контрольно-измерительные приборы и аппаратуру, оборудование для очистки поверхности и т.п.

4.21. Типичные примеры применения ХТО и восстановленных деталей машин

Детали	ХТО	Термическая обработка	Материал	Твердость поверхности, HRC <sub>3</sub> ,
Валы, пиноли и гильзы, шпиндели, зубчатые колеса, детали ручного тормоза (собачки, щеки, сухари и др.), кольца, вкладыши, золотники, детали передней подвески, ведомые и ведущие шестерни детали рулевого управления	Цементация	Закалка с низким отпускком (толщина упрочненного слоя 0,8...1,6 мм)	Сталь 15, 20, 20X, 18XГТ, 12XНЗА, 20XНЗА, 15XГТН2ТА, 20XН2ТА, 25XГТ, 30XГТ, 25XГНМ	56...62
Винты передач винт – гайка, гильзы, шпиндели, червяки, накладные направляющие, зубчатые колеса	Азотирование	Улучшение (закалка с высоким отпускком до азотирования)	20X3МВФ, 30X3МФ, 38X2МЮА, 40ХФА	60...68
Зубчатые колеса, втулки, шайбы, детали тормозной аппаратуры, силовых агрегатов (червяки, шестерни), шаровые пальцы, вкладыши, золотники, крестовины, сателлиты, валы коробки перемены передач	Нитроцементация	Закалка с низким отпускком	08, 10, 20, 35, 25XГТ, 25XГМ, 20XГНТР	58...62
Пальцы, втулки гусениц тракторов, втулки насосов, детали пресс-форм и др.	Борирование		Среднеуглеродистые и легированные стали с $\geq 0,4\% C$	2000 HV

4.22. Буквенное обозначение печей для нагрева и термической обработки

Обозначение	Первая буква		Вторая буква		Третья буква		Четвертая буква	
	Вид нагрева	Обозначение	Основной конструктивный признак	Обозначение	Характер среды	Обозначение	Отдельные особенности	
Г	Газовый	А	Карусельная	А	Азот	А	Агрегат	
С	Сопротивление	Б	Барabanная	В	Вакуум	Л	Лабораторная	
И	Индукционный	В	Ванна	Г	Металлы	В	Вертикальная	
Т	Пламенная	Г	Колпаковая	З	Защитная атмосфера	М	Механизированная	
		Д	Выдвижной под	М	Масло	Н	Непрерывного действия	
		Е	Подвесной конвейер	О	Окислительная атмосфера	П	Периодического действия	
		И	Пульсирующий под	П	Пар водяной – вода			
		К	Конвейерная	С	Соль (селитра)			
		Н	Камерная	Ц	Цементационный газ			
		П	Протяжная					
		Р	Рольганговая					
		Т	Толкательная					
		Ш	Шахтная					
		Э	Элеваторная					

Среди основного оборудования различают:

- по назначению – универсальные печи для проведения основных операций термической обработки, цементационные, печи специального назначения;
- по величине температуры – низко-, средне- и высокотемпературные;
- по тепловому источнику – твердотопливные, мазутные, газовые, электрические, индукционные;
- по характеру загрузки-выгрузки – камерные, шахтные, с выдвижным сводом, элеваторные, со съемным сводом и т.п.

В принятых условных обозначениях буквы обозначают вид нагрева, тип печи, среду и агрегатность (табл. 4.22), а цифры – активные размеры рабочего пространства в дециметрах в числителе (ширину, длину, высоту или диаметр и высоту) и максимальную допустимую рабочую температуру в сотнях градусов Цельсия в знаменателе. Например, СНЗА-5,0.10.3,2/10 означает: буквы – сопротивления (электрический), камерный, с защитной атмосферой, цифры – агрегат с размерами печного пространства 500 × 1000 × 320 мм с рабочей температурой до 1000 °С.

Для отпуска, отжига, закалки могут использоваться электропечи типов СТО, СТЗ, СКЗА, универсальные камерные электропечи типов СНО, СИЗ, шахтные электропечи типов СШО, СЩЗ, вакуумные типа СШВ, электрованны типов СВГ, СВС. Для ХТО широко используют шахтные безмуфельные электропечи типа СЩЦ для газовой цементации, типа США – для газового азотирования. Для индукционного нагрева применяют, например, специальные ламповые генераторы и установки.

Выбор типа нагревательного устройства зависит от ряда отмеченных в буквенных и цифровых обозначениях факторов (требуемой температуры, габаритных размеров обрабатываемых изделий, требуемой чистоты поверхности, производительности, характера производства, экономичности, экологичности и безопасности выполнения работ и др.).

## Глава 5

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ

### 5.1. Восстановление размеров, расположения, формы и шероховатости рабочих поверхностей

Действительные поверхности и профили сечений деталей отличаются от номинальных значений. Образующиеся при этом отклонения классифицируют следующим образом:

- нулевого порядка (отклонение размера  $\Delta d$ );
- первого порядка (отклонение расположения поверхности  $\Delta П$ );
- второго порядка (отклонение формы поверхности  $\Delta Ф$ );
- третьего порядка (отклонения, имеющие форму волнистости);
- четвертого порядка (шероховатость поверхности).

В порядке следования технологического процесса восстановления детали в первую очередь восстанавливают параметры расположения элементов деталей и их форму, затем точность линейных и угловых размеров и в заключение – шероховатость поверхностей.

#### 5.1.1. Восстановление расположения и формы поверхностей

Погрешность формы выражается неравенством соответствующих размеров детали в одном и том же сечении.

*Точность формы* цилиндрических поверхностей определяется точностью формы контура в поперечном (перпендикулярном к оси) и продольном сечениях. Параметры отклонения формы – овальность, огранка, чашечко- и седлообразность (корсетность), изогнутость оси, конусообразность и нецилиндричность. В поперечном круглом сечении элементарными отклонениями будут овальность и огранка, а комплексным отклонением для данного сечения является некруглость.

Для деталей с плоскими сопрягаемыми поверхностями установлены параметры погрешности формы – непрямолинейность и неплоскостность.

*Погрешности взаимного расположения* поверхностей следующие:

- отклонение от соосности двух или более поверхностей, которое определяется параллельным смещением осей или их перекосом;
- радиальное биение – разность наибольшего и наименьшего расстояний от проверяемой поверхности тела вращения до оси вращения. Параметр включает величину несоосности и погрешности формы в поперечном сечении;
- торцовое биение – разность между наибольшим и наименьшим расстояниями от торцовой поверхности до плоскости, перпендикулярной к оси вращения. Параметр измеряют на заданном (чаще наибольшем) диаметре торцовой поверхности;
- отклонение пересекающихся осей от правильного расположения, выражающееся отклонением от заданного угла между осями и величиной непересечения (скрещивания), определяемой как кратчайшее расстояние между осями, которые номинально должны пересекаться;
- отклонение скрещивающихся осей от правильного расположения, подразумевающее отклонение угла между осями и базовыми поверхностями, а также отклонения заданного расстояния между осями;
- непараллельность оси вращения и плоскости – разность наибольшего и наименьшего расстояний между осью вращения и прилегающей плоскостью на заданной длине;
- неперпендикулярность плоскостей, осей или оси и плоскости – отклонение угла между плоскостями, осями или осью и плоскостью. Если плоскости, оси или ось расположены под углом к плоскости, отличным от прямого, то определяются отклонения от этого угла.

Выбранный комплект технологических баз должен обеспечить при механической обработке в первую очередь точность относительных поворотов восстанавливаемых поверхностей (их параллельность или перпендикулярность), а только затем – относительные расстояния.

Погрешности относительного расположения и погрешности формы подчиняются закону Рэлея. Точность формы обработанных поверхностей зависит от жесткости металлорежущего оборудования, оснастки, обрабатываемой детали и точности рабочих движений, а точность взаимного расположения поверхностей – от выбора и смены технологических баз.

### **5.1.2. Восстановление размеров поверхностей**

На точность размеров восстанавливаемых деталей действует множество факторов систематического и случайного характера. *Систематические погрешности* определяются причинами или процессами, знание ко-

горых позволяет прогнозировать точность обработки в любой момент времени протекания технологического процесса. *Случайные погрешности* возникают в результате действия большого числа не связанных между собой факторов. Прогнозировать точность обработки конкретной детали в данном случае невозможно. Наиболее полно случайная погрешность определяется законом ее распределения. Если интенсивность влияния большого числа факторов на процесс обработки примерно одинакова, то случайная величина погрешности обработки подчиняется нормальному закону. Параметры этого закона – математическое ожидание случайной величины  $M(A)$ , равное

$$M(A) = \frac{1}{m} \sum_1^m A_i \quad (5.1)$$

(где  $m$  – объем выборки;  $A_i$  – элемент вариационного ряда размеров  $A$ ), и стандартное отклонение  $S$ , величина которого определяется из выражения

$$S^2 = \sum_1^m \frac{[A_i - M(A)]^2}{m-1}. \quad (5.2)$$

Под *размерной настройкой* понимают расположение формообразующих элементов режущей кромки инструмента относительно технологических баз обрабатываемой заготовки и ограничение длины рабочего хода. При размерной настройке резцов в расточных борштангах применяют приборы типа «наездник» (рис. 5.1). В корпусе 3 прибора установ-

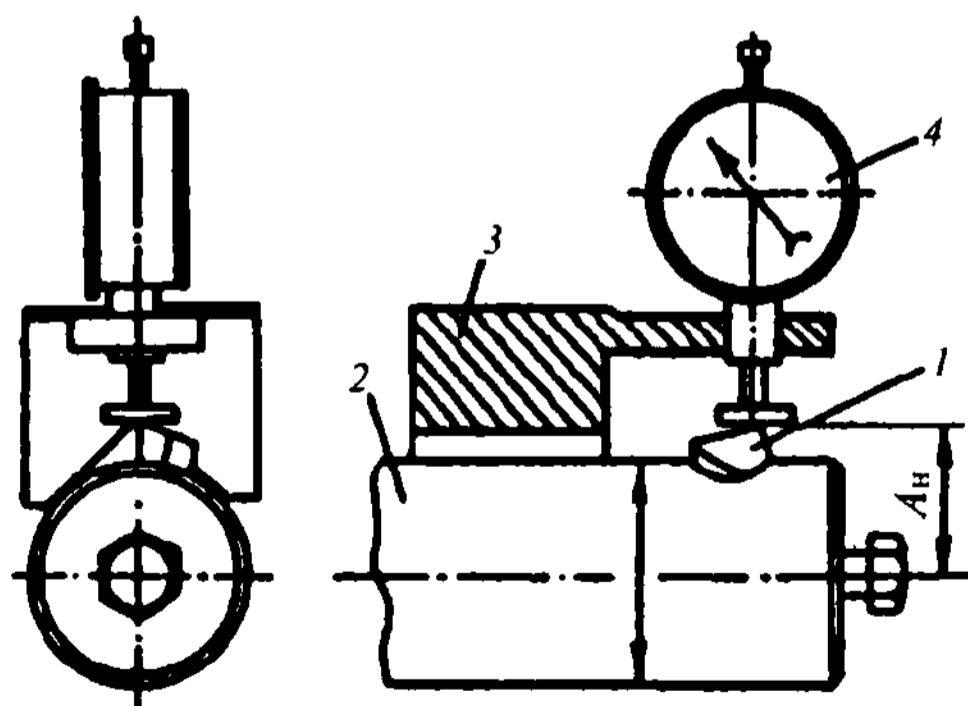


Рис. 5.1. Схема прибора для настройки резца на размер растачиваемого отверстия:

1 – резец; 2 – расточная борштанга; 3 – корпус; 4 – индикаторная головка



лена индикаторная головка 4 часового типа. Вылет резца корректируется его линейным перемещением после пробного растачивания отверстия его измерения.

Динамическая размерная настройка бывает единичной или на партию деталей.

*Единичная динамическая размерная настройка* ведется способом «пробных стружек» или «пробных проходов». В первом случае осуществляют обработку на длине детали, достаточной для измерения результата. После корректировки результата снова выполняют обработку на указанной длине и измеряют полученный размер. Если этот размер соответствует нормативу, то обрабатывают всю поверхность. Недостаток способа заключается в его низкой производительности и различии размеров детали на участке поверхности, где снимались пробные стружки, и остальной поверхности. Во втором случае обрабатывают не часть поверхности, а ее всю. И хотя при этом размер обработки одинаков по всей обрабатываемой поверхности, но существенно теряется производительность.

При *динамической размерной настройке* на партию деталей обеспечивают не только заданную точность, но и максимальную долговечность инструмента между коррекциями размерной настройки, которые выполняют несколько раз за период его стойкости. Основная причина, которая обуславливает эту коррекцию, — это изнашивание инструмента, из-за которого размер обработки систематически изменяется. Потребность в настройке такого вида возникает при обработке большого количества однотипных деталей (гильз, толкателей, пальцев и др.).

Размерная настройка ведется в три этапа: единичная настройка по первой заготовке; обработка первой партии из 5...10 заготовок; анализ результатов измерения деталей пробной партии и первая коррекция размерной настройки с целью так расположить в пределах поля допуска мгновенное поле рассеяния размера, чтобы получить максимальный запас на изнашивание инструмента.

При *статистическом регулировании точности* обработки на настроенном станке через определенные промежутки времени берут выборки деталей, обработанных последними в данном промежутке. Детали измеряют, а результаты измерений заносят в контрольную карту в виде точек. Если точки располагаются в заранее рассчитанных пределах, то технологический процесс протекает удовлетворительно. В случае выхода размеров за пределы контрольных границ необходимо корректировать размерную настройку. Таким образом, статистическое регулирование точности обработки дает возможность контроля и помогает избежать

брака при обработке, а также снизить трудоемкость контрольных операций, потому что вместо сплошного контроля применяют выборочный.

Условия применения статистического регулирования точности обработки следующие: массовое производство; наличие систематической нестационарной составляющей общей погрешности обработки; большой период размерной стойкости инструмента; достаточный запас точности операции, который характеризуется коэффициентом запаса точности  $K_{з.т}$ :

$$K_{з.т} = \frac{6\sqrt{D[X(i)]}}{TA}, \quad (5.3)$$

где  $TA$  – допуск на контролируемый размер;  $D[X(i)]$  – дисперсия.

Минимальное значение  $K_{з.т} = 1,2$ .

Стандартизован и применяется в промышленности *метод средних и размахов*. В этом случае готовят две точечные диаграммы (рис. 5.2), которые объединены в одну контрольную карту.

На точечной диаграмме средних отмечают верхнюю (ВТ) и нижнюю (НТ) технологические границы. При обработке шеек ВТ совпадает с наибольшим предельным размером, а НТ выше нижней границы допуска на

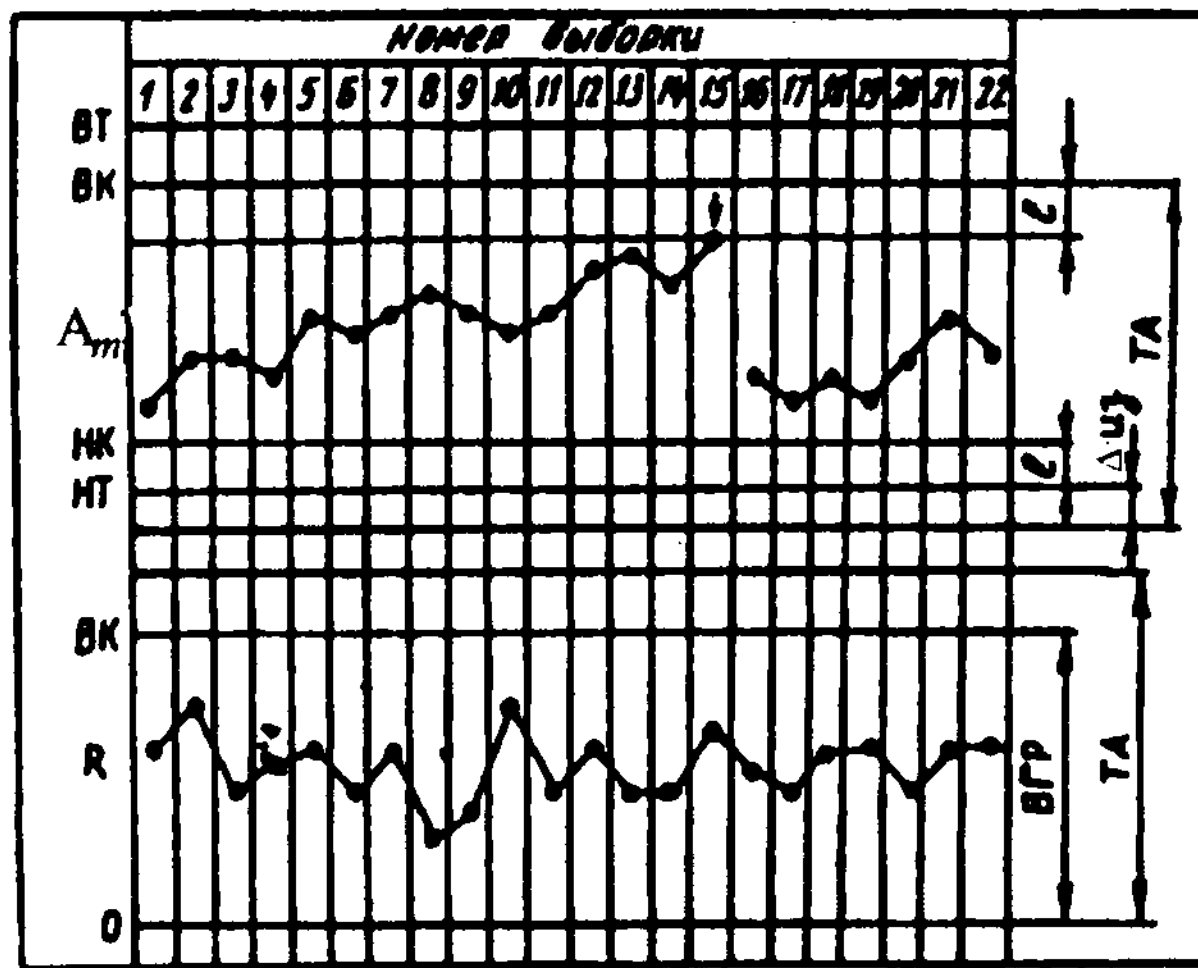


Рис. 5.2. Контрольная карта статистического регулирования методом средних и размахов

погрешность измерения. При обработке отверстий НТ совпадает с наименьшим предельным размером, а ВТ ниже верхней границы допуска на погрешность измерений  $\Delta_{из}$ . Обычно принимают  $\Delta_{из} = 0,1TA$ .

Допустимое поле изменения среднего арифметического  $A_m$  малой выборки ограничивается верхней (ВК) и нижней (НК) контрольными границами, которые отстоят от ВТ и НТ на одинаковом расстоянии  $l$ . В зависимости от значения  $K_{з.т}$  значение  $l$  выбирается по-разному. Если  $1,18 < K_{з.т} < 1,34$ , то  $l = KTA$ , где  $K$  – коэффициент, зависящий от размера выборки  $m$  следующим образом:

$m$ , ед.	4	5	6	7	8	9
$K$	0,25	0,276	0,296	0,311	0,322	0,334

Если  $K_{з.т} > 1,35$ , то значение  $l$  выбирается в зависимости от оценки мгновенного поля рассеяния, которая определяется в предварительных экспериментах.

На диаграмме размахов в пределах от нижней границы допуска до ВТ наносится одна верхняя граница размахов (ВГР), которая определяет допустимое значение размахов  $R = A_{max} - A_{min}$  в любой выборке. Если  $1,18 < K_{з.т} < 1,34$ , то  $ВГР = K_1TA$ , где  $K_1$  – коэффициент, зависящий от размера выборки следующим образом:

$m$ , ед.	4	5	6	7	8	9
$K_1$	0,780	0,815	0,840	0,860	0,875	0,890

Если  $K_{з.т} > 1,35$ , то значение  $l$  выбирается в зависимости от определенного заранее мгновенного стандартного отклонения размеров  $S$ .  $ВГР = K_2S$ , где  $K_2$  зависит от размера выборки:

$m$ , ед.	5	6	7	8	9
$K_2$	4,918	5,078	5,206	5,307	5,394

С позиций экономики выгодно увеличивать промежуток времени между взятием контрольных проб. Но при увеличении длительности межпроверочного периода возрастает вероятность брака. Оптимальное значение этого периода определяется экспериментально при внедрении технологического процесса со статистическим регулированием точности обработки.

### 5.1.3. Восстановление шероховатости поверхностей

*Шероховатость поверхностей* оказывает решающее влияние на износостойкость трущихся пар, сохранение зазора или натяга в сопряжениях, усталостную или циклическую прочность деталей при переменной нагрузке, коррозионную стойкость поверхностей и др.

Основные параметры шероховатости по ГОСТ 2789-81 – это среднее арифметическое отклонение профиля  $Ra$  и высота неровностей профиля по десяти точкам  $Rz$ . Параметр  $Ra$  дает более полную оценку шероховатости, так как для его определения измеряются и суммируются расстояния бесконечного множества точек действительного профиля до его средней линии, а при определении  $Rz$  измеряются расстояния только между вершинами и впадинами ограниченного количества точек. Параметр  $Ra$  применяют для измерения шероховатости со значениями 0,025...0,020 мкм включительно, а параметр  $Rz$  – 320...10 мкм включительно и 0,1...0,025 мкм включительно.

Все многообразие факторов, влияющих на шероховатость восстанавливаемых поверхностей, можно свести к трем группам – это причины, связанные: с геометрией процесса резания; пластической и упругой деформациями обрабатываемого материала; возникновением вибраций режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности.

Образование неровностей вследствие геометрических причин объясняют как копирование на обрабатываемой поверхности траектории движения и формы режущих лезвий и зерен. Форма и взаимное расположение неровностей в виде обработочных рисков определяются формой и состоянием режущих лезвий и теми элементами режима резания, которые влияют на изменение траектории режущих лезвий относительно обрабатываемой поверхности. В различных условиях обработки пластические и упругие деформации обрабатываемого материала и вибрации искажают геометрически правильную форму неровностей, нарушают их закономерное распределение на поверхности и в значительной мере увеличивают их высоту. В ряде случаев пластическое деформирование и вибрации вызывают продольную шероховатость, достигающую значительных размеров, и увеличивают поперечную шероховатость.

Увеличение подачи, главного  $\varphi$  и вспомогательного  $\varphi_1$  углов резца в плане приводит к росту высоты неровностей. При чистовом точении целесообразно пользоваться проходными резцами с малыми значениями углов  $\varphi$  и  $\varphi_1$ , при этом не следует без необходимости применять проходные резцы, возрастание радиуса закругления резца снижает высоту

шероховатости поверхности. Тщательная (желательно алмазная) доводка режущих поверхностей инструмента устраняет влияние его неровностей на обрабатываемую поверхность. Такая доводка заметно повышает стойкость инструмента.

При обработке пластичных материалов их поверхностный слой претерпевает пластическое деформирование, в результате которого значительно изменяются размеры (как правило, в бóльшую сторону) и форма неровностей поверхностей. При обработке хрупких материалов наблюдается вырывание частиц металла, что также приводит к увеличению высоты и изменению формы неровностей.

Наибольшее влияние на развитие пластической деформации при точении оказывает скорость резания. Малые скорости резания (до 1 м/мин) приводят к небольшому повышению температуры и способствуют образованию элементной стружки. Неровности на обработанной поверхности незначительны. При скоростях резания 20...40 м/мин наблюдается наибольшая шероховатость за счет наростообразования на резце. В зоне скоростей  $> 70$  м/мин нарост не образуется, а шероховатость поверхности оказывается минимальной.

При шлифовании в режиме полного самозатачивания зерен параметр шероховатости  $Ra$  увеличивается пропорционально увеличению номера зернистости абразивного материала.

Различные виды механической обработки обеспечивают следующие значения параметров шероховатости.

**Обработка цилиндрических наружных поверхностей.** Обдирочное точение обеспечивают шероховатость  $Rz$  320...40 мкм, чистовое  $Rz$  40...20 мкм и  $Ra$  1,5...1,25 мкм и тонкое  $Ra$  1,25...0,32 мкм. При грубом шлифовании получается шероховатость  $Ra$  1,5...1,25 мкм, чистовом  $Ra$  0,63...0,32 мкм и тонком  $Ra$  0,32...0,08 мкм. Средняя притирка дает шероховатость  $Ra$  0,32...0,16 мкм, а тонкая  $Ra$  0,08...0,04 мкм и  $Rz$  0,1...0,05 мкм. Обкатывание роликом обеспечивает шероховатость  $Ra$  0,16...0,04 мкм. Чистовое суперфиниширование дает шероховатость  $Ra$  0,08...0,04 мкм, а тонкое  $Rz$  0,1...0,05 мкм.

**Обработка цилиндрических внутренних поверхностей.** Обдирочное растачивание обеспечивает шероховатость  $Rz$  320...80 мкм, чистовое  $Rz$  40...20 мкм и  $Ra$  1,5...1,25 мкм и тонкое  $Ra$  0,63...0,16 мкм. Сверление  $Rz$  80...20 мкм. Черновое зенкерование дает шероховатость  $Rz$  80...20 мкм, а чистовое  $Rz$  20 мкм и  $Ra$  1,5...1,25 мкм. Чистовое развертывание обеспечивает шероховатость  $Ra$  1,25...0,63 мкм, а отде

лочное  $Ra$  0,63...0,16 мкм. При чистовом протягивании шероховатость  $Ra$  1,5...0,63 мкм, а отделочном 0,32...0,16 мкм. Внутреннее шлифование чистовое обеспечивает шероховатость  $Ra$  1,5...1,25 мкм, а тонкое  $Ra$  0,63...0,16 мкм. Калибрование шариком дает шероховатость  $Ra$  0,16...0,04 мкм. Средняя притирка дает шероховатость  $Ra$  0,32...0,16 мкм, а тонкая  $Ra$  0,08...0,04 мкм и  $Rz$  0,1...0,05 мкм. При предварительном хонинговании получается шероховатость  $Ra$  0,32...0,08 мкм, а окончательном  $Ra$  0,08...0,04 мкм.

**Обработка плоских поверхностей.** Обдирочное строгание обеспечивает шероховатость  $Rz$  320...80 мкм, чистовое  $Rz$  80...20 мкм и  $Ra$  1,5...1,25 мкм, тонкое  $Ra$  1,25...0,32 мкм. Цилиндрическое обдирочное фрезерование дает шероховатость  $Rz$  160...20 мкм и чистовое  $Rz$  40...20 мкм, торцовое обдирочное фрезерование  $Rz$  160...20 мкм и чистовое  $Rz$  40...20 мкм. Плоское грубое шлифование обеспечивает шероховатость  $Ra$  1,5...1,25 мкм, при чистовом и тонком  $Ra$  0,63...0,32 мкм. Средняя притирка дает шероховатость  $Ra$  0,32...0,16 мкм, а тонкая  $Ra$  0,08...0,04 мкм и  $Rz$  0,1...0,05 мкм.

Применяют качественный и количественный способы оценки шероховатости поверхности. Качественный способ основан на сравнении обработанной поверхности с образцом-эталоном или эталонной деталью. Количественный способ состоит в измерении шероховатости приборами контактного типа, которые делятся на *профилометры* и *профилографы*. Профилометры пригодны для измерения шероховатости  $Rz$  20...10 мкм и  $Ra$  2,5...0,02 мкм. У профилографа алмазная игла взаимодействует с зеркалом, на которое падает тонкий луч света. При перемещении по шероховатой поверхности игла и зеркало совершают колебания. Отраженный от зеркала луч света направляется через систему других зеркал на вращающийся барабан со светочувствительной бумагой, на которой записывается профилограмма, отображающая неровности с увеличением по вертикали в  $200...100\ 000^{\times}$  и по горизонтали в  $0,5...2000^{\times}$ . Записывающее устройство дает в прямоугольной системе координат значения параметров шероховатости  $Rz$  250...0,02 мкм и  $Ra$  60...0,05 мкм. Профилографы применяют для измерения шероховатости поверхностей ответственных деталей или образцов шероховатости в лабораторных условиях. Характеристики основных приборов для измерения шероховатости поверхностей, выпускаемых промышленностью СНГ, приведены в табл. 5.1.

### 5.1. Характеристики основных приборов для измерения шероховатости поверхностей

Тип	Параметр	Пределы измерения, мкм	Базовые длины, мм	Кратность увеличения	Условия контроля
Профилометр мод. 170621	$R_a$	0,02...10	1,5; 3; 6	—	Цеховые
		0,02...25	0,5; 1,25; 1,6; 4; 5		
Профилограф- профилометр мод. 280: профилограф профилометр	$R_a$	0,02...100	0,025; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5	По вертикали 500...200 000; по горизонтали 2...1000 (9 ступеней)	Цеховые и лабораторные
	$R_a$	0,02...25			
	$R_z$	0,2...100			
Профилограф- профилометр мод. 170311: профилограф профилометр	$R_a$	0,02...500	0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8; 10	По вертикали 100...100 000 (10 ступеней); по горизонтали 0,5...2000 (12 ступеней)	Лабораторные
	$R_a$	0,02...100			
	$R_z$	0,2...500			
Прибор светового сечения ПСС-2 ОРИМ-1 ПТС-1 ТПС-4М	$R_z$	0,8...40	0,25; 0,8; 2,5; 8	—	—
		0,4...40			
		40...320			
		63...1600	2,5; 8		

### 5.2. Восстановление износостойкости трущихся элементов

*Износостойкость* – это свойство покрытия (материала) оказывать в определённых условиях трения сопротивление изнашиванию. *Изнашивание* – это постепенное разрушение поверхностных слоев материала путем отделения его частиц под влиянием сил трения. Результат изнашивания называют *износом*. Его определяют по изменению размеров (линейный износ), уменьшению объема или массы (объемный или массовый износ).

Задача восстановления и обеспечения износостойкости детали решается рациональным выбором материала покрытия и способа его нане-

ления и обработки (разд. 3.2.2). При выборе покрытия необходимо учитывать, что износостойкость зависит не только от свойств материала покрытия, но и в значительной степени от условий работы детали. Условия работы (см. табл. 3.3) отличаются таким большим разнообразием, что не существует универсального износостойкого материала. Покрытие, устойчивое к изнашиванию в одних условиях, может катастрофически быстро разрушаться в других. Между износостойкостью и механическими свойствами материала (твердость, прочность и др.) нет прямой связи. Поэтому контроль только механических свойств поверхности восстановленной детали недостаточен.

Износостойкость покрытия в заданных условиях трения определяют экспериментальным путем. Триботехнические испытания материала покрытий и восстановленных деталей разделяют на лабораторные, стендовые и натурные. Наиболее полную и объективную информацию об износостойкости деталей дают производственные (натурные) испытания машин с восстановленными деталями.

Детали, подвергающиеся изнашиванию, подразделяются на две группы: 1) детали, образующие пары трения; 2) детали, изнашивание которых вызывает внешняя рабочая среда (жидкость, абразивные частицы, газ и др.). Требуемый уровень восстановления износостойкости деталей зависит от того, к какой группе принадлежит деталь.

Примерами деталей первой группы являются подшипники скольжения, детали цилиндропоршневой группы гидравлических, пневматических механизмов и двигателей внутреннего сгорания, а также зубчатые передачи. Характерные виды изнашивания деталей первой группы – абразивное (твердыми частицами, попадающими в зону контакта), адгезионное, окислительное, усталостное, фреттинг.

Деталь, работающая в трибопаре, является частью механизма. Ее износостойкость и ресурс должны быть согласованы с ресурсом всего механизма, т.е. ресурс детали должен быть кратен межремонтному ресурсу всего агрегата. Двукратное, а тем более трехкратное повышение износостойкости восстановленной детали по отношению к новой – чрезвычайно дорогая как технически, так и экономически задача. Целесообразным при восстановлении этих деталей является обеспечение износостойкости и ресурса, близких к новой детали.

Для деталей второй группы характерно отсутствие трибопары в традиционном понимании. Эти детали подвержены только разрушающему воздействию внешней среды. Для них типично абразивное изнашивание, например истирание почвой плужных лемехов, гидро- и газоабразивное



твердыми частицами, перемещаемыми жидкостью или газом; эрозионный поток жидкости или газа; кавитационное от гидравлических ударов жидкости. Интенсивность изнашивания этих деталей велика. Ресурс всего механизма лимитируется именно работоспособностью этой детали. Для этих деталей актуально не только восстановление, но и упрочнение. Степень повышения износостойкости восстановленных деталей будет равносильна повышению работоспособности всего агрегата.

Основными факторами, обеспечивающими износостойкость покрытия, являются:

- структура покрытия;
- геометрическое и физико-механическое состояния поверхностного слоя покрытия;
- совместимость материала покрытия с контртелом в паре трения.

Возможны два основных вида структур покрытий: гомогенные и гетерогенные. Наибольшее распространение в силу высоких эксплуатационных свойств получили гетерогенные покрытия и слои. Существуют следующие основные пути получения гетерогенных структур восстановительно-упрочняющих слоев и покрытий (см. рис. 3.3):

- создание эвтектических композиций;
- получение метастабильных пересыщенных твердых растворов с последующей гетерогенизацией при термической обработке;
- сохранение исходного композиционного строения частиц в покрытии при отсутствии их полного расплавления;
- введение дисперсной упрочняющей фазы в осаждаемое на изношенной поверхности гальваническое покрытие.

Износостойкость гетерогенного покрытия зависит от механических свойств, соотношения и формы расположения структурных составляющих покрытия (см. разд. 3.2.3). Высокой износостойкостью обладают гетерогенные покрытия, структура которых состоит из частиц твердой карбидной, боридной или нитридной фазы, удерживаемых в высокопрочной стальной, никелевой или кобальтовой матрице (см. табл. 3.19–3.23).

Геометрическое состояние поверхностного слоя покрытия определяется шероховатостью и наличием смазочных карманов поверхности. Резервуары смазочных карманов или резервуаров могут выполнять поры покрытия или размерные углубления на поверхности.

Износостойкостью покрытий можно управлять, изменяя их *пористость*. Поры выполняют роль резервуаров для смазочного вещества, которое по мере износа покрытия выдавливается из его объема и попадает в зону трения, способствуя восстановлению граничной пленки. На

более эффективно получение пористых покрытий газотермическим напылением. Эти покрытия для улучшения износостойкости дополнительно пропитывают смазочными веществами. Роль смазочных резервуаров в ряде случаев могут выполнять дискретные или непрерывные углубления на поверхности трения, получаемые накаткой. Примером является накатка поверхностей поршней из алюминиевого сплава, работающего в паре с поверхностью стального цилиндра.

Эффективным способом повышения износостойкости деталей в паре трения является изменение физико-механического состояния поверхностного слоя. Наиболее целесообразным способом такого изменения является *финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО)*. Сущность ФАБО состоит в том, что поверхность трения деталей покрывают тонким слоем латуни, бронзы или меди. Обрабатываемую поверхность обезжиривают, а перед нанесением покрытия покрывают глицерином или раствором на основе глицерина. Нанесение покрытия заключается во фрикционном натирании медного сплава на стальную поверхность (табл. 5.2). Натирают как металлические стержни и щетки, так и вращающиеся сферические или цилиндрические ролики. Толщина антифрикционного слоя латуни на стали при ФАБО 2...3 мкм, бронзы и меди 1...2 мкм. Шероховатость исходной поверхности должна быть около  $Ra$  2,5 мкм. Как правило, ФАБО несколько уменьшает шероховатость поверхности. При малых параметрах шероховатости поверхности ( $Ra$  0,63...0,08 мкм) ФАБО не изменяет их значений.

Покрытия, нанесенные способом ФАБО, обеспечивают положительный градиент механических свойств (мягкая пленка покрывает более твердую поверхность), увеличивают площадь фактического контакта и снижают силу трения, пластифицируют поверхность трения. Все это способствует лучшей прирабатываемости и более высокой износостойкости восстановленных деталей.

Важными составляющими физико-механического состояния поверхностного слоя являются значение и знак остаточных напряжений в поверхностном слое. Необходимо стремиться к получению сжимающих напряжений в покрытии.

Уровень и знак напряжений зависят от ряда факторов. Рассмотрим их.

1. Соотношение коэффициентов объемного расширения материала покрытия и основы. Для уменьшения растягивающих напряжений необходимо, чтобы коэффициент объемного расширения покрытия был не больше, чем у металла основы.

## 5.2. Параметры технологии нанесения покрытий способом ФАБО

Материал детали	Рабочая жидкость	Материал стержня	Параметры обработки				Область применения
			Давление прижима, МПа	Скорость обработки поверхности детали, м/с	Продольная подача, мм/об	Число ходов	
1	2	3	4	5	6	7	8
Сталь 30ХГСА	Глицерин	Латунь Л62	120...150	0,15...0,2	0,1...0,2	1...2	Малоподвижные тяжело нагруженные детали
Сталь 45		Медь, бронза БрОЦС 6-6-3, латунь Л62	80...100 60...80 40...70	0,15 0,2	0,2	3...4	
Сталь 12Х18Н9Т	10 мл ортофосфорной кислоты + 10 мл анилина + 50 мл глицерина	Латунь	70	0,1	0,08	2...3	Шейки валов
Сталь 35 (нормализация)	Глицерин						
Стали 30ХГСА, Х12М, ХВГ, 12Х18Н9Т	33 % глицерина + 67 % 10%-ного раствора HCl	Латунь Л62, бронза БрОФ-10-1	50...70	0,1...0,2	0,1...0,2	2...3	Золотниковые и плунжерные пары топливной аппаратуры двигателей

Сталь 38Х2МЮА азотиру- ванная; сталь с наплав- ленным слоем	40 % глице- рина + 60 % 10%-ного раствора НСІ	Латунь Л63	80...120	0,5...0,6	0,22	1...2	Детали цилиндро- поршневой груп- пы двигателей
							Резьбовые соеди- нения
Высоколе- гирован- ные стали, серый чу- гун	Глицерин + активатор	Латунь Л58	230...690	0,05...0,2	0,1...0,4	1...2	Гильзы цилиндров двигателей внут- реннего сгорания
							Валы, штоки гид- роцилиндров
Стали 45, 40Х, 65Г	Глицерин	Медь, латунь	80, 100	0,2	0,1	2...3	Валы, штоки гид- роцилиндров
Серый чу- гун							Валы двигателей
Перлитный чугун	Глицерин + активатор	Латунь	70	0,3	0,2	-	Гильзы цилиндров дизель-генераторов
Серый чу- гун							Латунь Л63

2. Режимы окончательной механической обработки. Для уменьшения растягивающих напряжений требуется, чтобы нагрев детали при окончательной механической обработке был минимальным. В этом случае упрочнение от сил резания в поверхностном слое сформирует сжимающее напряжение в поверхностном слое покрытия.

3. Наличие поверхностной пластической деформации (ППД). Наклеп поверхности при ППД обеспечивает формирование сжимающих напряжений в поверхностном слое. Чем выше твердость, тем значительнее эффект от обработки ППД. Например, для поверхности детали из стали 45 при усилии обкатки 2250 МПа достигаются сжимающие напряжения 400...500 МПа на глубине до 1,0 мм.

Длительная устойчивая работа сопряженных деталей трения требует их совместимости. Под *совместимостью* понимают свойства материалов предотвращать схватывание при работе без смазочного материала или в условиях нарушения сплошности масляного слоя и обеспечивать высокую износостойкость пары трения. Совместимость деталей достигается рациональным подбором материала покрытия. Ниже приведены некоторые правила сочетания материала в паре трения (по Д.И. Гаркунову).

1. Сочетается твердый материал с мягким, который имеет температуру рекристаллизации ниже средней температуры поверхности трения при работе. Такое сочетание хорошо противостоит заеданию и высоконадежно. Поэтому при восстановлении шеек валов подшипников скольжения необходимо стремиться обеспечивать высокую твердость поверхности вала.

2. Сочетается твердый материал с твердым (сочетание пар из азотированной, хромированной и закаленной сталей). Такие пары трения обладают высокой износостойкостью из-за малого взаимного внедрения поверхностей. Нанесение приработочных покрытий повышает их надежность. Высокая жесткость этих пар трения требует повышения точности изготовления и сборки и минимальной шероховатости сопрягаемых поверхностей. Эффективным для этих пар трения является ФАБО.

3. Следует избегать сочетания мягкого материала с мягким, а также пар из одноименных материалов (незакаленная сталь по незакаленной стали, алюминиевые сплавы друг по другу, медный сплав по алюминиевому сплаву). Подобные пары имеют низкую износостойкость и ненадежны в работе. При незначительных перегрузках в парах образуются очаги схватывания и происходит глубинное вырывание материалов со взаимным налипанием на поверхности трения.

### 5.3. Восстановление прочности деталей и герметичности их стенок и стыков

#### 5.3.1. Восстановление прочности материала детали

Повреждения, приводящие к нарушению прочности стенок панелей и корпусных деталей, в том числе и в нагруженных их частях, представляют собой трещины, разрывы и пробоины. Применяют сварку трещин, установку и закрепление дополнительных ремонтных деталей, установку фигурных вставок.

При восстановлении *прочности* учитывают материал детали, размеры повреждения и другие факторы. Качество присадочного материала при газовой сварке в большой степени определяет прочность сварочного соединения. Металл присадочного прутка по своим химическим и физико-механическим свойствам должен быть примерно таким, как и металл детали, и отличаться в сторону увеличения легкоокисляющихся элементов.

#### 5.3.2. Устранение трещин и пробоин в стенках детали

Трещины устраняют расплавлением их стыков с нанесением расплавленного металла сваркой, установкой стяжных вставок и заклеиванием полимерными композициями. На пробоины стенок устанавливают накладки (металлические и стеклотканевые), которые закрепляют сваркой или клеем. Способы сварки и установки стяжных вставок были рассмотрены в разд. 3.9.3 и 3.9.4.

Нанесение клеевых полимерных композиций отличается простотой, небольшой трудоемкостью и не требует сложного оборудования. Эти композиции образуют с поверхностью восстанавливаемой детали прочное соединение.

Наибольшее распространение в ремонте получили *эпоксидные композиции* на основе эпоксидных смол. Под эпоксидными смолами понимают полимеры, содержащие в своих молекулах эпоксидные группы  $\text{CH}_2\text{—O—CH}$ , которые обладают высокой реакционной способностью. Сырьем для производства смол служат газы (дифенилонпропан и эпихлоргидрин) – продукты нефтепереработки. Эпоксидные смолы представляют собой вязкие жидкости, требования к ним регламентированы ГОСТ 10587–76 (табл. 5.3).

## 5.3. Основные виды эпоксидных смол

Марка	Средняя молекулярная масса, г/моль	Содержание эпоксидных групп, мас. %
ЭД-14	540...620	13,9...15,9
ЭД-16	480...540	16,0...18,0
ЭД-20	390...430	19,9...22,0
ЭД-22	≤ 300	21,1...23,5

Наибольшее применение получила смола ЭД-16. Смолы ЭД-20 и ЭД-22 менее вязки и применяются для заделки тонких трещин. Последние смолы обладают большими прочностью на изгиб и ударной вязкостью, но имеют значительную усадку, что снижает прочность их соединения с металлом.

Неотвержденные эпоксидные смолы легко растворяются в органических растворителях (ацетоне, толуоле и др.) и в таком состоянии имеют ограниченное применение, например для стабилизации поливинилхлорида. Ценные физико-механические свойства эпоксидные смолы приобретают в отвержденном состоянии. При взаимодействии с аминами и кислотами эти смолы при затвердевании приобретают значительные теплостойкость и прочность.

*Отвердители* смол делятся на две группы: холодного (16...20 °С) и горячего (100...200 °С) отверждения. К первой группе относятся: полиэтиленполиамин (ПЭПА), этилендиамин, гексаметилентриамин и другие отвердители. Во вторую группу входят: ангидриды декарбоновых кислот (малеиновый, фталевый и др.), ароматические амины (триэтаноламин, метафенилендиамин и др.) и амины кислот (дициандиамин). Характеристика наиболее распространенных отвердителей для смолы ЭД-16 приведена в табл. 5.4.

*Пластификаторы* добавляют в эпоксидные смолы для придания композициям эластичности, так как отвержденные смолы довольно хрупки, не выдерживают вибраций и ударов. Жидкие пластификаторы снижают начальную вязкость состава, повышают его жизнеспособность, облегчают введение в него наполнителей, снижают теплостойкость и склонность к старению. В качестве пластификаторов используют высокомолекулярные малолетучие жидкости: дибутилфталат (ДФБ), диэтилфталат, трикрезилфосфат, низкомолекулярные полиамидные смолы Л-18, Л-19 и Л-20. Режимы отверждения некоторых эпоксидных составов приведены в табл. 5.5.

## 5.4. Характеристика отвердителей

Отвердитель	Содержание в композиции, мас. %	Температура плавления, °С	Температура отверждения, °С
ПЭПА	9...12,6	10	20...120
Гексаметилендиамин	9...13,5	42	20...120
Малеиновый ангидрид	27...40	63...64	120...150
Фталевый ангидрид	43...62	131,6	120...180
Дициандиамин	7...8	200...205	180...200

5.5. Режимы отверждения  
эпоксидных составов на основе эпоксидной смолы ЭД-16

Отвердитель	Температура отверждения, °С	Время отверждения, ч	
		минимальное	оптимальное
ПЭПА	20	24	70...160
	40	8...10	45...50
	60	2...3	20...24
	80	1...1,6	5
	100	1	3
Фталевый ангидрид	15	20	60
	30	15	45
	50	10	30
	100	7	20
	180	0,5	1
	200	0,5	0,7

*Наполнители* в виде тонкоизмельченных порошков вводят в эпоксидный состав для снижения внутренних напряжений из-за разности коэффициентов термического расширения составляющих материалов, уменьшения усадки, лучшего заполнения зазоров, регулирования вязкости, повышения электро- и теплопроводности и снижения стоимости состава. Виды и условия применения некоторых наполнителей даны в табл. 5.6.



**5.6. Рекомендуемое количество наполнителей (г на 1 г смолы)  
для приготовления эпоксидной композиции**

Наполнитель	ЭД-16	ЭД-20
Железный порошок	2,00	1,60
Графит	0,80	0,40
Алюминиевая пудра	0,25	0,20
Бронзовая пудра	1,30	0,80
Кварцевая мука	2,30	1,50
Портландцемент	2,00	1,20
Измельченный асбест	1,00	0,85
Белая сажа	Не содержится	0,35
Фарфоровая мука	1,50	1,45

Свойства основных составов эпоксидной композиции приведены в табл. 5.7.

Процесс приготовления эпоксидной композиции следующий. Смолу разогревают при температуре 60...70 °С до жидкого состояния и в нее вводят необходимое количество пластификатора. После тщательного перемешивания веществ в смесь добавляют наполнитель и непосредственно перед употреблением – отвердитель. В течение 25...30 мин после введения отвердителя композиция должна быть использована. Эпоксидные композиции относятся к термореактивным пластмассам, которые при нагревании переходят в неплавкие и нерастворимые вещества. Токсичная во время приготовления композиция становится безвредной после ее полного отверждения.

Области применения эпоксидных композиций следующие (табл. 5.8). Составы 3, 4 и 8 применяют для заделки трещин и пробоев на стенках корпусных деталей, трещин на стенках емкостных деталей (баков, радиаторов) и герметизации мест сварки или пайки. Внутренние трущиеся поверхности втулок и вкладышей восстанавливают составами 5, 6 и 7. Изношенные шейки валов или опоры подшипников в корпусных деталях ремонтируют посредством составов 6, 7 и 8. Износ наружных поверхностей втулок и резьб устраняют составами 1, 2, 3 и 9. Трещины и пробойны в аккумуляторных батареях и электроизолирующих деталях заделывают составом 3.

## 5.7. Физико-механические свойства эпоксидных составов

Компонент	Массовая доля	Предел прочности, МПа		Твердость по Бринеллю, МПа	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	Теплостойкость по Мартенсу, °С
		Сжатие	Изгиб			
ЭД-16 ДБФ Железный порошок ПЭПА	0,351 0,053 0,561 0,035	54...60	40...45	120...150	4,0...5,0	60
ЭД-16 ДБФ Портландцемент ПЭПА	0,400 0,080 0,480 0,040	45...60	30...35	110...130	1,5...3,0	50
ЭД-16 ДБФ Графит ПЭПА	0,690 0,069 0,172 0,069	46...57	25...32	130...170	2,0...3,0	59
ЭД-16 Полиэфир Графит Малеиновый ангидрид	0,540 0,054 0,190 0,216	110	46,4	130...160	4,0	68
ЭД-16 ДБФ Каолин Малеиновый ангидрид	0,546 0,055 0,180 0,219	156	65,5	130...160	2,0	56
ЭД-16 ДБФ Титановые белила Малеиновый ангидрид	0,654 0,065 0,216 0,065	200	80	213	4,5	85
ЭД-16 ДБФ Цемент-500 ПЭПА	0,422 0,042 0,506 0,030	45...60	35...50	110...130	2,0...3,5	50

## 5.8. Составы композиций на основе эпоксидных смол

№ п/п	Количество компонентов, мас. части				Свойства		
	Эпоксидная смола		ДФФ	ПЭПА		Наполнитель	
	ЭД-16	ЭД-20					
1	100	—	15...20	10...11	—	Маловязкая композиция	
2	—	100	10...15	12...13			
3	100	—	15...20	10...11	Молотая слюда 40	Высоковязкие композиции, не стекающие с наклонных поверхностей	
4			20		Молотая слюда 40; алюминиевая пудра 5; белая сажа 35		
5			15		Графит 40...50		Хорошая теплопроводность, низкий коэффициент трения, высокий модуль упругости
6			15...20		Железный порошок 120; графит 20		
7	—	100	10	12...13	Стальной порошок 150; графит 25		
8	100	—	15...20	10...11	Железный (чугунный) порошок 150	Высокий модуль упругости	
9			45	9	—	Высокая адгезионная и когезионная прочность	

Порядок устранения пробоин следующий. Изготавливают металлическую накладку толщиной 0,5...0,8 мм из расчета, чтобы она перекрывала границы пробоины на 15...20 мм со всех сторон. Вырезают также лоскуток стеклоткани, размеры которого соответствуют размерам наклейки. Зачищают поверхность наклейки и восстанавливаемой детали, чтобы

границы зачищенной поверхности детали выходили за контур накладки. На зачищенной поверхности детали делают насечки зубилом и обезжиривают соприкасающиеся поверхности.

На мазеобразную пластмассу, покрывающую трещину, накладывают полосу стеклоткани, которую закрывают накладкой из стали с нанесенным компаундом. Накладку прикатывают роликом и оставляют соединение до затвердевания состава.

### 5.3.3. Клеевые композиции

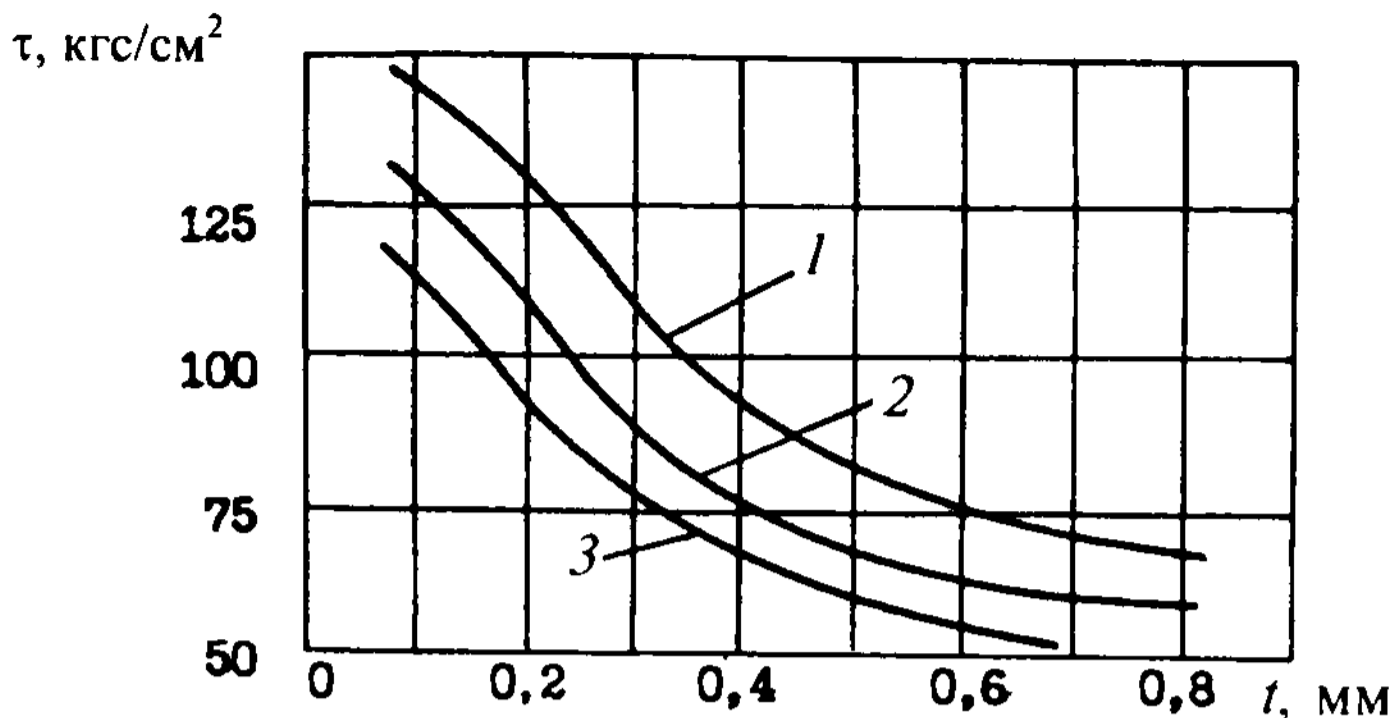
Клеи в ремонтном производстве применяют для склеивания металлов как между собой, так и с другими материалами. Клеевой слой является изолирующей прокладкой, поэтому склеивание металлов с различными электродными потенциалами не вызывает возникновения очагов контактной коррозии.

Адгезия поверхностей при склеивании обеспечивается главным образом силами притяжения друг к другу полярных молекул и возникновением двойного электрического слоя на границе материалов. Молекулы стремятся занять такое положение, чтобы положительные и отрицательные заряды их были нейтрализованы. При этом условии потенциальная энергия на поверхности соприкосновения материалов минимальна и всякое изменение этого положения требует значительных усилий. Для большинства синтетических клеевых материалов наиболее распространена ковалентная связь. Кроме того, длинные полимерные молекулы проникают в трещины и поры металла, это явление ускоряется при нагревании материала и сближении соединяемых поверхностей.

Прочность клеевого соединения зависит от толщины его слоя (рис. 5.3). Прочность тем выше, чем тоньше клеевая пленка. Такое повышение прочности склеивания объясняется ориентирующим влиянием твердой поверхности на формирование клеевых волокон. Для большинства клеев оптимальная толщина пленки 0,05...0,25 мм.

При ремонте машин для склеивания металлов, неметаллов и их сочетаний широко применяют следующие клеи:

- фенольно-поливинилацетальные – БФ-2, БФ-4, в том числе с кремнийорганическими и другими добавками – ВС-10Т и ВС-350;
- фенольно-каучуковые – ВК-3, ВК-4, ВК-13, ВК-32-200;
- кремнийорганические – ВК-2, ВК-8, ВК-10, ВК-15, К-300;
- эпоксидные – ВК-32ЭМ, ВК-1, ВК-1МС, ВК-9, К-153, КЛН-1, эпоксида П и Пр;
- полиуретановые – ПУ-2, ВК-5;



**Рис. 5.3.** Зависимость прочности клеевого соединения  $\tau$  при сдвиге (клей ПУ-2 на дюралюминии) от толщины  $l$  клеевой прослойки:  
1 – 3 – при 60; 20 и –60 °C соответственно

- метилполиамидно-фенольный – МПФ-1;
- фенольно-формальдегидный – ВИАМ-БЗ;
- на основе наиритового каучука и фенольной смолы – 88 НП.

Клеи выпускают в готовом к использованию виде или в форме компонентов, смешиваемых перед употреблением.

Для склеивания металлов между собой и с неметаллами применяют клеи: БФ-2, БФ-4, ВС-10Т, ВС-350, ВК-3, ВК-4, ВК-13, ВК-32-200, ВК-2, ВК-8, ВК-10, ВК-32ЭМ, ВК-1, ВК-1МС, ВК-9, К-153, КЛН-1, эпоксины П и Пр, ПУ-2, ВК-5, МПФ-1.

Для склеивания тканей и приклеивания различных материалов к металлам используют клеи ВК-32-200, 88 НП. Резину к металлам приклеивают клеями 88 НП и лейкоканат.

Процесс склеивания деталей включает такие операции: подготовку склеиваемых поверхностей, нанесение клея, выдержку поверхностей в открытом положении, сборку, выдержку под давлением, выдержку вне пресса, обработку шва, проверку качества.

Подготовка склеиваемых поверхностей заключается в подгонке их друг к другу, очистке и придании им необходимой шероховатости. Плотная подгонка поверхностей делается с целью создания условий для молекулярного взаимодействия между клеем и склеиваемыми поверхностями при оптимальной толщине клеевой пленки. Грязь, масло и жиры тщательно удаляют с поверхности органическими растворителями. Это создает условия для повышенной адгезии с металлом промежуточных слоев клеевой композиции. Фактическую площадь склеивания увеличивают

механической обработкой (резанием лезвийным инструментом или абразивной шкуркой, дробеструйной обработкой) или травлением в водных растворах кислот и их солей.

Качество клеевого шва в значительной степени зависит от условий нанесения клея. Исходное состояние клеев различно: жидкое, пастообразное, твердое, в виде пленки, порошка, прутка, а поэтому и способы их нанесения на склеиваемые поверхности различные.

Качество склеивания контролируется выборочно путем измерения механических характеристик шва.

#### 5.3.4. Уплотнение стыков

Для уплотнения стыков деталей применяют *герметизирующие пасты и прокладки*.

Невысыхающие пасты и замазки УН-01 и У-20 выпускают на основе полиизобутилена. Герметики 14НГ-1 и 14НГ-2 изготовляют на основе этиленпропиленового каучука. Материал У-20А применяют для герметизации резьб, заклепочных соединений, резины со стеклом, сопряжений типа водяной патрубков – впускная труба и корпус водяного насоса – крышка. Материал УН-25 повышает маслостойкость прокладок. Уплотняющие материалы обладают противозумными и антикоррозионными свойствами.

Эластосил 137-83 вулканизируется при контакте с влагой воздуха, при этом образуется резиноподобный материал (диапазон рабочих температур  $-60...+30$  °С). Средство применяют для неподвижных соединений, работающих в водяной, воздушной и масляной средах.

Посадку гильз в блоке цилиндров уплотняют силиконовым герметиком КЛТ-30Б. Использование эластомера ГЭН-150 перспективно для восстановления натягов и герметизации соединений.

Для уплотнения стыков в узлах машин служит новый вид герметизирующего материала – жидкие уплотняющие прокладки. Применение их повышает надежность соединений при одновременном снижении расхода традиционных прокладочных материалов. Они представляют собой вязкие массы или пасты на основе полимеров (полиэтилена, полиизобутилена, поливинилхлорида, поливинилбутираля, силиконовых или бутадиен-акрилонитрильных каучуков), содержащих необходимые добавки. Прокладки обладают высокой стойкостью к вибрациям и ударам, они могут применяться в широком диапазоне температур и давлений, не вызывая коррозии в процессе эксплуатации.

## Глава 5. ВОССТАНОВЛЕНИЕ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ

прокладки ГИПК (Государственного института полимерных клеев, не прикипают к уплотняемому соединению, а после разборки легко удаляются с поверхности разъема. Удельный расход материала составляет 200...400 г/м<sup>2</sup>.

Жидкие прокладки по сравнению с твердыми свободно меняют форму и легко заполняют все микродефекты уплотняемых поверхностей, тем самым обеспечивая полную герметизацию стыка. Это снижает требования к пригонке сопрягаемых поверхностей, износ соединений и удоемкость их восстановления.

Жидкая уплотняющая прокладка ГИПК-242 предназначена для герметизации неподвижных стыков деталей, работающих в водяной, паровой и воздушной средах. Жидкая уплотняющая прокладка ГИПК-244 применяется для герметизации неподвижных соединений деталей и узлов, работающих в воздушной, водяной, паровой, кислотной и маслобензиновой средах. Прокладка ГИПК-244А служит для герметизации фланцевых соединений с рабочим давлением до 0,6 МПа и штуцерных соединений с рабочим давлением до 4 МПа. Прокладка ГИПК-244Б уплотняет соединения, работающие под давлением 8...15 МПа; при этом рабочие поверхности могут иметь коррозионный износ и неустраняемые зазоры > 0,2 мм.

Жидкие прокладки вначале разогревают до температуры 80 °С, а затем их наносят тонким слоем на одну из сопрягаемых поверхностей с помощью шпателя. Составы наносят слоем до 0,5 мм.

Жидкая прокладка ВАТТ-3 (промышленная марка КЛТ-75), разработанная на основе самовулканизирующегося низкомолекулярного силосанового каучука, затвердевает в течение 10 мин. Агрегат, в котором герметизировано соединение с помощью этого материала, допускается к работе через 20...30 мин после его нанесения. Работоспособность этой прокладки сохраняется в течение 3 лет, а длительность хранения > 5 лет. Она заменяет картонные, паронитовые и резиновые прокладки, а в отдельных случаях асбестовые, пробковые и фибровые материалы. Жидкая прокладка ВАТТ-3 позволяет восстанавливать поврежденные металлоасбестовые прокладки, шланги и изоляцию электрических проводов. Для уплотнения стыков, резьб и пропитки стенок с течами применяют Локтайт сер. 500. Локтайт 510 служит для уплотнения плоских поверхностей, Локтайт 542 – для уплотнения соединений гидравлических трубопроводов, Локтайт 573 – универсальный материал для уплотнения различных поверхностей, а Локтайт 577 – для уплотнения трубных резьб.

#### 5.4. Восстановление усталостной прочности элементов детали

Знакопеременную нагрузку воспринимают вращающиеся валы, детали подвесок и кузовов. Среди вращающихся деталей наиболее подвержены усталостному разрушению коленчатые валы. Усталостные повреждения в них накапливаются из-за кратковременных перегрузок двигателя, неравномерного износа шеек, неравномерной подачи топлива в цилиндры и несоосности коренных опор блока цилиндров, что приводит к нагрузкам на детали, превышающим расчетные. Усталостные повреждения вначале проявляются в виде микротрещин, которые превращаются в макротрещины.

Усталостные разрушения развиваются с поверхностного слоя. Поэтому предел выносливости в отличие от других прочностных характеристик (жесткости, пределов упругости, текучести и прочности) во многом зависит от состояния поверхности детали. Уменьшение шероховатости контактирующих поверхностей повышает предел выносливости детали, а также снижает удельные нагрузки в сопряжении, а значит, и изнашивание трущихся поверхностей.

Предельно изношенные коленчатые валы по сравнению с новыми деталями имеют следующие значения относительного *остаточного предела выносливости*: Д-240; СМД-14; ЯМЗ-236 (238) и СМД-60 соответственно 0,79; 0,75; 0,70 и 0,83. Значения этой величины для деталей, шлифованных последовательно под ремонтные размеры, находятся в пределах 0,77...0,94. Новые коленчатые валы двигателя Д-50, шлифованные сразу под четвертый ремонтный размер, теряют 9,7 % предела выносливости. Следовательно, в большей степени усталостная прочность коленчатого вала снижается при эксплуатации в связи с накоплением усталостных повреждений в опасных сечениях.

Влияние способа восстановления коленчатых валов на усталостную прочность коленчатых валов Д-240, СМД-14 и А-41 приведено в табл. 5.9.

Как правило, усталостные трещины у дизелей находятся в зоне перехода галтелей щеки вала в плоскости кривошипа, а у карбюраторных двигателей – в центральной части шеек в зоне маслопроводных отверстий. Опасную нагрузку у дизеля создает изгибающий момент, а у карбюраторного двигателя – крутящий. Более половины трещин расположено на шатунных шейках.



5.9. Коэффициент выносливости  $k_B$  стальных коленчатых валов

Техническое состояние, технологические способы	$k_B$
Новые:	
– упрочненные обкаткой роликом	1,21
– после холодной правки	0,89
Предельно изношенные	0,81
Наплавленные порошковой проволокой ПП-3Х2В	0,77
Наплавленные проволокой Нп-30ХГСА под слоем флюса с последующими нормализацией, закалкой ТВЧ, отпуском, упрочнением галтелей ППД*	1,09
То же, без упрочнения галтелей	0,90
Наплавленные проволокой Нп-65Г с последующими нормализацией, закалкой ТВЧ, низким отпуском, упрочнением галтелей ППД	0,98
То же, без упрочнения галтелей	0,83

\* Поверхностное пластическое деформирование.

Трещины в зависимости от места их расположения оказывают разное влияние на предел выносливости коленчатого вала дизельного двигателя. *Опасны трещины*, находящиеся: на галтелях шеек и на их цилиндрической части на расстоянии  $< 6$  мм от торцев щек; на кромках отверстий масляных каналов при длине  $> 15$  мм, расположенные под углом  $30^\circ$  к оси шейки; на расстоянии  $< 10$  мм друг от друга. Детали с перечисленными повреждениями подлежат выбраковке. *Неопасными* являются: продольные трещины (не более трех) длиной  $> 5$  мм на поверхности каждой коренной шейки; не выходящие в зону галтели и находящиеся на расстоянии  $> 10$  мм друг от друга; расположенные под углом  $< 30^\circ$  к оси вала.

Шлифование шеек карбюраторных двигателей удаляет поверхностные слои с усталостными повреждениями, а нанесение покрытий разгружает наиболее напряженные слои металла. Все это способствует восстановлению их ресурса. Однако полностью снять шлифованием разрушенные слои металла коленчатых валов дизельных двигателей в зоне галтелей затруднительно, поэтому их ресурс целиком восстановить не удастся.

Трещины, отнесенные к разряду безопасных, подлежат разделке абразивным кругом по всей длине для образования канавки радиусом 1,5 мм и глубиной 0,2...0,4 мм, т.е. заведомо меньшей, чем глубина залегания трещины. Острые кромки следует притупить по периметру. Трещина не появится вновь при эксплуатации детали, если в зоне канавки будет создан наклеп. Ложе канавки у разделанной трещины упрочняют виброударным инструментом в течение 5...8 с для создания сжимающих напряжений. Наклеп проводят с помощью пневматического инструмента (марок 57, КМП14М, КМП-2М) с энергией удара 2,5...5 Дж. Местное упрочнение является эффективной мерой по восстановлению нарушенного упрочненного слоя после снятия уставшего металла в зоне концентраторов напряжений.

*Усталостная прочность* зависит от поверхностной прочности, наличия в поверхностных слоях остаточных напряжений сжатия и микрогеометрии поверхности.

Для повышения усталостной прочности восстанавливаемой шейки рекомендована наплавка ее цилиндрической части и галтели проволоками разного химического состава. Так, галтель наплавляют проволокой Св-08 под флюсом АН-348, а цилиндрическую часть – проволокой Нп-30ХГСА под смесью флюсов (30 % АН-348 + 70 % АНК-18). При этом твердость металла имеет значения соответственно 20...24 и 50...56 НРС. Предусмотрена наплавка цилиндрической части шейки вала, исключая галтель. В этом случае применяют порошковую проволоку ПП-АН-122 или ПП-АН-128, проволоку Нп-30ХГСА и смесь флюсов АН-348 и АНК-18. После наплавки зону галтелей шлифуют по радиусу, равному радиусу скругления у нового вала, с углублением в тело шейки на 0,4...0,5 мм. Полезно зону галтелей после шлифования обработать дробью. Перед установкой и приваркой дополнительной ремонтной детали в виде стальных закаленных полуколец на шейки коленчатого вала из высокопрочного чугуна необходимо нанести разгружающие выточки на галтелях в плоскости, перпендикулярной плоскости кривошипа.

Усталостную прочность восстанавливаемых деталей повышают наклепом, который создает в поверхностном слое металла сжимающие остаточные напряжения. Применяют следующие виды механического упрочнения поверхностей деталей: обкатывание, дробеструйную и центробежную обработку, чеканку, выглаживание.

Механическое упрочнение рекомендуется и для повышения усталостной прочности элементов деталей, восстановленных наплавкой, гальваническими покрытиями и напылением. В ходе поверхностного пластического деформирования значительное число трещин, находящихся-

ся в поверхностном слое, смыкается, а объем этого слоя становится цельным. Поверхностный наклеп выравнивает значения физических свойств различных участков поверхности, местные напряжения подавляются вновь созданными сжимающими напряжениями, которые повышают предел выносливости материала. Его логично влиять на поверхность выхаживание при шлифовании. Его ходимо заканчивать раньше, чем будет снят натяг в технологическом процессе шлифования.

Наибольшее применение нашло обкатывание роликами. В качестве оборудования служат станки, имеющие механические продольную и поперечную подачи. При обкатывании поверхности в контакте с роликом обычно подпружинен и прижимается к детали усилием поперечной подачи. При обкатывании колочатого вала двигателя между инструментом и деталью имеет место трение качения.

Повышения предела выносливости в результате обкатывания галтелей производится фильным подпружиненным роликом, изготовленным из твердого сплава Т15К6. Усилие упорочнения 7,5...11 кН, ось ролика составляет угол 36° к оси детали.

Дробеструйная обработка применяется для увеличения усталостной прочности сложных элементов деталей (шатуннов, деталей сварных соединений). В качестве оборудования для обработки дробью используют пневматические или пневматические дробеметы. В механических устройствах дробь выбрасывается со скоростью 60...100 м/с за счет центробежной силы вращения барабана с лопатками. В пневматических устройствах дробь переносится струей сжатого воздуха под давлением 0,4...0,6 МПа. Применяют стальную или чугунную дробь диаметром 0,4...2 мм. Время наклепа 3...10 мин, а его глубина  $\leq 1$  мм. Распространение получили механические установки, которые обеспечивают более высокую производительность при меньшем расходе энергии и позволяют регулировать скорость полета дроби. Основной недостаток обработки дробью заключается в опасности перенаклепа. Процесс состоит в разрыхлении поверхностного слоя, его шелушении, появлении трещин и отслаивания при превышении установленной времени обработки. Увеличение частоты вращения ротора, диаметра дроби и продолжительности дробеструйной обработки ухудшает шероховатость поверхности.

Упрочнение пневматическим молотком еще больше ухудшает шероховатость обрабатываемой детали. В этом случае на поверхности возникают значительные неровности, соответствующие профилю бойка.

Дробеструйной обработке подвергают также основания зубьев шестерен, коромысла клапанов, звенья цепей, поворотные кулаки и другие детали. Упрочнение дробеструйным наклепом увеличивает срок службы сварных швов в 4 раза, крупномодульных зубчатых колес в 15 раз.

Наклеп ротационным упрочнителем применяют, например, для упрочнения коленчатых и торсионных валов. Процесс ведут на токарном станке с помощью приспособления (см. рис. 3.45). Усталостная прочность в результате наклепа повышается на 30...60 %. Этому способствует увеличение нормального давления (силы удара) и продолжительности упрочнения, однако до определенного предела.

Эффективным способом упрочнения галтелей на коленчатых валах является их чеканка. Наклеп на упрочняемых поверхностях в этом случае создают при помощи бойков, которые приводятся в движение от вращающегося кулачка. Глубина наклепа при использовании чеканки больше в несколько раз, чем при обкатке.

Структура и твердость поверхностного слоя в результате механического упрочнения изменяются в среднем на глубину 0,1...0,7 мм. Структура в этом случае приобретает направленное строение (текстуру), а твердость среднеуглеродистых незакаленных сталей увеличивается на 30...40 %. Термически обработанные стали, имеющие твердость 40...45 HRC, в процессе наклепа увеличивают ее всего на 5...10 %.

Алмазное выглаживание придает восстанавливаемым поверхностям высокие износостойкость и усталостную прочность. С увеличением силы выглаживания высота микронеровностей уменьшается до определенного предела, а затем может несколько возрасти за счет перенаклепа поверхности и ее разрушения.

Поверхность под алмазное выглаживание предварительно шлифуют или растачивают. Усилие выглаживания  $\leq 300$  Н. В зону обработки подают индустриальное масло И-20А. Скорость выглаживания для сталей с твердостью 35...67 HRC 200...280 м/мин, а подача 0,02...0,05 мм/об. Качество выглаживания определяется формой и радиусом рабочей части инструмента, величиной радиального усилия, числом ходов, подачей и скоростью выглаживания. Рабочая часть иглы имеет радиус сферы 0,8...3 мм. Крепление инструмента пружинное. Шероховатость обработанной поверхности достигает  $Ra$  0,1...0,05 мкм, микротвердость увеличивается на 50...60 %, глубина наклепанного слоя достигает 400 мкм, на поверхности остаются значительные напряжения сжатия. Алмазное выглаживание рекомендуется для упрочнения наплавленных и гальванических покрытий. Усталостная прочность при этом повышается более чем в 2 раза.

После алмазного выглаживания поверхностные слои приобретают более однородное строение, резко сокращается число поверхностных дефектов и концентраторов напряжений.

Предел выносливости деталей с электролитическими и детонационными покрытиями повышают электронно-лучевой обработкой при нагреве до 1100...1300 °С. Этот показатель повышается до 140 против 80 МПа для детали с покрытием без обработки.

Одно из перспективных направлений повышения усталостной прочности деталей основано на использовании неравновесной термодинамики. Самоорганизующиеся технологии обработки материалов связаны с обеспечением условий, при которых создается, воспроизводится или совершенствуется структура материала в процессе обмена системы энергией и веществом с окружающей средой. Материалы, полученные в этих условиях, имеют однородные структуру и химический состав.

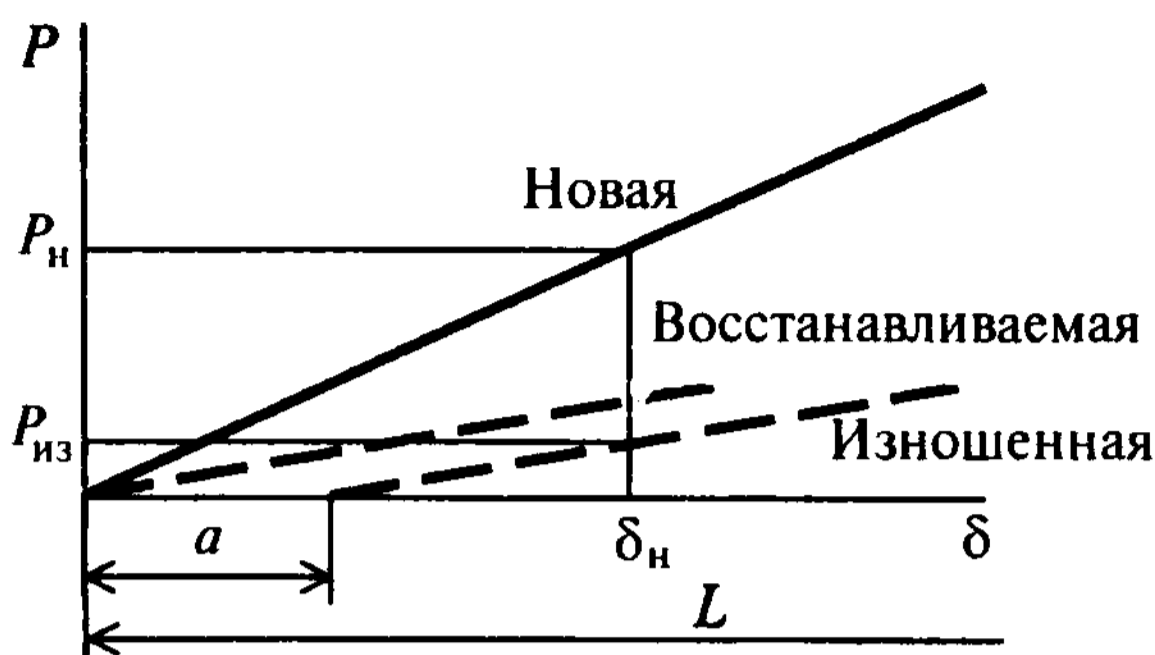
Основы теории самоорганизации заложены в 30–40 годах прошлого века применительно к живой природе. Развитие кибернетики, а затем синергетики как теории самоорганизующихся структур предопределило универсальность механизма самоорганизации, являющегося общим как в живой, так и в неживой природе. В основе этой теории лежит принцип минимума производства энтропии, объясняющий процессы самоорганизации диссипативных структур с реализацией обратной внутренней связи. Роль этих связей играют структурные элементы, контроль за которыми позволяет управлять свойствами материала.

Примером материалов подобного типа являются сплавы с памятью формы (или сверхупругие сплавы). В них структурным элементом, служащим обратной связью, является термоупругий мартенсит. При деформации сплава подводимая энергия расходуется на мартенситное превращение, а при снятии нагружения ввиду обратимости превращения она диссипируется. Созданные сплавы с памятью формы составляют основу для получения на базе неравновесной термодинамики «неуставаемых» материалов, способных бесконечно долго работать в условиях циклических нагрузок.

## 5.5. Восстановление жесткости деталей

### 5.5.1. Содержание процесса восстановления жесткости

Характерные повреждения упругих элементов – изменение геометрических размеров и жесткости. Определяющий геометрический размер, например, винтовых пружин – это их длина в свободном состоянии. Уменьшение жесткости, например, клапанных пружин двигателя приво-



**Рис. 5.4.** Зависимость осевой деформации  $\delta$  новой, восстанавливаемой и изношенной пружины от силы  $P$ :

$P_n$  и  $\delta_n$  — нормативные значения силы и деформации;

$P_{из}$  — сила, необходимая для придания изношенной пружине деформации  $\delta_n$ ;  
 $a$  — уменьшение длины изношенной пружины;  $L$  — начальная длина пружины

дит к уменьшению его мощности и перерасходу топлива. Жесткость  $\psi$  определяется отношением силы или момента, приложенных к детали, к величине создаваемой деформации:

$$\psi = \frac{P}{\delta} \quad \text{или} \quad \psi = \frac{M}{\varphi}, \quad (5.4)$$

где  $P$  — сила, Н;  $M$  — момент, Н·м;  $\delta$  — осевая деформация, м;  $\varphi$  — угловая деформация, рад.

Значение жесткости  $\psi$  численно равно тангенсу угла наклона графика жесткости к оси деформаций.

Формально восстановление винтовой пружины заключается в совмещении начальной точки графика жесткости с началом координат (рис. 5.4), т.е. в растяжении пружины на величину  $a$ , а затем в повороте линии графика относительно начала координат до совмещения ее с линией графика новой пружины, т.е. придания первоначальной жесткости.

Сущность *восстановления жесткости* заключается в повышении модуля упругости материала путем его объемного пластического деформирования. Для этой цели применяют механическую, химико-термическую и термомеханическую обработку. Тепловые и химические воздействия способствуют распространению структурных превращений вглубь материала восстанавливаемого элемента.

### 5.5.2. Способы восстановления жесткости

Основные виды механической обработки заготовок при восстановлении жесткости – дробеструйная обработка, обкатывание и ультразвуковая обработка.

Дробеструйная обработка применяется для восстановления жесткости пружин, торсионов и рессорных листов. Сущность ее заключается в том, что поток дроби (стальной, чугуновой, стеклянной) диаметром 0,6...1,2 мм направляется на обрабатываемую деталь со скоростью до 100 м/с, в результате чего поверхностный слой наклепывается. Вследствие пластической деформации в поверхностном слое детали возникают не только параллельные, но и ориентированные в разных плоскостях и направлениях несовершенства кристаллического строения – дислокации. Повышение плотности дислокаций служит препятствием к их перемещению, от этого возрастает реальная прочность материала. Кроме того, образуется большое количество линий сдвига, дробятся блоки мозаичной структуры, что упрочняет поверхностный слой металла на глубину 0,2...0,6 мм. Шероховатость поверхности при этом достигает значений  $Rz$  40...20 мкм. Предварительная химико-термическая обработка и закалка ТВЧ повышают глубину наклепа в 2,0...2,5 раза, что обеспечивает объемное воздействие механической обработки на материал детали.

Для дробеструйной обработки пружин клапанов и подвески применяют стальную дробь диаметром 0,6...0,8 мм, продолжительность наклепа 4...12 мин. Листовые пружины и торсионы обрабатывают стальной дробью диаметром 0,8...1,2 мм. Упрочнение дробеструйным наклепом увеличивает срок службы спиральных пружин в 2,4 раза, а рессор в 6 раз.

Однако обработка сухой дробью имеет и существенные недостатки: высокие локальные температуры (до 650 °С); сравнительно высокую шероховатость обработанной поверхности; активный перенос материала дроби на обрабатываемую поверхность, уменьшающий коррозионную стойкость некоторых материалов; нестабильность режима упрочнения из-за интенсивного износа дроби.

Указанные недостатки устраняет гидродробеструйное упрочнение поверхностей стальными шариками диаметром 0,6...1,0 мм в потоке СОЖ (например, трансформаторного масла). Данный способ в отличие от дробеструйного сухого наклепа обеспечивает более стабильное качество. В поверхностном слое детали остаточные сжимающие напряжения, равные 400...500 МПа, не имеют послонного максимума, а глубина их распространения составляет 180...200 мкм. Малая шероховатость ( $Ra$  1,25...

0,16 мкм) сохраняется, а большая ( $Ra$  10...2,5 мкм) улучшается до  $Ra$  2,5...1,25 мкм. Площадь опорной поверхности возрастает, а предел выносливости повышается на 15...20 %. Исключено газоиссыщение в связи со снижением температуры в зоне контакта и наличием защиты поверхностного слоя детали от влияния воздуха. Срок службы витых пружин после гидродробеструйной обработки увеличивается до 4 раз, а релаксационная стойкость в 2...3 раза.

Поверхности обкатывают установленными на осях вращающимися роликами, рабочий профиль которых копирует профиль обрабатываемой поверхности. Ролики прижимают к поверхности нормальной силой, которая вызывает в точке контакта преимущественно напряжения сжатия.

Сущность ультразвуковой обработки заключается в воздействии на упрочняемую поверхность стального или твердосплавного шара, прижатого к ней и вибрирующего с частотой  $2 \cdot 10^4$  Гц. В контакте инструмента и детали возникают высокие локальные напряжения. Ультразвуковой инструмент пластически деформирует поверхность импульсно и многократно незначительной статической силой при отсутствии трения качения. Среднее давление, создаваемое в поверхностном слое детали, в 3...9 раз меньше, чем при обкатывании шариком. Большая доля энергии непосредственно затрачивается на искажение кристаллической решетки. По сравнению с другими способами поверхностного пластического деформирования ультразвуковая обработка дает наибольшее изменение свойств поверхностного слоя: упрочнение на 40...180 %, изменение шероховатости  $Rz$  0,8...0,4 мкм при исходной  $Rz$  20...6,3 мкм и остаточные напряжения до 1100...1200 МПа. После ультразвукового упрочнения закаленных сталей У10А, Х12 шероховатость поверхности уменьшается, поверхностная твердость возрастает на 30...40 %, глубина наклепа составляет 0,30...0,65 мм.

Термическая обработка восстанавливаемых упругих элементов как самостоятельный способ их восстановления сводится к их закалке и отпуску.

Химико-термический способ восстановления упругости пружин, обеспечивающий их сквозную прокаливаемость, заключается в их нагреве со скоростью 225...275 °С/с до температуры 880...920 °С в порошковой смеси дисперсностью 20...50 мкм, содержащей компоненты в следующем соотношении, мас. %: феррованадий, ферросилиций, феррохром, ферромарганец и ферромolibдеи по 10...14; ферротитан и алюминий по 2...8; графит остальное, с последующим охлаждением в масле.

Применяют комбинированную обработку нагревом и пластическим объемным деформированием путем обкатывания.

$$\Delta m_d = m_{\max} - m_{\min} \quad (5.5)$$

Однако комплект деталей одного агрегата формируют из деталей с существенно меньшим допуском на их массу  $\Delta m_{d.k}$  (в граммах):

$$\Delta m_{d.k} \approx (0,1 \dots 0,2) \Delta m_d \quad (5.6)$$

Например, массы деталей поршневой группы (поршня, поршневого пальца, поршневых и стопорных колец), входящих в комплект двигателя внутреннего сгорания, должны отличаться друг от друга не более как на 2...4 г. Эти сборочные единицы взвешивают на весах НПВ-1-2.

В конце процесса восстановления отбирают детали, масса которых укладывается в допуск [см. формулу (5.5)]. Затем эти детали рассортировывают на массовые группы, число которых  $n_m$  равно

$$n_m = \Delta m_d / \Delta m_{d.k} \quad (5.7)$$

На операции образования комплектов деталей будущих агрегатов подбирают детали с разбросом масс  $\Delta m_{d.k}$ , т.е. входящих в одну массовую группу.

Если масса детали оказывается за пределами допуска [см. формулу (5.5)] или невозможно подобрать комплект деталей с допуском  $\Delta m_{d.k}$ , то прибегают к срезанию лишней массы или закреплению недостающей. Последний случай встречается редко. Лишнюю массу поршневого комплекта убирают, например с нижнего объема бобышек поршня.

Имеются детали типа шатунов, части которых участвуют в двух движениях, одно из которых поступательное. В таком случае одновременно на двух весах взвешивают верхнюю и нижнюю головки шатунов. Лишнюю массу металла фрезеруют с приливов на головках.

### 5.6.2. Восстановление распределения массы детали относительно осей вращения и инерции

Вращающаяся деталь является полностью уравновешенной, если результирующая сила инерции и момент инерции равны нулю. Условия полной уравновешенности такой детали:

$$Mr_s = \sum_{i=1}^{i=k} m_i r_i = 0 \quad \text{или} \quad r_s = 0; \quad (5.8)$$



Термомеханическое восстановление упругих элементов впервые разработано в Беларуси в 1964 г. Высокотемпературная механическая обработка, связанная с температурой нагрева выше температуры рекристаллизации, приводит к деформированию аустенита, а низкотемпературная происходит при температуре ниже температуры рекристаллизации, что вызывает деформирование мартенсита.

На шлифе витка восстановленной пружины видны две зоны: мелкодисперсного мартенсита твердостью 65 HRC и сорбита отпуска твердостью 45 HRC. Наличие на поверхности восстановленной пружины мелкодисперсного мартенсита снижает тенденцию развития усталостных трещин, а также замедляет развитие сдвиговых и диффузионных процессов релаксации напряжений. До глубины поверхностного слоя 0,8 мм формируются остаточные напряжения сжатия.

Контроль жесткости упругих элементов заключается в измерении осадки или угла поворота при приложении заданного усилия или момента соответственно.

### **5.6. Восстановление массы детали и ее распределения относительно осей вращения и инерции**

Отремонтированный агрегат считается уравновешенным, если во время его работы равнодействующая всех сил, действующих на опоры, остается постоянной по величине и направлению. Динамические нагрузки на опоры работающего агрегата создают поступательно движущиеся и вращающиеся детали, в том числе и восстановленные. Агрегат будет уравновешенным в том случае, если он собран из одноименных деталей с одинаковой массой, движущихся поступательно, и отбалансированных деталей, которые участвуют во вращательном движении.

Неуравновешенность деталей в эксплуатации возникает в результате их неравномерного изнашивания и деформирования. Это приводит к дополнительным нагрузкам в кинематических парах и накоплению усталостных повреждений в шейках валов, что, в свою очередь, снижает долговечность агрегатов.

#### **5.6.1. Восстановление массы детали**

Поступательно движущиеся детали с большой массой создают большие инерционные нагрузки в кинематических парах, а детали с малой массой утрачивают прочность. Для деталей одного наименования, прошедших восстановление, устанавливают наибольшую  $m_{\max}$  и наименьшую  $m_{\min}$  предельные массы. Допуск массы  $\Delta m_d$  (в граммах) равен

$$J_{lr} = \sum_{i=1}^{i=k} m_i l_i r_i = 0, \quad (5.9)$$

где  $M$  – масса детали;  $r_s$  – расстояние от центра масс детали до оси ее вращения;  $J_{lr}$  – центробежный момент инерции;  $m_i$ ,  $r_i$  и  $l_i$  – соответственно масса элемента детали, расстояние от центра его масс до оси вращения детали и плечо действия центробежной силы элемента относительно оси, проходящей через центр масс детали;  $i = 1, \dots, k$  – число конструктивных элементов детали.

Первое условие соблюдается, если ось вращения детали совпадает с одной из главных ее осей инерции. Первое и второе условия выполняются, если ось вращения детали совпадает с одной из главных центральных осей инерции детали, т.е. главной осью инерции, проходящей через центр ее масс. Деталь является уравновешенной статически, если удовлетворено первое условие, и уравновешенной динамически, если соблюдено только второе условие.

В реальных условиях различают статическую, динамическую и смешанную неуравновешенность вращающихся деталей.

*Статическая неуравновешенность* (рис. 5.5, а) наблюдается у дискообразных деталей малой длины (маховиков, нажимных и ведомых дисков сцеплений, чугунных шкивов и др.). Способы статической балансировки состоят в совмещении центра масс детали с осью ее вращения путем снятия лишнего металла или установки противовеса. Определяют направление дисбаланса – линию, которая проходит через ось вращения детали и центр неуравновешенной массы. Затем излишний металл снимают в удобном месте на этой линии, по одну сторону с неуравновешенной массой от оси вращения, или добавляют металл, если неуравновешенная масса находится по другую сторону от оси вращения детали. Масса  $m$  (в граммах) снимаемого (добавляемого) металла определяется по формуле

$$m = M r_s / R, \quad (5.10)$$

где  $R$  – расстояние от оси вращения до снимаемого (добавляемого) металла, м.

Балансировку ведут на роликах, горизонтальных призмах, качающихся дисках и станках.

Устройства для статической балансировки деталей на роликах и горизонтальных призмах приведены на рис. 5.6 и 5.7. Деталь 1 устанавливают без зазора на оправку 2, которую, в свою очередь, ставят на ролики

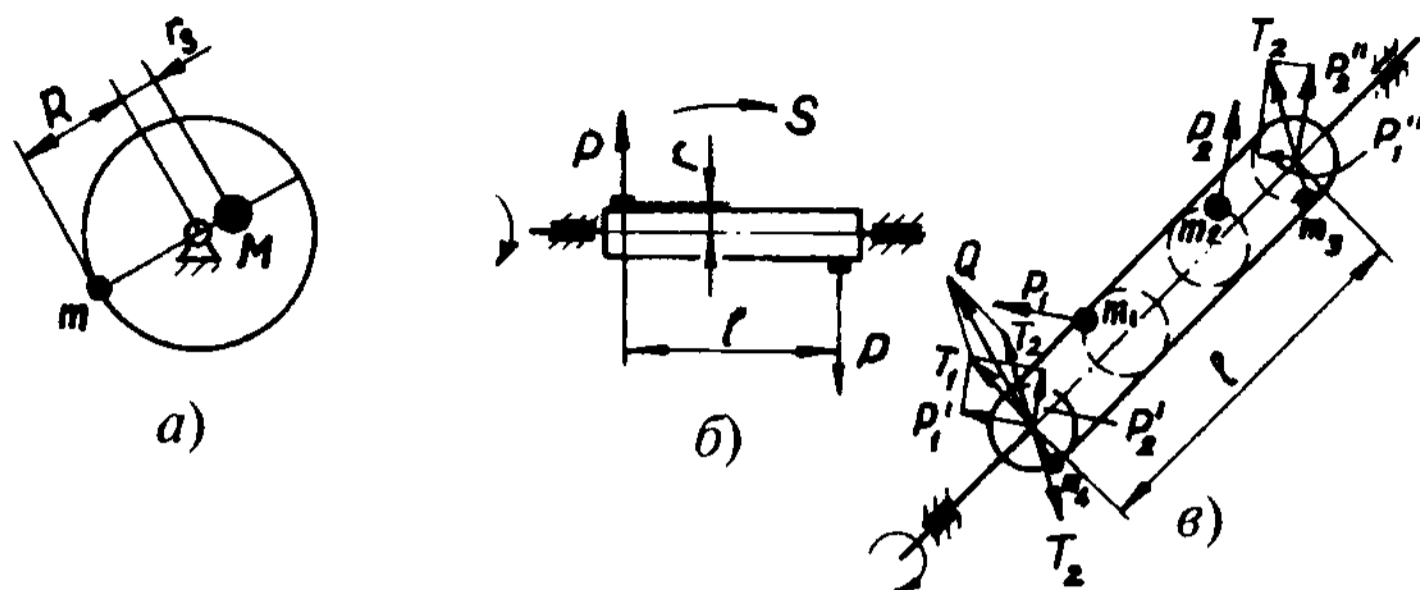


Рис. 5.5. Виды неуравновешенности деталей:  
 а – статическая; б – динамическая; в – смешанная

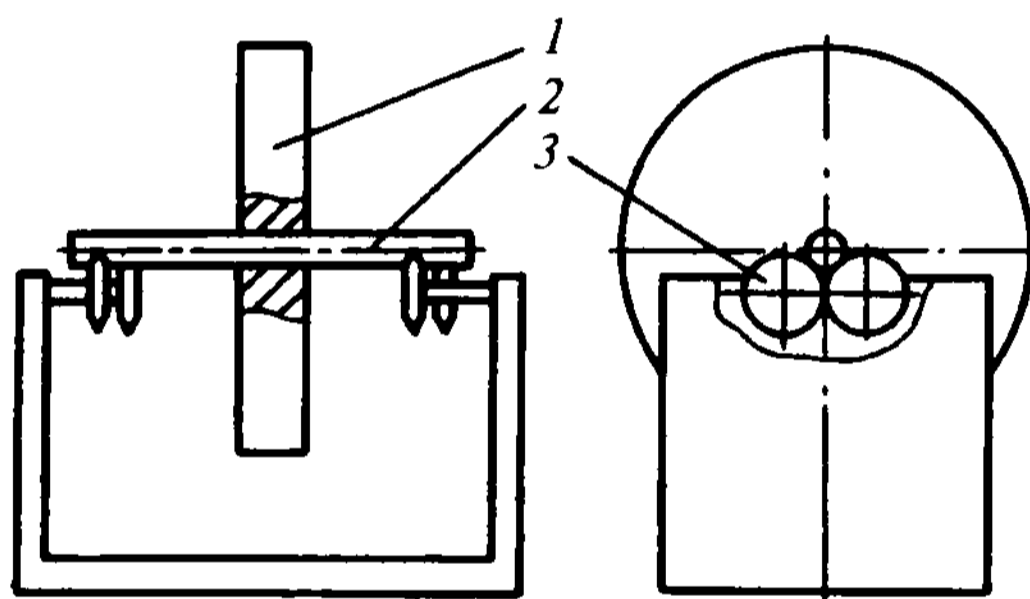


Рис. 5.6. Схема устройства для статической балансировки деталей  
 на роликах:  
 1 – деталь; 2 – оправка; 3 – ролики

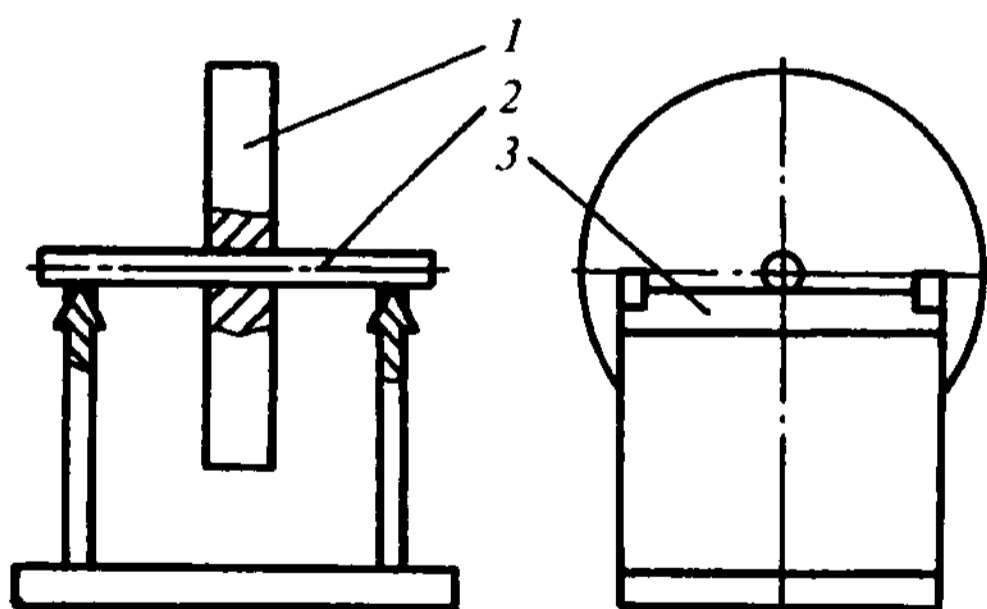
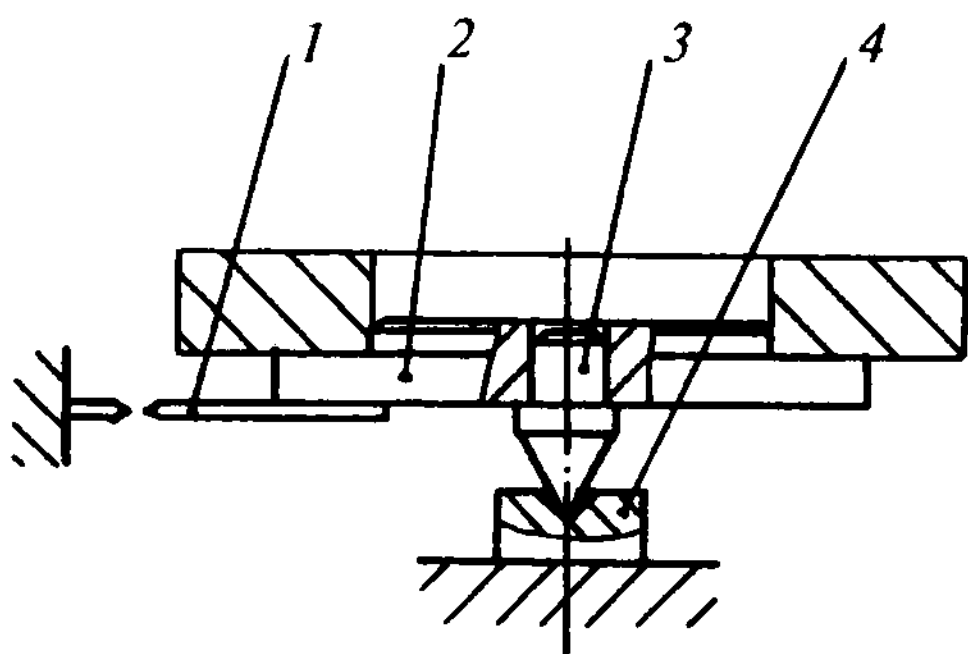


Рис. 5.7. Схема устройства для статической балансировки деталей  
 на призмах:  
 1 – деталь; 2 – оправка; 3 – призмы



**Рис. 5.8. Схема устройства для статической балансировки деталей на качающейся площадке:**  
 1 – стрелки; 2 – площадка; 3 – острие; 4 – опора

ланса, определение его значения затруднено и требует практического навыка.

Устройство для статической балансировки деталей на качающемся диске (рис. 5.8) лишено указанного недостатка. Его статически отбалансированная дискообразная площадка 2 имеет опорно-установочные элементы (цилиндрическую поверхность и плоскость) для балансируемой детали. Соосно с цилиндрической поверхностью установлено острие 3, которое соприкасается с опорой 4 ответным коническим углублением. Две стрелки 1 диска расположены во взаимно перпендикулярных направлениях. Балансируемую деталь устанавливают на диск и ориентируют центрирующим пояском. Если диск с деталью наклонился, то их приводят в горизонтальное положение путем перемещения по поверхности детали компенсирующего груза. Место нахождения груза и его масса показывают величину и направление дисбаланса.

Статическую балансировку деталей в динамическом режиме выполняют на станке мод. 9765.

*Динамическая неуравновешенность* (см. рис. 5.5, б) наблюдается в том случае, когда центр масс находится на оси вращения детали, а во время ее вращения возникает статический момент  $S$  от двух равных сил  $P$  на плече  $l$ . Статический момент  $S$  вызывает переменные нагрузки на опоры детали при ее вращении. Динамическую неуравновешенность устраняют добавлением или снятием двух равных масс в плоскости действия момента  $S$ , чтобы появился новый момент, уравновешивающий первый. Динамическая неуравновешенность выявляется при вращении детали.

или призмы. Неуравновешенная деталь провернется вокруг своей оси, при этом ее тяжелая часть окажется внизу. Балансировка на призмах дает более точные результаты, однако в этом случае требуется, чтобы рабочая поверхность призм располагалась горизонтально. Эти устройства показывают только направления дисбаланса, определение его значения затруднено и требует практического навыка.

*Смешанная неуравновешенность* (см. рис. 5.5, в) наиболее часто встречается в реальных условиях, когда имеются сила инерции от неуравновешенной массы и статический момент центробежных сил. Этот вид неуравновешенности характерен для длинных сборочных единиц типа коленчатого или карданного вала. Система любого числа неуравновешенных сил сводится к двум силам, которые расположены в двух произвольно выбранных плоскостях, удобных для уравнивания. Например, у коленчатого вала эти плоскости проходят через крайние коренные шейки.

Пусть имеются неуравновешенные массы  $m_1$  и  $m_2$ . Разложим центробежные силы  $P_1$  и  $P_2$  на их составляющие  $P_1'$ ,  $P_1''$  и  $P_2'$ ,  $P_2''$ , приложенные на плече  $l$ . Сложим эти составляющие в каждой плоскости по правилу параллелограмма и получим равнодействующие  $T_1$  и  $T_2$ . В точке приложения силы  $T_1$  приложим две равные между собой, но противоположно направленные силы  $T_2$ . В результате получим две неуравновешенные силы  $T_2$  и  $Q$  в плоскостях коррекции. Сила  $Q$  является векторной суммой сил  $T_1$  и  $T_2$ . Момент  $T_2 l$  определяет динамическую неуравновешенность, а сила  $Q$  статическую. Полное уравнивание детали достигается установкой противовесов  $m_3$  и  $m_4$  на линиях действия сил  $T_2$  и  $Q$ .

Направление и величину дисбаланса на каждом конце вала определяют на балансировочных станках, например мод. БМ-4У, 4274 или МС-9716. Динамической балансировке подвергают сборочные единицы, вращающиеся при работе агрегата в двух и более опорах.

Характеристика сборочных единиц, например автомобильного двигателя, требующих балансировки, приведена в табл. 5.10.

Перспективна балансировка V-образного двигателя в сборе путем снятия металла с маховика (задняя балансировочная плоскость) и сошки коленчатого вала (передняя балансировочная плоскость). Балансировку ведут на обкаточном стенде, укомплектованном балансировочным прибором, с принудительным вращением коленчатого вала от приводного электродвигателя при вывернутых свечах зажигания.

Минский завод им. Октябрьской революции выпускает приборы ПСБ-2 для определения направления и величины дисбаланса на обкаточных стендах. В комплект прибора входят вибродатчик, датчик опорного сигнала и электронный блок. Прибор предназначен для измерения в одной плоскости коррекции.

### 5.10. Сборочные единицы и детали двигателя с рабочим объемом 4,8 л, требующие балансировки, и их характеристика

Сборочные единицы, детали	Вид балансировки	Допустимый дисбаланс, г·см
Ротор фильтра центробежной очистки масла со стаканом в сборе	Д	10
Диск сцепления ведомый	С	18
То же, нажимной		36
Маховик		
Коленчатый вал	Д	30
Коленчатый вал с маховиком и сцеплением		
Двигатель в сборе		40

Условные обозначения: С и Д – соответственно статическая и динамическая балансировка.

### Технические характеристики прибора ПСБ-2

Диапазон рабочих частот при измерении параметров дисбаланса, Гц .....	5...45
Полоса пропускания фильтрующей части измерительного пульта, Гц .....	0,1
Максимальное время, необходимое для измерения параметров дисбаланса в одном масштабе измерения, без учета времени разгона, с .....	15
Число масштабов измерения (коэффициент масштабирования 10) .....	2
Форма представления параметров корректирующего дисбаланса при измерении .....	полярная или прямоугольная система координат
Потребляемая мощность, Вт .....	60
Габаритные размеры, мм .....	520×275×340
Масса, кг .....	36

### 5.7. Основы упрочнения элементов восстанавливаемых деталей

Восстанавливаемая деталь входит составной частью в отремонтированный агрегат, который, в свою очередь, входит в более сложную систему – машину. Ресурсы этих элементов должны быть сопоставлены между собой с позиции совпадения целей подсистемы, системы и надсистемы. Нормативные документы на отремонтированную технику ориентируют на достижение 80%-ной послеремонтной наработки изделий. Эти документы определяют соответственно состояние деталей, поступающих на сборку; значения замыкающих размеров в сопряжениях и параметров работоспособности машин. Другие значения указанных величин могут быть выбраны из расчета достижения наработки, кратной ранее установленной, и должны стать ограничениями при выборе способа восстановления деталей, а также при разработке технологических процессов на стадиях технологической подготовки восстановительного производства.

Если наработка детали меньше нормативной и отстает от наработки деталей агрегата, то возникает потребность в упрочнении элементов этой детали за счет повышения износо-, жаро- и коррозионной стойкости, твердости, усталостной прочности и других свойств.

В общем случае под упрочнением материала понимают повышение значений его физико-механических свойств, которые являются определяющими для обеспечения надежности ремонтируемого объекта.

*Упрочнение* как повышение значений свойств детали основано на преднамеренном искажении кристаллической решетки металла в результате механического воздействия, термической или термомеханической обработки, легирования и др. Из всех современных теорий, объясняющих природу упрочнения, общепризнанной и наиболее достоверной является дислокационная.

Способы упрочнения в зависимости от вида воздействия на поверхностный слой включают: пластическое поверхностное деформирование, элементно- (химико-термические) и структурно-фазовые (физико-термические) превращения, послойное осаждение материала и внедрение в поверхность твердого материала.

Основная причина упрочнения при холодном пластическом деформировании заключается в увеличении количества (плотности) дислокаций и создании условий их торможения. Последнее затрудняет свободное перемещение порожденных в ходе деформирования дислокаций, при

этом отдельные их скопления и петли, границы зерен, кристаллов и фрагментов являются локальными преградами движения других дислокаций.

Чем плотнее дислокации в результате упрочняющей обработки, тем большей прочности удастся достичь. Однако максимальный предел прочности существующих способов упрочнения обеспечивает всего лишь  $\sim 1/3$  теоретической прочности.

Большая степень деформирования поверхностного слоя определяет и высокую плотность дислокаций. При этом дислокации выходят на поверхность, дробятся блоки и зерна, искажается микрорешетка и изменяется уровень микронапряжений в поверхностном слое за счет увеличения числа дефектов на поверхности. Электронная плотность перераспределяется, и вблизи дефектов повышается уровень Ферми, и, следовательно, снижается работа выхода электронов.

Обкатывание крупных резьб на валах уменьшает до 2 раз износ резьбовых пар на машинах, работающих в условиях большой запыленности. С этими резьбами бронзовые или чугунные гайки обладают на 35...40 % большей долговечностью. Обкатывание роликами переходных зон зубьев у их оснований повышает предел усталости на базе 2 млн. циклов не менее чем на 40 %.

Применяют способы упрочнения при лазерной обработке: без изменения химического состава поверхности вследствие фазовых превращений при быстром нагреве и последующем охлаждении, а также за счет ударной волны из-за испарения верхних слоев металла; при частичном изменении химического состава поверхностного слоя (лазерное легирование) путем расплавления последнего и добавления легирующих элементов; лазерным плакированием посредством нанесения на поверхность восстанавливаемой детали материала, его нагрева, растекания и затвердевания при охлаждении.

Лазерная закалка происходит в результате сверхвысокого нагрева поверхностного слоя детали – до  $(2...3)10^4$  К, а также быстрого охлаждения этого слоя за счет интенсивного теплоотвода в материал детали. В результате на поверхности образуется закаленный слой толщиной 0,1...0,5 мм. Твердость закаленных поверхностей чугунов и углеродистых низколегированных сталей достигает 60...70 HRC с повышением износостойкости чугунов в 5 раз, а сталей в 3...4 раза.

Лазерная закалка актуальна для деталей, восстанавливаемых до ремонтного размера, когда поверхностный упрочненный слой удаляется



(например, шлифованием шеек коленчатого вала или растачиванием гильзы цилиндра). Перед упрочнением на поверхность детали наносят поглощающие покрытия: гуашь, слои оксида хрома, фосфатной пленки и др. Процесс ведут на установках с вращением детали. Лазерный луч скользит по упрочняемой поверхности, оставляя винтовую линию.

Лазерная закалка шеек коленчатых валов из высокопрочного чугуна обеспечивает глубину упрочнения 0,6...0,7 мм, заполнение зоны упрочнения на 70...90 %, микротвердость 8500 МПа при увеличении износостойкости в 1,9...2,1 раза по сравнению с неупрочненными деталями. Лазерные дорожки представляют собой винтовые линии. Режим обработки: мощность излучения 700...750 Вт, диаметр луча в зоне обработки 3,0...3,5 мм, подача луча 35...40 мм/мин, частота вращения детали 4...4,5 мин<sup>-1</sup>. Непрерывный СО<sub>2</sub>-лазер (ЛГН-702).

НИИ импульсных процессов с опытным производством (Беларусь) с 1974 г. исследует процесс соударения потока металлических частиц со стальными мишенями. Обнаружено явление сверхглубокого проникновения частиц в материал мишени: на глубину 10...400 исходных размеров частиц. В результате материал мишени приобретает структуру композиционного. Необычность явления заключается в превышении расчетного количества энергии частиц на преодоление сопротивления материала по сравнению с исходной кинетической энергией этих частиц. Принципиально важно то, что при массовой доле вводимых материалов в тысячные и сотые процента значения физико-механических свойств изменяются на десятки или сотни процентов. Стойкость металлорежущего инструмента, например, после взрывного легирования увеличивается на 40...80 %.

Замена пластины твердого сплава ВК8 на пластину упрочненной стали Р6М5 обеспечивает повышение стойкости резцов в среднем до 5 раз при одновременном снижении затрат энергии на резание.

Сущность упрочняющей чеканки заключается в том, что по упрочняемой поверхности наносят удары с помощью специального приспособления. При этом исходная твердость повышается на 30...55 %, а глубина наклепа составляет 3...35 мм. Инструмент состоит из ударника с бойком с профильным радиусом 3...5 мм. Привод может быть пневматический, электрический или механический.

Распространены пневматические чеканочные приспособления с молотками МО-10, СМ-3 и РМ-6, работающие при давлении сжатого воздуха 0,4...0,6 МПа. Электрические и механические приспособления обычно нетиповые. Энергия удара пневматических инструментов 30...50 Дж,

электромеханических 20 Дж. Чеканочные приспособления для обработки деталей – тел вращения устанавливаются на токарных станках. Для упрочнения сварных швов применяют бойки в виде пучка проволочек диаметром 2...3 мм.

Упрочнение чеканкой позволяет заменить сталь 25ХНВА сталями 40ХНМА или 35ХГСА, которые почти в 2 раза дешевле. Чеканку применяют для упрочнения сложных по форме и труднодоступных концентраторов напряжений.

Широкие перспективы открываются при создании материалов на базе замкнутых углеродных молекул (фуллеренов). Их массовое производство при развитии самоорганизующихся технологий позволит создавать сплавы, легированные в неравновесных условиях замкнутыми молекулами углерода, с уникальными механическими свойствами и покрытия различного функционального назначения.

Основной недостаток современных композиционных материалов заключается в несовершенстве переходного слоя матрица – упрочняющий компонент. Использование самоорганизующихся технологий получения композиционных материалов позволит устранить этот недостаток. Следует предположить, что структура перспективных материалов будет приближена к структурам живой природы.

## Глава 6

# ВЫБОР ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УНИФИКАЦИЯ

### 6.1. Выбор и оптимизация способа восстановления детали

#### 6.1.1. Критерий оптимизации при технологическом проектировании

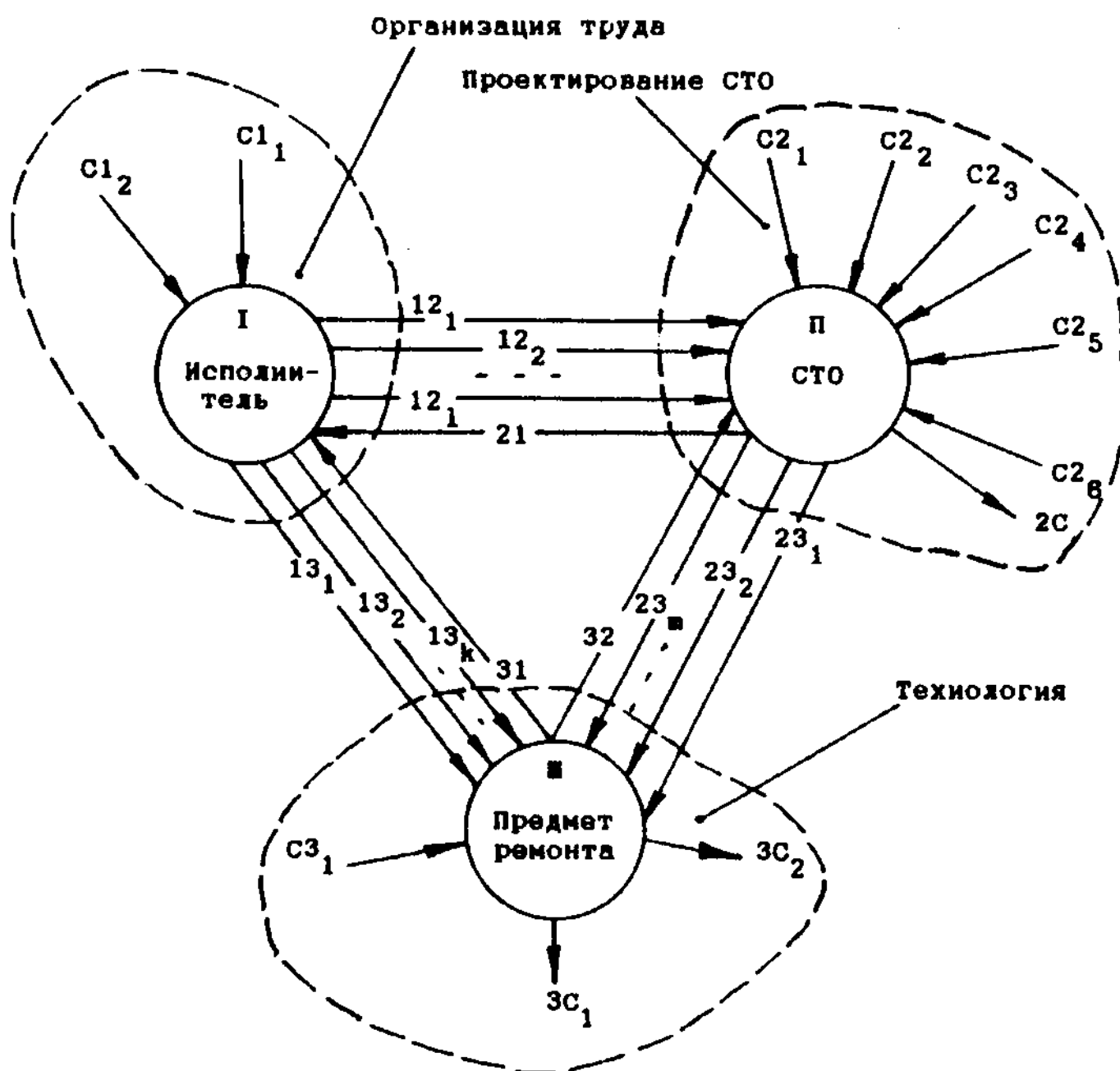
*Критерий оптимизации* при разработке технологического процесса (П) выбирают в результате системного анализа взаимодействующих объектов, их функций и ресурсов, необходимых для работы указанных объектов.

В процессе восстановления изношенной детали участвуют три материальных объекта (рис. 6.1): *I* – исполнитель, *II* – средства восстановления (средства технологического оснащения – СТО), *III* – предмет восстановления (сама восстанавливаемая деталь). Эти объекты находятся в связях и отношениях между собой и с производственной средой. Функция системы заключается в переработке одного из ее элементов – предмета восстановления.

Производственная среда (элементы производственного помещения, запасы ресурсов и др.) является внешней средой, с которой элементы рассматриваемой системы взаимодействуют посредством внешних связей – входов и выходов (ресурсных коммуникаций). По внешним связям система получает ресурсы для своего действия и сам предмет труда в виде ремонтного фонда, который после переработки возвращается во внешнюю среду как товарная продукция с отходами.

Совершенство системы (элементов и связей между ними) определяется затратами ресурсов, поступающих из внешней среды и отнесенных к количеству товарной продукции. Ресурсы, потребляемые системой, делятся на материально-сырьевые, топливно-энергетические и трудовые.

Внешние связи среда – исполнитель соответствуют затратам на обучение и подготовку рабочих необходимой квалификации  $C1_1$  (единовременные затраты) и на заработную плату  $C2_2$  (текущие затраты).



**Рис. 6.1. Система элементов исполнитель – СТО – предмет труда во взаимодействии:**

внутренние связи:  $13_1, 13_2, \dots, 13_k$  – связи исполнитель – предмет труда;  $31$  – обратная связь предмет труда – исполнитель;  $12_1, 12_2, \dots, 12_l$  – связи исполнитель – СТО;  $21$  – обратная связь СТО – исполнитель;  $23_1, 23_2, \dots, 23_m$  – связи СТО – предмет труда;  $32$  – обратная связь предмет труда – СТО;  
 внешние связи:  $C1_1, C1_2$  – затраты на подготовку и обучение исполнителя (единовременные) и на заработную плату (текущие) соответственно;  $C2_1, C2_2, C2_3, C2_4, C2_5, C2_6$  и  $2C$  – затраты на капиталовложения, материалы, энергию, обслуживание и ремонт СТО, амортизацию СТО, на создание производственного объема и ликвидацию отходов соответственно;  $3C_1, 3C_1$  и  $3C_2$  – стоимость ремонтного фонда, товарной продукции и обезвреживания (реализации) отходов

Внешние связи среда – средства восстановления определяют вклад среды в оборудование и оснастку для их функционирования.

Связь  $C1_1$  определяет единовременные начальные капиталовложения в средства восстановления;  $C2_2$  – затраты на материалы (присадочные, технологические газы, жидкости и др.), которые вводятся в предмет

труда или которыми воздействуют на него. В  $C2_2$  также входят затраты на материалы для функционирования средства (масла, смазки, газы и др.). Материалы для введения в предмет труда или воздействия на него перерабатываются средствами восстановления или дозируются ими перед технологическими воздействиями.  $C2_3$  выражает затраты на электроэнергию, на подвод пара или горячей воды как носителей тепловой энергии и на расход сжатого воздуха как носителя потенциальной энергии давления.  $C2_4$  определяет мероприятия как по поддержанию работоспособного состояния средств восстановления, так и по восстановлению ресурса путем среднего или капитального ремонта. Связь  $C2_5$  выражает затраты на амортизацию средств восстановления, а связь  $C2_6$  – затраты, необходимые для создания производственного объема с требуемым микроклиматом, где находятся средства восстановления.  $2C$  выражает затраты на ликвидацию отходов от функционирования средств восстановления.

Предмет восстановления поступает на переработку в виде ремонтного фонда  $C3_1$  и выходит в виде товарной продукции  $3C_1$  с отходами  $3C_2$ .

По количеству элементов система имеет три вида внутренних связей, определяющих парные взаимодействия элементов между собой. Выделим эти взаимодействия.

Связи  $13_1, 13_2, \dots, 13_k$  выражают ручное воздействие исполнителя на предмет восстановления, как технологическое, так и контрольное. Обратная связь  $31$  – информационный сигнал о состоянии предмета восстановления.

Связи  $12_1, 12_2, \dots, 12_l$  и  $21$  определяют взаимодействие по управлению исполнителем средствами восстановления.

В автоматическом производстве предмет труда взаимодействует со средствами восстановления только через связи  $23_1, 23_2, \dots, 23_m$  и  $32$ .

Следует подчеркнуть, что категории воздействий (процесс, операция, переход и др.) – это не материальные объекты, а результат взаимодействия этих объектов. Технология – это функции средств восстановления и исполнителей. В представленной модели разработка технологии выражена описанием следующих друг за другом состояний предмета труда от ремонтного фонда ( $C3_1$ ) до восстановленной детали ( $3C_1$ ) и соответствующих воздействий. Отходы от предмета восстановления выражаются связями  $3C_2$ . В описании технологии участвуют связи  $13_1, 13_2, \dots,$

$13_k$  и  $23_1, 23_2, \dots, 23_m$ , которые выражают совокупность технологических воздействий исполнителя и средств восстановления на предмет труда посредством инструментов. Обратная связь  $32$  – это сигнал средства активного контроля от предмета труда на устройство, управляющее оборотом с помощью управления.

Описание элемента  $II$  – как целого, так и его составляющих во взаимодействии между собой и с предметом восстановления – это результат решения конструкторской задачи по разработке средств восстановления.

Описание и оптимизация действий исполнителя – это решение организационной задачи.

Системный подход связывает воедино разработку средств и процессов восстановления и организацию труда.

Критерий функционирования системы – это соотношение расходов ресурсов, поступающих из внешней среды и выходящих из системы.

Если внешние связи выразить в стоимостном выражении, то оптимальным критерием  $Q$  системы исполнитель – средства восстановления предмет восстановления может служить разница между значениями ресурсов, перемещающихся во входы и из выходов системы:

$$Q = Ц + (-)О - k_0 K_0 - k_3 K_3 - М - Э - Р - А - З_{р.о} - З_{р.т}, \quad (6.1)$$

где  $Ц$  и  $О$  – цена товарной продукции и отходов соответственно;  $k_0$  и  $k_3$  – доля капиталовложений в средства восстановления и здания, отнесенных к году эксплуатации соответственно;  $K_0$  и  $K_3$  – капиталовложения в средства ремонта и здания соответственно;  $М$  и  $Э$  – затраты на материалы и энергию соответственно;  $Р$  – затраты на поддержание и восстановление ресурса средств восстановления;  $А$  – затраты на амортизацию;  $З_{р.о}$  и  $З_{р.т}$  – единовременные и текущие затраты на рабочего.

### **6.1.2. Постановка и оптимизация задачи выбора способа восстановления детали**

Задача выбора способа восстановления детали впервые была поставлена и решена проф. В.А. Шадричевым, а впоследствии многократно видоизменялась другими авторами и решалась различными методами.

Существует три основных метода выбора процесса восстановления детали, отличающихся различной степенью учета технических и экономических показателей. Первый метод основан на расчетах полной себе-

стоимости восстановления детали различными способами и сопоставлении их результатов. По второму методу сравнивают между собой комплексные величины в виде отношений технологических затрат к ресурсу деталей – новой и восстановленной. В качестве базового показателя принимают такое отношение для новой детали. Третий метод учитывает значения комплексного показателя как функции трех критериев: применимости, долговечности и технико-экономического.

Недостатки первого метода кроются в отсутствии учета технического состояния и послеремонтной наработки восстанавливаемой детали и несопоставимости результатов расчетов. Второй и третий методы допускают в производство способы, которые при малой цене восстановления формируют и малую долговечность по сравнению с нормативной наработкой агрегата. Все методы оценивают полученные результаты, но ни один из них не формирует сам процесс восстановления детали.

Критерии оценки процесса восстановления деталей имеют большое значение для ремонтной практики, поэтому непрерывно уточняются.

В.В. Ефремов предложил в качестве критерия рационального способа соотношение затрат и наработки машины, р./км пробега.

В.И. Казарцев определил условие рациональности восстановления деталей тем или иным способом в следующем виде:

$$\frac{C_{\text{В}} i_{\text{В}}}{I_{\text{В}}} \leq \frac{C_{\text{Н}} i_{\text{Н}}}{I_{\text{Н}}}, \quad (6.2)$$

где  $C_{\text{В}}$  и  $C_{\text{Н}}$  – соответственно стоимости восстановления изношенной детали и изготовления новой детали, р.;  $i_{\text{В}}$  и  $i_{\text{Н}}$  – интенсивность изнашивания восстановленной и новой деталей, мм/ч;  $I_{\text{В}}$  и  $I_{\text{Н}}$  – величина предельного износа восстановленной и новой деталей, мм.

В.А. Шадричев рассмотрел критерии выбора рационального способа восстановления детали. Выбор способа зависит от конструктивно-технологических особенностей и условий работы деталей, величины их износа, эксплуатационных свойств самих способов, определяющих долговечность восстановленных деталей, и стоимости их восстановления. Для оценки способа предложены частные критерии применимости, долговечности и экономичности. Окончательный выбор способа проводится с помощью технико-экономического критерия, связывающего долговечность детали с экономикой ее восстановления, по формуле

$$C_{\text{В}} \leq k_{\text{д}} C_{\text{Н}}, \quad (6.3)$$

где  $k_d$  – коэффициент долговечности восстановления детали как отношение долговечности восстановленной и новой деталей.

Критерии (6.2) и (6.3), по сути, схожи.

Е.Л. Воловик ввел условие, согласно которому сумма приведенных затрат при восстановлении конструктивно-технологических параметров изношенных деталей до уровня новых деталей должна быть минимальной.

Трудности применения комплексных стоимостных критериев вызвали необходимость применения частных критериев.

А.Н. Батищев ввел комбинированный критерий  $\varphi_{ki}$ , отражающий энерго-, трудоемкость, приведенные затраты и долговечность детали

$$\varphi_{ki} = \frac{K_{1i} K_{2i} K_{3i}}{k_{di}} \rightarrow \min, \quad (6.4)$$

$$K_{3i} = Z_{vi} / C_n,$$

где  $K_{1i}$ ,  $K_{2i}$ ,  $K_{3i}$  – соответственно коэффициенты энерго-, трудоемкости и экономичности ТП восстановления детали  $i$ -м способом;  $k_{di}$  – коэффициент долговечности восстановленной  $i$ -м способом детали;  $Z_{vi}$  – затраты на восстановление детали  $i$ -м способом;  $C_n$  – цена новой детали.

Коэффициент долговечности в выражении (6.4) определяют по отношению не к новой детали, а к нормативному ресурсу отремонтированного агрегата.

Показатели долговечности, явно введенные составной частью в объем содержания критериев восстановления деталей, затрудняют их применение заводскими специалистами. Разработка ТП восстановления детали с учетом величин послеремонтной наработки требует длительных исследований изменения размеров, зазоров и натягов в сопряжениях, формы и взаимного расположения поверхностей и других параметров во время эксплуатации отремонтированных агрегатов. Только длительность таких исследований превышает приемлемые сроки технологической подготовки восстановительного производства.

Задача выбора способа восстановления детали делится на две части: научную и инженерную.

Научная часть определяет состав необходимых свойств восстановленной детали и их значений. Основные из них – это чистота поверхно-



сти, физико-механические свойства элементов (состав, структура, твердость, микротвердость составляющих), геометрические параметры поверхностей (шероховатость, размеры элементов и их точность, точность формы и взаимного расположения поверхностей и осей), значение массы и ее распределение относительно оси вращения. Эти значения являются ограничениями для инженерной разработки процесса восстановления детали. Научная часть разработки формирует рациональное множество современных процессов и значений их параметров (основа технологии) для различных объемов восстановления, новые инструменты и схемы исполнительных механизмов (основа проектирования СТО). Указанные работы предшествуют заводской подготовке производства, по содержанию они рациональны для всех заводов ремонтной отрасли.

Инженерная часть включает выбор и описание совокупности технологических воздействий и СТО, обеспечивающих безусловное получение необходимых свойств восстановленной детали с минимальным расходом производственных ресурсов. Эти решения оптимальны для конкретных производств.

Многokrратно повторяющийся процесс восстановления детали должен быть построен оптимальным образом по критерию расхода производственных ресурсов с учетом ограничений по производительности и качеству восстановления.

*Постановка задачи выбора способа восстановления детали следующая:* из числа возможных видов и вариантов технологических операций, образующих процесс, найти такую их последовательность, которая обеспечит установленные ограничения по производительности процесса и качеству восстановления с наименьшими затратами.

Структура технического решения, положенного в основу ТП восстановления детали, базируется на графовом представлении возможных вариантов составляющих технологических операций, затрат на реализацию этих операций и поиска связного множества операций, удовлетворяющего ограничениям и обращающего в минимум значение целевой функции. При выборе варианта ТП одновременно ведут поиск как новых, так и оптимальных технических решений.

Структура процесса восстановления детали (см. рис. 1.2) описывается графом  $\Gamma$  (рис. 6.2), множество вершин которого  $p_{ij}$  соответствует множеству составляющих операций, а множество дуг  $l_{i, \dots, j+1}$  – затратам на подготовку и выполнение последующих операций:

$$\Gamma = (p_{ij}, l_{i, \dots, j+1}). \quad (6.5)$$

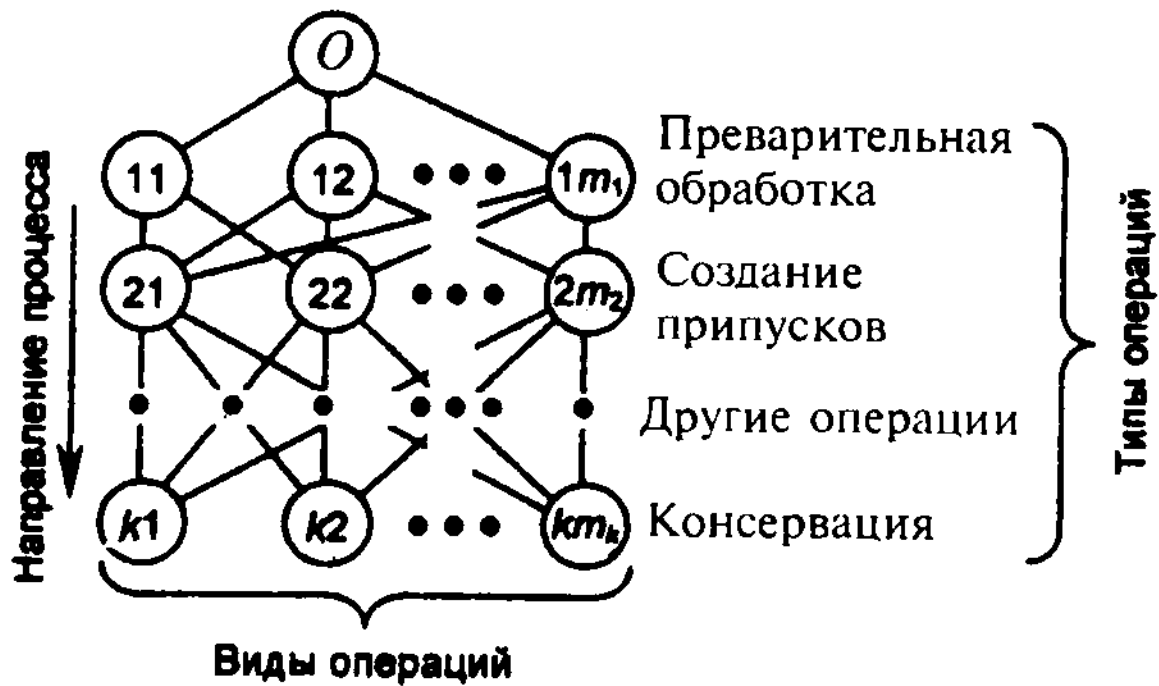


Рис. 6.2. Граф вариантов ТП восстановления детали:

$1, 2, \dots, k$  – типы операций;  $m_1, m_2, \dots, m_k$  – число видов операций каждого типа

Горизонтальные ряды вершин графа соответствуют подмножеству видов  $j = m$  операции  $i$ -го типа. В граф вводят лишь те технологические операции, которые способны обеспечить установленные ограничения по качеству и производительности восстановления.

Варианты технологических операций находятся из логических и эвристических представлений о различных способах преобразования энергии и материи, применении новых материалов и использовании различных физических эффектов и их сочетаний.

Связное подмножество вершин, взятых по одной из каждого ряда графа, определяет один вариант ТП. Число таких вариантов достигает произведения  $m_1 m_2 \times \dots \times m_k$ . Несовместимость некоторых операций между собой сокращает число вариантов процесса.

Определим длину каждого ребра графа как затраты на подготовку и выполнение последующей операции, отнесенные к одной детали. *Оптимизация задачи* выражается в поиске кратчайшего пути из вершины  $O$  в одну из вершин нижнего яруса графа, а соответственно подмножество вершин на этом пути определяет оптимальный состав операций ТП.

Кратчайший путь  $L_{i+1}$  между указанными вершинами определяют путем решения рекуррентного уравнения в каждой вершине графа:

$$L_{i+1} = \min(\text{по всем } i, \text{ по всем } m) [L_{(i+1)-1} + L_i], \quad (6.6)$$

где  $i$  – шаги решения;  $m$  – число видов технологических операции  $j$ -го типа;  $L_i$  – затраты на выполнение  $i$ -й операции при условии, что соот-

ветствующий участок графа выбран оптимальным образом;  $L_{i+1}$  – затраты, отнесенные к  $i+1$  операциям;  $L_{(i+1)-1}$  – затраты, отнесенные к присоединению  $(i+1)$ -й операции процесса к  $i$  его операциям.

Выбранные на графе направления движения из его вершин обозначают стрелками. Эти связи обуславливают оптимальные сочетания операций на предыдущих шагах с операцией на последующем шаге. Расчеты при этом ведутся от вершин нижнего их ряда к вершине  $O$ . В вершины графа вписывают значения  $L_{i+1}$ .

Двигаясь в найденных направлениях из вершины  $O$  графа через одну из вершин каждого яруса графа, находят сочетание операций, которое при прочих равных условиях обеспечивает наименьшие затраты на восстановление одной детали. Соответствующее значение целевой функции читают в верхней вершине графа.

### 6.1.3. Пример выбора способа восстановления детали

Рассмотрим пример выбора процесса восстановления гильзы цилиндра автомобильного двигателя ЗМЗ-53.

Материал детали – СЧ-18 или износостойкий чугун ИЧГ-33М. Устраняемые повреждения – износы зеркала цилиндра и наружной цилиндрической поверхности пояска.

Требования к восстановлению: твердость поверхности 170...240 НВ, допуски на диаметр цилиндра  $+0,06$  мм и на диаметр пояска  $-0,02$  мм, биение поверхности пояска относительно поверхности цилиндра 0,08 мм.

Морфологическая матрица и соответствующий граф вариантов ТП с затратами на подготовку и выполнение операций представлены в табл. 6.1 и на рис. 6.3. Значения длин дуг графа приведены в их разрывах. По существу, это значения затрат  $L_{(i+1)-1}$ , которые входят составной частью в рекуррентное уравнение (6.6).

Расчеты начинают с определения минимального значения функции  $L_{i+1}$  в вершинах предпоследнего, шестого яруса графа, потому что значения затрат  $L_i$  ниже седьмого яруса графа равны нулю.

Сравнение между собой длин дуг  $6в - 7б$  и  $6в - 7г$  дает основание выбрать направление движения вдоль второй дуги и ориентировать ее стрелкой в вершину  $7г$ , а в вершину  $6в$  вписать минимальное значение функции 7,4 р.

### 6.1. Морфологическая матрица составляющих операций ТП восстановления гильзы цилиндра

Тип	Операция		Координаты вершин	Затраты, р.
	Вид			
Создание при- пуска на обра- ботку зеркала цилиндра	Использование поверхностного изношенного слоя		2a	0
	Установка листовой ДРД*		2б	61,7
	Термопластическое обжатие		2в	17,4
	Напекание		2г	104,7
	Железнение		2д	67,3
То же, центри- рующего поя- ска	Электродуговое напыление		3б	11,3
	Железнение		3г	23,4
Черновая об- работка цен- трирующего пояска	Точение		4в	8,1
То же, зеркала цилиндра	Растачивание		5б	24,0
	Хонингование		5в	26,8
	Шлифование		5г	31,5
Чистовая обра- ботка зеркала цилиндра	Хонингование		6в	23,2
То же, центри- рующего поя- ска	Шлифование		7б	12,7
	Точение резцами из сверхтвер- дых материалов		7г	7,4

\* Дополнительная ремонтная деталь

Рассмотрим вершины пятого яруса. Вариантов движения из вершин 5б, 5в и 5г нет, поскольку из каждой вершины исходит по одной дуге. Все дуги помечаем стрелками, а в вершины вписываем сумму 30,6 р.

Из вершины 4в возможны три пути движения, но выбран путь 4в – 5б – 6в – 7г, потому что он дает минимальное значение  $L_{i+1} = 54,6$  р. Дуга 4в – 5в помечается стрелкой.

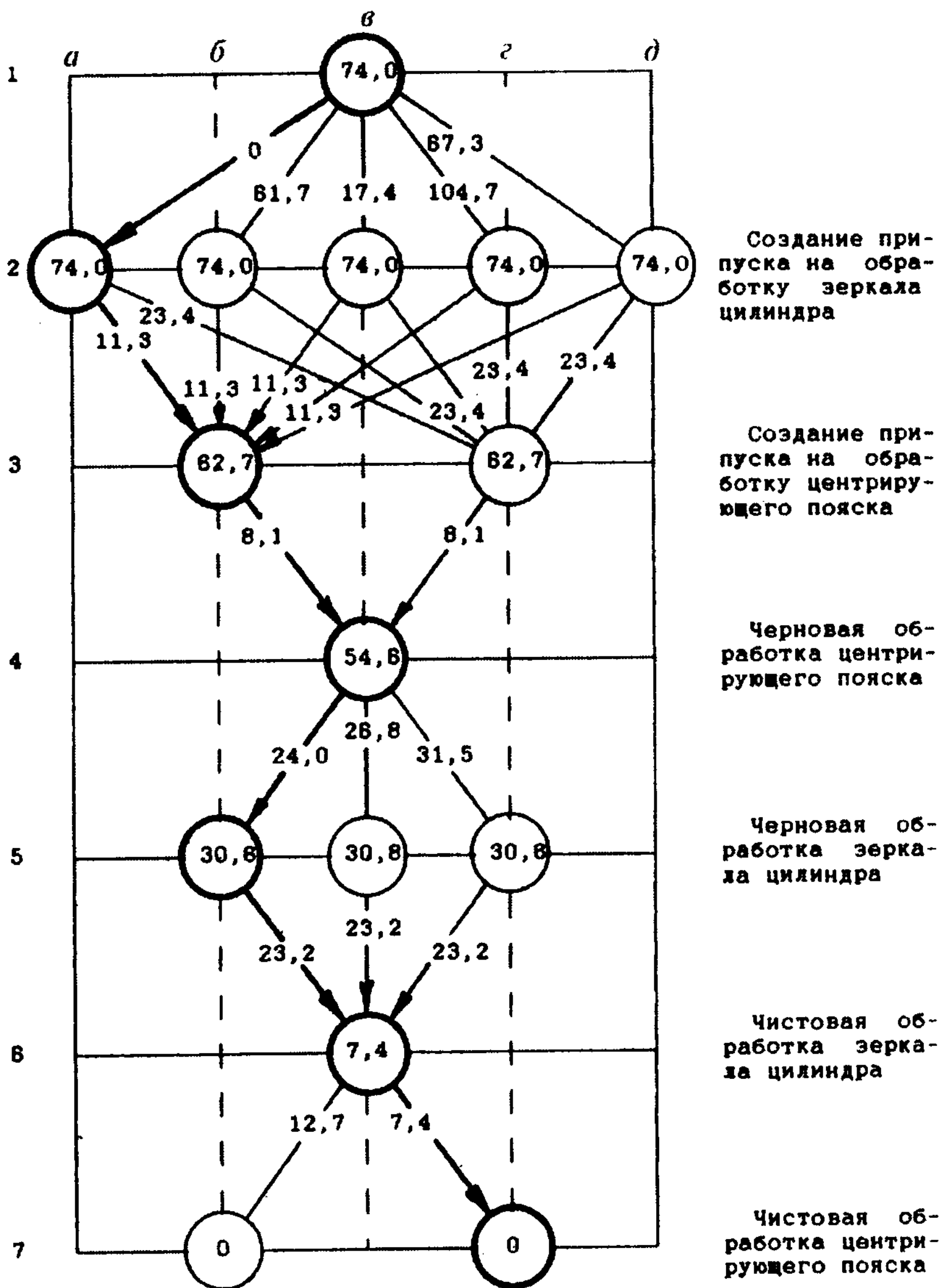


Рис. 6.3. Граф вариантов ТП восстановления гильзы цилиндра

Результаты рассмотрения значений функции  $L_{i+1}$  в вершинах  $3б$  и  $3г$  аналогичны полученным ранее результатам рассмотрения вершин пятого яруса.

Из каждой вершины второго яруса возможно движение в одну из двух вершин третьего яруса. Определим возможные пути движения из вершин  $2а$ ,  $2б$ ,  $2в$ ,  $2г$  и  $2д$  парным сопоставлением сумм длин дуг, исходящих из этих вершин, со значениями функции  $L_{i+1}$  в вершинах  $3в$  и  $3г$ . Все ориентированные дуги сходятся в вершине  $3б$ .

Из вершины  $1в$  возможно пять путей движения в вершины второго яруса, однако самый короткий путь в вершину последнего яруса проходит через вершину  $2а$ . Минимальное значение функции  $L_{i+1}$ , равное 74 р., определяет стоимость восстановления детали с применением ТП, который описывается сочетанием операций  $1в - 2а - 3б - 4в - 5б - 6в - 7а$  и состоит из электродугового напыления и точения пояска, растачивания и хонингования под ремонтный размер зеркала цилиндра и точения пояска резцами из сверхтвердых материалов.

Припуск на механическую обработку зеркала цилиндра за счет использования поверхностного изношенного слоя металла имеется лишь на заготовках, которые не исчерпали ремонтных размеров. В другом случае необходимо создавать припуск нанесением покрытия или пластическим деформированием материала заготовки.

Мысленно исключим из графа вершину  $2а$  и связанные с ней дуги. Если повторить расчет сначала, то для графа нового содержания оптимальный ТП описывается признаками  $1в - 2в - 3б - 4в - 5б - 6в - 7г$  и состоит из термопластического обжатия заготовки, электродугового напыления и точения пояска, растачивания и хонингования под номинальный размер зеркала цилиндра и точения пояска резцами из сверхтвердых материалов. Стоимость восстановления гильзы цилиндра в этом случае составляет 91,4 р.

Таким образом, предложенный метод выбора ТП восстановления детали основан на учете многообразия освоенных и гипотетически возможных составляющих способов создания ремонтных заготовок, обработки и упрочнения; удовлетворяет установленным ограничениям по качеству и производительности и требует наименьших затрат на свою реализацию. Если производственные возможности предприятия не позволяют внедрить предложенный процесс, то путем исключения неосуществимых признаков этого процесса можно найти другой процесс, наиболее близкий к оптимальному решению.

По причине изменения соотношения затрат на материалы, энергию и заработную плату и появления новых технических решений результаты оптимизации необходимо пересматривать.

## **6.2. Направления технологической унификации процессов восстановления деталей**

### **6.2.1. Виды технологической унификации**

Преимуществом технических решений в виде *технологической унификации* уменьшает разнообразие процессов и средств, исключает дублирование работ в технологической подготовке производства, уменьшает ее трудоемкость и длительность, расширяет масштабы распространения прогрессивных средств и процессов, реализует политику ресурсосбережения и обеспечивает гибкость производства. Основные средства технологической унификации – это установление рационального числа разновидностей ТП, близких по содержанию.

Технология восстановления деталей может быть организована как подефектная, маршрутная, типовая, групповая или модульная. Подефектная и маршрутная технологии были рассмотрены в разд. 2.2.6.

### **6.2.2. Типовая и групповая технологии**

Идеи типизации ТП заложил А.П. Соколовский. Под типизацией понимают создание процессов обработки групп конструктивно подобных деталей. Для их изготовления выбирают оптимальные маршруты, СТО и формы организации производства. Метод базируется на классификации процессов, в основе которого лежит классификация деталей. Класс представляет собой совокупность деталей, связанных общностью технологических задач.

Однотипные детали обрабатывают по типовым ТП, которые характеризуются единообразием содержания и последовательности выполнения большинства технологических операций и переходов для групп деталей с общими конструктивными признаками.

Технологическая типизация в восстановительном производстве получила широкое распространение в виде *типовых ТП* по нанесению покрытий.

Метод *групповой* обработки деталей предложил С.П. Митрофанов. Метод устанавливает однотипные способы обработки с использованием быстропереналаживаемых СТО для групп однородных по конструктивно-технологическим признакам деталей.

Принципиальное отличие двух методов заключается в том, что типовые процессы характеризуются общностью последовательности и содержания операций при обработке типовой группы деталей, а групповая обработка – общностью оборудования и технологической оснастки при выполнении отдельных операций или при полном изготовлении группы разнородных деталей.

### 6.2.3. Модульная технология

Модульный принцип формирования техники разработал А.Л. Васильев, а модульную технологию предложил и развил Б.М. Базров.

Сущность *модульных технологий* заключается в создании объектов и процессов из специализированных взаимозаменяемых блоков (модулей), сочетание которых определяется конкретными задачами и условиями производства. Модульная технология основана на представлении детали совокупностью геометрических модулей, под которыми понимают сочетание поверхностей, предназначенных для совместного выполнения служебной функции. Номенклатура модулей поверхностей ограничена 26 наименованиями, что открывает перспективы по типизации и унификации ТП, оборудования и оснастки.

Построение модульного ТП изготовления любой детали представляет собой компоновку типовых ТП изготовления модулей поверхностей. Каждый блок процессов обеспечен соответствующим типовым оборудованием, инструментальной и контрольно-измерительной оснасткой. Модульный процесс объединяет в себе преимущества единичного процесса (учитывает особенности конкретной детали), типового процесса (сохраняет идею типизации на уровне восстановления модуля поверхностей), группового процесса (объединяет разные детали в группы даже в единичном производстве) и придает процессу гибкость.

Модульная технология позволяет свести к минимуму разнообразие ТП и средств, исключить дублирование работ в области технологической подготовки производства, внедрить поточную организацию изготовления деталей в мелкосерийном и единичном производствах. Производство, построенное на модульном принципе, становится гибким, мобильным, способным в кратчайшие сроки с минимальными издержками переходить на выпуск новых изделий.

Преимущества такого подхода к проектированию, изготовлению и ремонту техники связаны с высокой технологичностью восстанавливаемых изделий, значительным повышением их надежности, расширением функциональных возможностей средств восстановления, существенным



уменьшением затрат на их создание, технологической гибкостью и возможностью быстрой модернизации и приспособленности к изменяющимся условиям.

Применение модульных технологий наиболее эффективно при подготовке многономенклатурного восстановительного производства. Такой подход позволяет интенсивно развивать отдельные средства и процессы при ремонте сложной техники. Особую актуальность это направление приобретает при отсутствии централизованного финансирования и нежелании нарождающегося бизнеса вкладывать средства в долгосрочные проекты. Применение модульного принципа построения оборудования и процессов для ремонта техники существенно расширяет ассортимент выпускаемой продукции с реконструкцией производства.

Капитальные затраты на создание модульного комплекса оборудования ниже, чем типового оборудования; реконструкция производства может выполняться поэтапно; средства, полученные от эксплуатации первых модулей, могут быть использованы для изготовления нового оборудования. Возможно перепрофилирование производства при его расширении, при этом уменьшаются сроки освоения производства.

При разработке модульного ТП описывают отдельные оптимизированные технологии восстановления всех типовых элементов детали во временной последовательности, тем самым формируют модули. Составляют схему блоков технологических операций восстанавливаемой детали. Все ранее полученные технологические модули восстановления элементов детали в порядке их следования вписывают в соответствующие блоки операций восстановления детали.

#### 6.2.4. Технологическая документация

Первичный документ, который определяет перечни устраняемых повреждений и основных операций восстановления, требования к качеству восстановленной детали, – это ее *ремонтный чертеж*. Этот документ разрабатывают на основании рабочего чертежа новой детали.

На ремонтном чертеже приводят изображение восстановленной детали, условия, при которых она не принимается на восстановление, технические требования к ней, таблицу повреждений с указанием способов их устранения и рекомендуемый основной технологический маршрут восстановления. При необходимости на ремонтном чертеже приводят данные по базированию и таблицы категорийных ремонтных размеров.

В технических требованиях указывают: размеры и их допустимые отклонения; параметры формы и расположения, их допустимые отклоне-

ния; шероховатость восстанавливаемых поверхностей, их твердость, разброс значений; допустимость наличия пор, раковин и отслоений; прочность соединения покрытия с основой, а также другие параметры, обусловленные применением конкретного способа восстановления детали.

Таблица повреждений располагается на поле ремонтного чертежа. Она содержит: наименования повреждений, при которых деталь подлежит восстановлению; указания по величине этих повреждений; коэффициенты повторяемости; возможные сочетания; основной и допускаемые способы устранения.

При использовании сварки, наплавки, напыления и других способов создания ремонтных заготовок указывают марку, размеры применяемого материала, защитную среду.

Описание ТП по степени детализации бывает *операционным* или *маршрутным*. Документация операционного процесса содержит указания о переходах и режимах обработки, а в документации маршрутного процесса их нет. В маршрутно-операционном процессе содержание отдельных операций излагается с указанием переходов и режимов обработки. Вид описания процесса выбирают в зависимости от сложности деталей и объемов их восстановления.

По числу рассматриваемых деталей и общности их признаков ТП бывают единичные, типовые, групповые и модульные.

*Единичный* процесс относится к изделию одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства.

*Типовой* процесс описывает обработку деталей с общими конструктивными признаками, а *групповой* – с общими конструктивно-технологическими признаками.

*Модульный* процесс основан на представлении процесса и средства ремонта совокупностями модулей.

*Комплект технологической документации* содержит: титульный лист; маршрутную или операционную карту; карту типовой (групповой) операции; карты эскизов; ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому ТП (операции); ведомость технологических документов; ведомость оснастки, оборудования и материалов.

Титульный лист относится к отдельному ТП или группе процессов, содержит название комплекта технологической документации с указанием детали, процесса, организации-разработчика, фамилий и подписей главного технолога и начальника ОТК. На титульном листе процесса главный инженер завода ставит утверждающую подпись.

Карты эскизов – графический материал, включающий эскизы, схемы и таблицы, необходимые для пояснения выполнения ТП, операции или перехода восстановления детали, включая контроль и перемещение.

Для типовых ТП восстановления поверхностей в качестве карты эскизов применяют ремонтный чертеж.

Первый эскиз процесса восстановления детали – это описание неустранимых и устранимых повреждений с их характеристиками. Последний эскиз относится к восстановленной детали с указанием всех контролируемых параметров. Промежуточные эскизы являются операционными, они описывают заготовку в результате всех технологических воздействий. Здесь приведены технологические базы и операционные размеры.

Технологические карты (маршрутная и операционная карты, карты ТП, типового или группового ТП) содержат описания всех технологических операций, включая контроль и перемещение, с указанием данных об оборудовании, оснастке, технологических режимах, материальных нормативах и трудовых затратах. Маршрутная карта является основным и обязательным документом, в котором описывается весь процесс в технологической последовательности. При разработке типовых или групповых процессов в маршрутной карте дают только постоянную информацию, относящуюся ко всей группе восстанавливаемых деталей или поверхностей. Операционная карта предназначена для описания технологической операции с указанием последовательного выполнения переходов, технологических режимов, СТО и основного времени. Состав сведений должен быть достаточным для выполнения операции с необходимым качеством.

Технологические карты модульного ТП разрабатываются предприятием по своим стандартам.

Ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому ТП содержит состав деталей или типоразмеров поверхностей, восстанавливаемых по данному процессу, и переменных данных о материалах, СТО, режимах и трудовых затратах. Переменные данные представляют в форме таблиц.

Ведомость технологических документов определяет их состав. Ведомости оснастки и оборудования содержат их перечни, которые необходимы для выполнения ТП.

Технологическую документацию разрабатывают в две стадии: для опытного восстановления (литера РО) и для серийного восстановления деталей. На ремонтном чертеже допускается указывать несколько вариантов восстановления одних и тех же элементов детали. На каждый принципиально отличный вариант восстановления детали (например, на

пластическое деформирование, электромагнитную наплавку) выполняют отдельный ремонтный чертеж. В обозначении этих чертежей добавляют через дефис римскую цифру I, II или III (соответственно для первого, второго и последующего вариантов восстановления). При этом первый вариант является основным.

### 6.3. Восстановление типовых деталей

Разнообразные по функциям и исполнению машины как объекты становятся однородными на уровне деталей. Анализ многообразия деталей по форме, материалам, размерам и служебному назначению показывает, что их группы могут быть отнесены к определенным типам. Для деталей одного типа можно разработать типовые ТП восстановления. Каждому типу деталей, как правило, соответствует свой участок восстановления, работающий по типовой технологии.

Техническое состояние приводимых ниже групп деталей (корпусных деталей, валов, гильз и стержней с отверстиями типа шатунов) в значительной мере определяет послеремонтную наработку отремонтированных агрегатов.

Далее будут рассмотрены процессы восстановления таких деталей.

#### 6.3.1. Корпусные детали

К корпусным деталям относятся: станины, блоки и головки цилиндров, картеры сцеплений, крышки распределительных шестерен, корпуса масляных и водяных насосов и др. Материал корпусных деталей, полученных из отливок, – серый чугун (СЧ 18), алюминиевый (Ал-4) или цинковый (ЦАМ) сплавы. Наиболее распространен первый вид материала.

Корпусные детали при работе выполняют функции относительного ориентирования движущихся деталей агрегата при его работе. Отличительные признаки таких деталей – коробчатая форма, необходимая для образования закрытого рабочего объема для размещения различных механизмов агрегата; жесткие стенки, подверженные статическим и динамическим нагрузкам, с ребренными приливами и бобышками, в которых выполнены гладкие и резьбовые отверстия или направляющие; наличие глубоких отверстий, выполненных в собранных деталях (в том числе из разных материалов), когда плоскость соединения проходит через ось отверстий; наличие стыковых плоскостей; высокая точность размеров, формы и расположения основных цилиндрических и плоских поверхностей.

Основные повреждения корпусных деталей – трещины в стенках, обломы, коробление или износ стыков, разрушение резьб, деформация или износ направляющих и отверстий, коррозия. Детали с трещинами, проходящими через приливы с точными отверстиями и резьбами, подлежат выбраковке.

В корпусных деталях восстанавливают геометрические параметры элементов, прочность и сплошность материала.

Наиболее сложная в технологическом отношении корпусная деталь двигателя – это блок цилиндров, который на операциях изготовления собирается с крышками коренных подшипников и картером сцепления. Эта сборочная единица не разукрупняется при эксплуатации и ремонте. Точность размеров, формы и расположения стыковых поверхностей и отверстий оказывает решающее влияние на долговечность отремонтированного агрегата, поэтому эти показатели имеют жесткие значения. Так, например, показатели, определяющие надежность подшипников коленчатого и распределительного валов, имеют допуски на размеры отверстий, соответствующие пятому-шестому качеству точности (рис. 6.4). Другие параметры (ГОСТ 24643–81) имеют следующую точность: суммарный допуск круглости и профиля продольного сечения отверстий шестой-седьмой степени; параллельность общей оси подшипников распределительного вала относительно крайних отверстий в коренных опорах восьмой-девятой степени, соосность средней коренной опоры относительно крайних пятой-шестой степени. Шероховатость обработанных отверстий  $Ra\ 0,63\ \text{мкм}$ .

Схема ТП восстановления корпусной детали следующая: предварительная механическая обработка поврежденных участков детали; изготовление ДРД; сварочные (в том числе связанные с закреплением ДРД) и

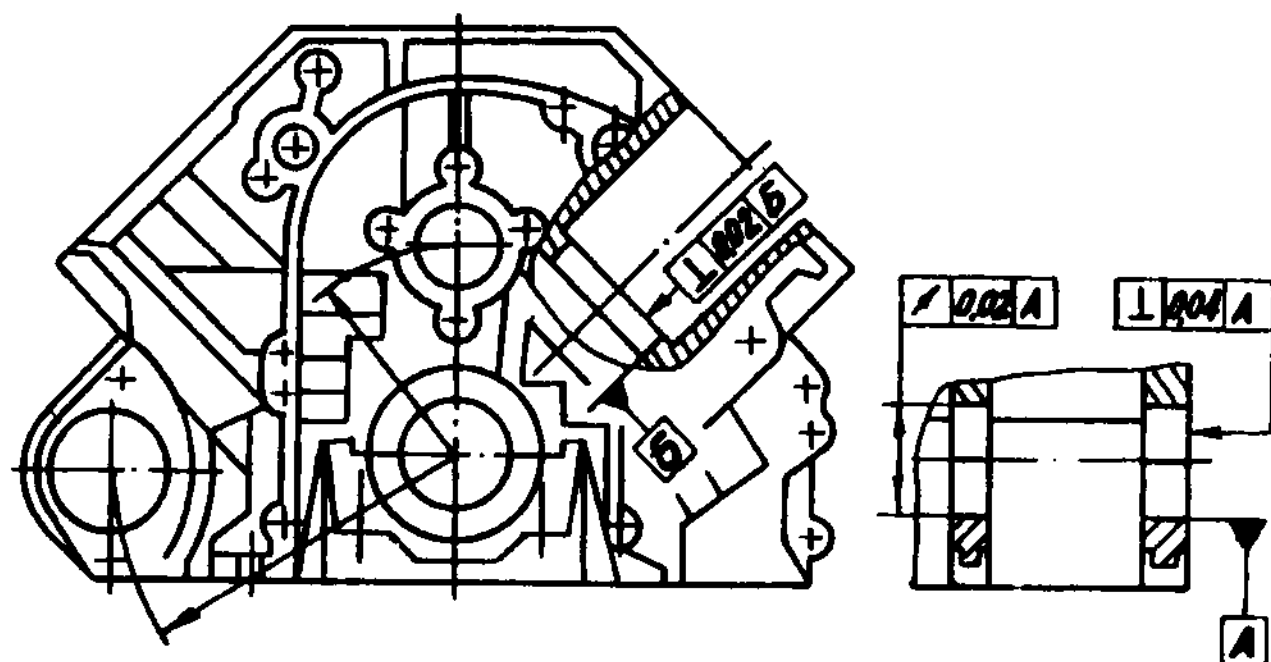


Рис. 6.4. Блок цилиндров

наплавочные работы; термические работы для снятия внутренних напряжений от сварки; напыление поверхностей; механическая обработка мест сварки; нанесение полимерных покрытий; установка ДРД, закрепляемых силами упругости, клеем и штифтами; черновая механическая обработка стыков и отверстий; нарезание резьб номинального и ремонтного размеров и установка спиральных резьбовых вставок; чистовая механическая обработка поверхностей; отделка поверхностей; очистка; контроль восстановления.

Механическая обработка в начале ТП восстановления детали служит для удаления поврежденных элементов, придания восстанавливаемым элементам правильной геометрической формы, разделки трещин, выполнения упоров и стыков под установку ДРД.

Трещины разделяют с помощью шлифовальной машины ИП 2002. В качестве инструмента используют абразивный круг. В концах трещин высверливают отверстия диаметром 3 мм. Трещины в чугунных стенках заваривают проволокой ПАНЧ-11 или -12 либо штучными электродами ЦЧ-3А участками шва 20...25 мм с его проковкой. Сварочные работы на деталях из алюминиевого сплава выполняют аргодуговой сваркой.

Сварочные и наплавочные работы связаны с тепловложением в материал детали и вызывают напряженное состояние материала и сопутствующие деформации. Эти деформации применительно к чугунным деталям могут быть уменьшены их предварительным нагревом перед сваркой до температуры 600 °С. Сварку выполняют латунью Л63 в ацетиленокислородном пламени. На место обломанных приливов корпусных деталей, выполненных из алюминиевого сплава, приваривают ДРД.

Блок цилиндров из алюминиевого сплава, изготовленный кокильным литьем, после сварки должен пройти термическую обработку при температуре 180 °С в течение 10 ч.

В этой части ТП наносят покрытия напылением.

В несилевых стенках трещины герметизируют нанесением эпоксидного компаунда на основе смолы ЭД16 или ЭД20 (см. разд. 5.3.3).

Основные восстанавливаемые элементы корпусной детали – это направляющие и отверстия под подшипники. В блоке цилиндров к ним относятся коренные опоры, которые представляют собой точное, прерывистое по длине отверстие, выполненное одновременно как в блоке цилиндров, так и в привинченных крышках.

В ремонтном производстве апробированы такие способы создания припусков на восстанавливаемых поверхностях опор под подшипники.

установка ДРД; нанесение эпоксидных композиций; проточное холодное железнение; газопламенная наплавка латуни; электродуговое и плазменное напыление.

Изношенные резьбы восстанавливают нарезанием резьбы ремонтного размера или заваркой отверстий с последующим сверлением и нарезанием резьбы номинального размера, или ввинчиванием вставки резьбовой спиральной (ТУ 70.0001.319–75) в предварительно нарезанную резьбу большего диаметра.

Средства и способы механической обработки, обеспечивающие необходимое качество восстанавливаемых поверхностей, следующие.

Коренные опоры растачивают на специальных станках одновременно с обработкой отверстий во втулках распределительного вала. Плоские поверхности фрезеруют или шлифуют.

Контрольные операции в конце процесса восстановления состоят из проверки: чистоты детали, ее герметичности, размеров геометрических элементов и их взаимного расположения, шероховатости поверхностей. Размеры отверстий контролируют индикаторными нутромерами. Взаимное расположение поверхностей измеряют индикаторными средствами. Особое внимание обращают на контроль чистоты и герметичность масляных каналов.

### 6.3.2. Полые тела вращения

К таким деталям относятся детали типа гильз и пальцев.

Распространен материал вставных гильз цилиндров (рис. 6.5) – серый чугун СЧ 24 или износостойкий чугун ИЧГ-33М твердостью 197...241 НВ. Наибольшему изнашиванию подвержено зеркало цилиндра. Деформируются центрирующие пояски и стыковые плоскости.

При наличии припуска на обработку зеркало гильзы цилиндров обрабатывают под ремонтный размер. Реже припуски под обработку зеркала цилиндра создают установкой ДРД в

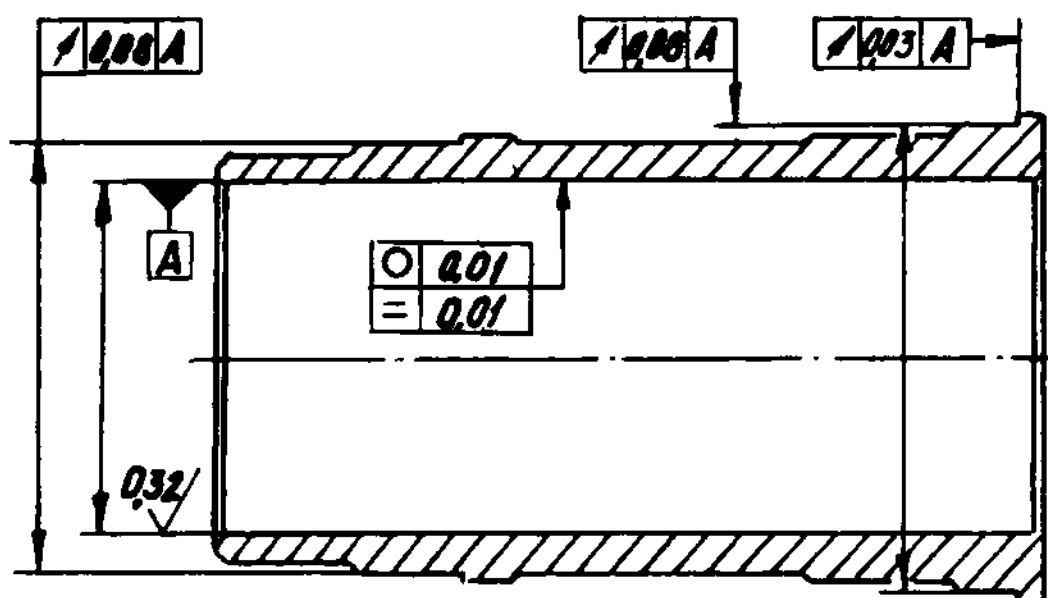


Рис. 6.5. Гильза цилиндров

виде закаленной свертной стальной ленты, напеканием порошков, электроконтактной приваркой стальной ленты или термопластическим обжатием.

Постановка ДРД в виде свернутой ленты включает: предварительное растачивание восстанавливаемой детали, мерную отрезку стальной полосы, свертывание полосы в трубу в приспособлении к прессу, поочередное (по длине) запрессовывание ДРД в гильзу, хонингование. В качестве материала ДРД применяют термически обработанную ленту из стали марок У8А, У10А, 70С2ХА, 65Г и др. Толщина ленты 0,6...0,8 мм. Длина заготовки полосы соответствует длине развертки восстанавливаемого цилиндра с учетом натяга, необходимого для закрепления ДРД в цилиндре.

При *центробежном индукционном напекании* порошков гильзу помещают в патрон установки с горизонтальной осью вращения, засыпают в гильзу порцию материала из композиции порошков ПЖ1 и ПГ-ХН80СР2 в равных долях и включают привод с частотой 350...450 мин<sup>-1</sup>. Порошок равномерно распределяется по поверхности гильзы. В отверстие ее вводят высокочастотный индуктор и включают напряжение. В течение 1...1,5 мин порошок нагревается и припекается к гильзе. Выключают нагрев и спустя 1,2...2 мин выключают привод. Долговечность гильз с таким покрытием в 2...3 раза выше, чем у расточенных под ремонтный размер без покрытия.

Электроконтактная приварка стальной ленты на поверхность цилиндра обеспечивает прочное соединение ленты с деталью, хороший теплоотвод от зеркала цилиндра в тело гильзы и отсутствие зазоров в стыках ленты. Внутреннюю поверхность гильзы растачивают, в нее вставляют ленту, которую приваривают с помощью установки 011-1-06.01, созданной во ВНИИТУВИД «Ремдеталь» (Москва). Способ позволяет неоднократно восстанавливать гильзы, в том числе расточенные до одного из ремонтных размеров. Преимущества приварки – отсутствие нагрева детали, возможность приварки ленты с внедрением твердых сплавов и высокая производительность.

Установка для термопластического деформирования гильзы включает: высокочастотный генератор, индуктор, спрейер, устройство возвратно-поступательного и вращательного движений гильзы. Гильзу устанавливают на стол, которому сообщают вращение и поступательное движение снизу вверх. Подают токи высокой частоты на индуктор и охлаждающий раствор в спрейер. Температура нагрева гильз от индуктора 840...880 °С.



При равномерном перемещении индуктора со спрейером относительно гильзы создается тепловое поле в материале гильзы и наблюдается значительный осевой температурный перепад, который обеспечивает равномерное пластическое обжатие гильзы, создающее припуск на ее внутренней поверхности. Ресурс гильзы 85...90 % от новой детали.

Возможно нанесение гальванических покрытий на зеркало цилиндра путем осаждения хрома, железа, железофосфористых и железоникелевых покрытий.

Припуск на центрирующем пояске гильзы создают с помощью электродугового напыления на установке мод. 01.15.102.

Восстановить плоскостность рабочего торца гильзы можно путем его подрезки на 1 мм под установку компенсирующего кольца такой же толщины при узловой сборке гильз с блоком цилиндров.

Механическая обработка зеркала гильзы сводится к растачиванию и хонингованию.

Гильзы цилиндров растачивают резцами с пластинками из твердого сплава ВК-3 или ВК-6 при частоте вращения шпинделя  $300 \text{ мин}^{-1}$  и его подаче 0,1 мм/об на алмазно-расточных станках 2Е78. СОЖ – Аквол-11. Производительность обработки повышается, а шероховатость поверхности уменьшается за счет применения инструмента из сверхтвердых материалов, например эльбора-Р при частоте вращения шпинделя  $750 \text{ мин}^{-1}$  или гексаниа-Р при  $1200 \text{ мин}^{-1}$ . При обработке деталей инструментом из сверхтвердых материалов СОЖ не применяют.

Детали при обработке закрепляют в пневматическом приспособлении. Перпендикулярность к оси зеркала гильзы и допустимое биение ее центрирующего пояска относительно зеркала цилиндра обеспечивают базированием и обработкой.

Зеркало цилиндра после растачивания хонингуют брусками АСБ 125/100 100 М1 и АСМ 28/20 100 М1 до получения точности пятого-шестого качества и шероховатости до 0,16 мкм. Овальность и конусообразность обработанного отверстия  $\leq 0,005 \text{ мм}$ . Частота вращения хонинговальной головки при диаметре обработки 90...100 мм составляет  $155 \text{ мин}^{-1}$  при скорости поступательного перемещения 12...18 м/мин. Давление брусков на зеркало цилиндра при чистовой обработке 0,5...0,8 МПа.

Приведенный режим обеспечивает эффект плосковершинного хонингования, в результате которого образуется несущая поверхность трения с шероховатостью 0,32 мкм, составляющая 70...90 % общей площади зеркала цилиндра. Остальную площадь занимают скрецающиеся дис-

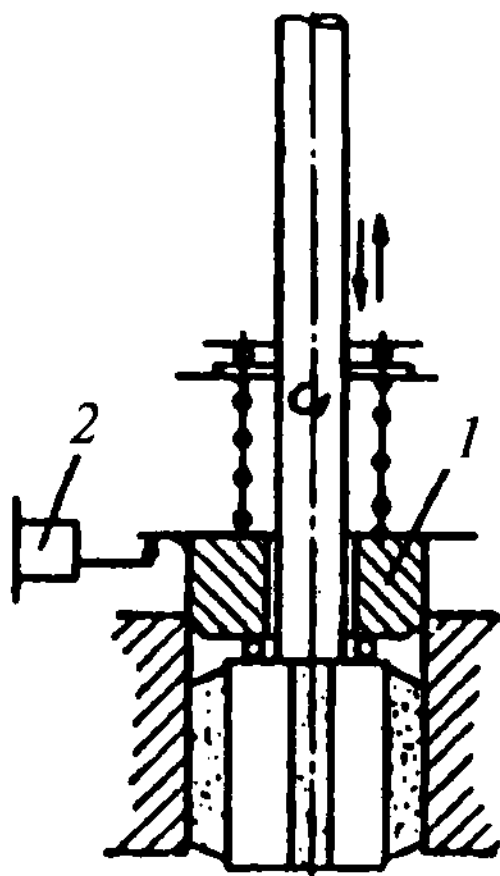


Рис. 6.6. Схема измерительного устройства для хонинговального станка

Средства активного контроля размера обработки (рис. 6.6) в своем составе имеют жесткий калибр 1. Этот калибр движется вместе с хонинговальной головкой и при достижении диаметром обрабатываемого отверстия заданного значения входит в него, вызывая срабатывание электроконтактного преобразователя 2, который выдает сигнал на прекращение обработки.

Дальнейшим развитием способа является процесс антифрикционного хонингования, обеспечивающий приработочный износ гильз, в 3 раза меньший, чем после традиционного хонингования. После двух операций хонингования поверхность обрабатывают брусками, содержащими приработочные антифрикционные материалы (графит, дисульфид молибдена). Давление брусков на обрабатываемую поверхность 0,2...0,4 МПа. Для закрепления покрытия на зеркале цилиндра в зону обработки вводят порцию водорастворимого полимера композит-81 через отверстия хонинговальной головки.

На контрольной операции перспективно применение пневматических длинномеров для измерений внутреннего диаметра гильз цилиндров и сортировки их на размерные группы.

Поршневые пальцы изготовлены из стали 15Х или стали 45, материал деталей проходит улучшение. Поверхность пальцев закалена ТВЧ до твердости 58...65 HRC на глубину 1...1,5 мм. Деталь имеет отклонение

ки глубиной 7...10 мкм от предварительного хонингования. Угол пересечения рисков зависит от соотношения скоростей возвратно-поступательного и вращательного движений хонинговальной головки, он должен составлять 43...55°. Последнее обстоятельство существенно, поскольку при угле пересечения рисков  $< 43^\circ$  в процессе эксплуатации наблюдается сухое трение, а при угле  $> 55^\circ$  – повышенный расход масла. Шероховатость гильз цилиндров с плосковершинным профилем зеркала цилиндра контролируют на профилографе, шероховатость других поверхностей оценивают в цеховых условиях с помощью образцов шероховатости.

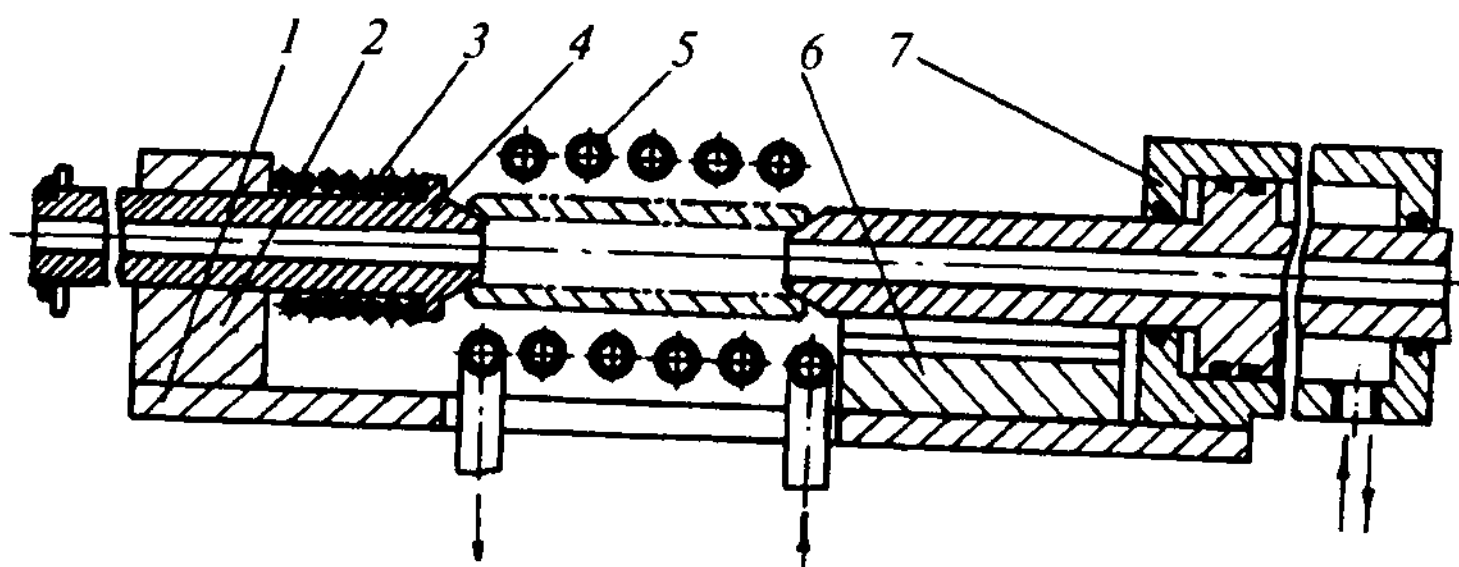


Рис. 6.7. Схема станда для термопластической раздачи поршневых пальцев:  
 1 – плита; 2 – кронштейн; 3 – пружина; 4 – полый шток; 5 – индуктор;  
 6 – направляющая призма; 7 – пневмоцилиндр

наружного диаметра  $-0,010$  мм, шероховатость рабочей поверхности  $0,16$  мкм, допуск массы 2 г. Повреждения поршневого пальца – износ рабочей поверхности. Ремонтную заготовку поршневого пальца получают нанесением хромового покрытия на его трущуюся поверхность, термопластической (рис. 6.7) или электрогидравлической раздачей (см. разд. 3.10.2).

### 6.3.3. Валы, оси

Восстановленные валы служат в машинах для передачи момента и преобразования движений (поступательного во вращательное или наоборот). Наиболее сложные детали автомобиля, относящиеся к классу валов – это коленчатые (рис. 6.8) и распределительные валы. Детали

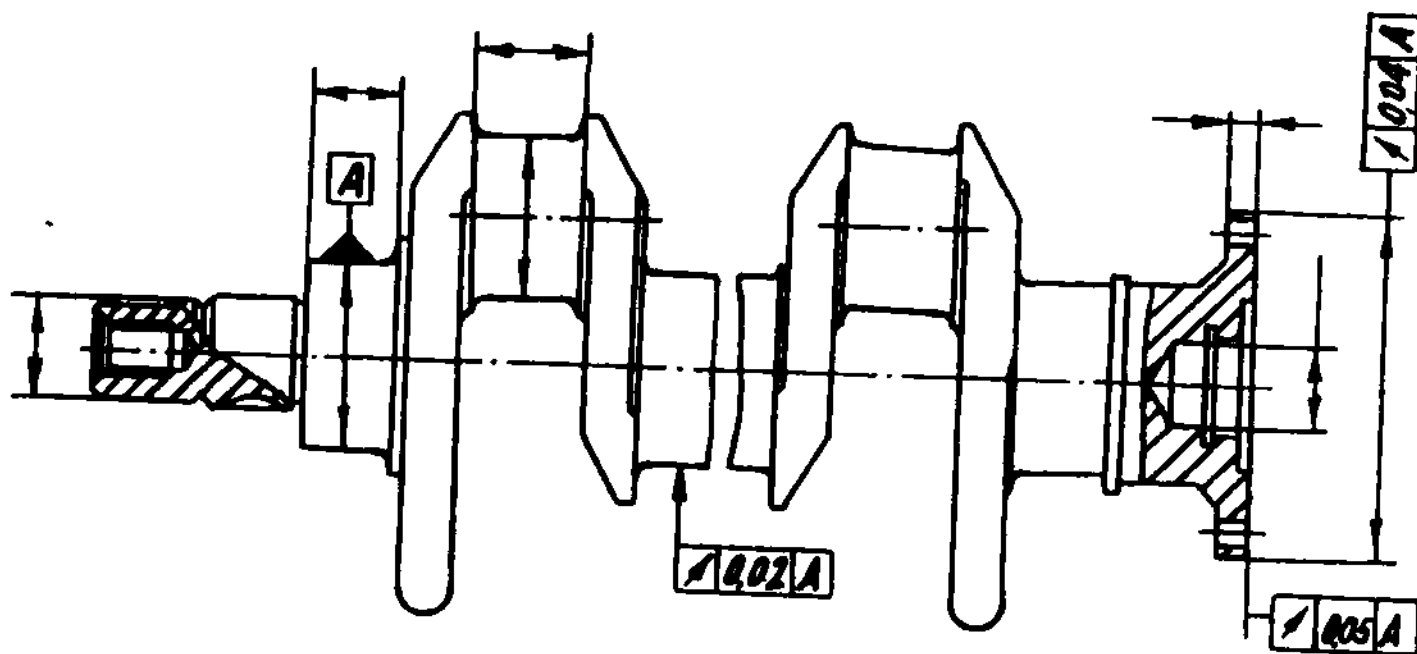


Рис. 6.8. Коленчатый вал

имеют такие конструктивные элементы: шейки, кривошипные кулачки, шпоночные пазы, торцы, стыки и отверстия.

Оси в отличие от валов не передают крутящие моменты и нагружены только поперечными силами и изгибающими моментами. Оси содержат часть перечисленных конструктивных элементов, принадлежащих валам.

Коленчатые валы изготовлены из конструкционных (сталь 45) или легированных (18ХНВА) сталей или высокопрочного чугуна (ВЧ 50-2). Распределительные валы изготовлены из улучшаемых сталей 45, 40Г, 50Г или цементуемых 20, 20Г. Шейки и кулачки валов закалены ТВЧ на глубину 1,5...3,5 мм до твердости 36...60 НРС.

Основные повреждения деталей – износ шеек, кулачков, пазов, отверстий и торцев, деформации, износ резьб, усталостные трещины. У деталей восстанавливают расположение, форму, размеры и шероховатость элементов, износостойкость трущихся поверхностей и усталостную прочность. При восстановлении осей нет необходимости восстанавливать последнее свойство.

Точность обработки восстановленных шеек и кулачков – пятый-седьмой квалитеты, шероховатость поверхностей  $Ra$  0,32...0,63 мкм, точность углового расположения кулачков и кривошипов  $\pm 7,5'$ , допуск на радиус кривошипа +0,05 мм.

Последовательность технологических операций восстановления деталей следующая: определение места расположения и размеров усталостных трещин и принятие решения о целесообразности восстановления детали; правка; подготовка поверхностей под нанесение покрытий или установку ДРД; нанесение покрытий или установка и закрепление ДРД; термическая обработка; черновая механическая обработка; закалка шеек ТВЧ; чистовая механическая обработка; упрочнение галтелей; отделка шеек.

Чугунные детали с усталостными трещинами подлежат выбраковке. Отдельные неопасные трещины в стальных валах могут быть разделаны абразивным инструментом по всей длине с целью образования канавки радиусом 1,5...2,0 и глубиной 0,2...0,4 мм. Острые кромки следует притупить по периметру.

Правка детали необходима для придания прямолинейности ее оси, что, в свою очередь, позволяет уменьшить величину припусков на обработку, использовать все ремонтные размеры детали и уменьшить ее дисбаланс. Стальные валы правят под прессом с приложением статической нагрузки. Чугунные валы правят с нагревом или созданием преимущест-

венно сжимающих напряжений в объеме одной шейки (поэлементная правка). При правке статической нагрузкой возможно появление трещин, поэтому целесообразно применение правки наклепом – нанесением ударов клепальным молотком по поверхностям шек.

В зависимости от твердости материала предварительную механическую обработку шеек ведут точением или шлифованием.

Шейки валов допускают обработку под ремонтные размеры. Ремонтный интервал шеек, как правило, 0,25 мм. Кулачки при первом восстановлении шлифуют «как чисто» до допустимого размера их цилиндрической части. Восстановление деталей под ремонтные размеры обеспечивает минимальную трудоемкость процесса.

В ходе восстановления детали припуски под обработку создают на шейках, их торцах и на поверхностях отверстий под подшипники. Основные способы нанесения покрытий на поверхности стальных валов сводятся к различным видам наплавки и напыления. Наиболее распространены три технологии наплавки.

Первая технология основана на применении пружинной проволоки второго класса диаметром 1,6 мм и флюса АН-348А с добавками 2,5 % феррохрома и 2 % графита. Материалы обеспечивают достаточную твердость и износостойкость наплавленного слоя. Затем шейки шлифуют и полируют. Способ нетрудоемок, обеспечивает высокую износостойкость шеек, но имеет существенный недостаток – возможность появления трещин при правке и микротрещин при шлифовании.

Вторая технология предусматривает применение проволоки Нп-30ХГСА диаметром 1,6 мм под слоем флюса АН-348А [на Полоцком заводе «Проммашремонт» применяют композицию: АН-348А (основа), 0,3 % графита и 10 % АН-20]. После наплавки заготовку нормализуют, обтачивают и правят. После закалки шеек ТВЧ их шлифуют и полируют. Технология характеризуется увеличенной трудоемкостью восстановления, но обеспечивает стабильное качество с высокими показателями износостойкости и усталостной прочности.

По третьей технологии ведут широкослойную наплавку проволокой Св-08 под ферромагнитной шихтой, в которую входят: серебристый графит – 16 %, алюминиевая пудра – 7 %, комплексный модификатор ЖКМК (ТУ ЧЭМК 14-5-39-74) – 3 % и железный порошок ПЖ4МЗ (основа). Режим наплавки: сила тока 200...220 А, скорость вращения детали  $0,5 \text{ мин}^{-1}$ , частота колебаний наплавочной головки  $34...38 \text{ мин}^{-1}$ , расход шихты 60...80 кг/ч, подача проволоки 6 м/мин, длина выступания электрода 23...25 мм. Широкослойная наплавка дает наибольшее тепловложение в материал детали.

Высокую износостойкость шеек обеспечивает наплавка по винтовой линии порошковой проволокой ПП-Нп40Х4Г2МНТФ под флюсом АН-4491.

Большие технологические трудности представляет нанесение покрытий при ремонте коленчатых валов, изготовленных из высокопрочного чугуна. В ремонтной практике применяются или прошли апробацию различные способы нанесения покрытий: наплавка самозащитной проволокой Св-15ГСТЮЦА; вибродуговая наплавка в водокислородной среде и в 20%-ном водном растворе глицерина; наплавка по оболочке из низкоуглеродистой стальной ленты; одно- или двухслойная наплавка под флюсом; нанесение плазменных покрытий. Применяют различные способы установки и закрепления ДРД. По данным проф. Ф.Х. Бурумкулова (ВНИИТУВИД «Ремдеталь»), наилучшие показатели износостойкости и усталостной прочности шеек коленчатых валов обеспечивают способы нанесения плазменных покрытий и установки стальных закаленных ДРД.

Плазменное покрытие из композиции порошков наносят на подслое из материала ПН85Ю15. Состав композиции: 50 % ПГ-СРЗ, 30 % ПЖ4 и 20 % ПН85Ю15. Покрытие напыляют на установке (рис. 6.9).

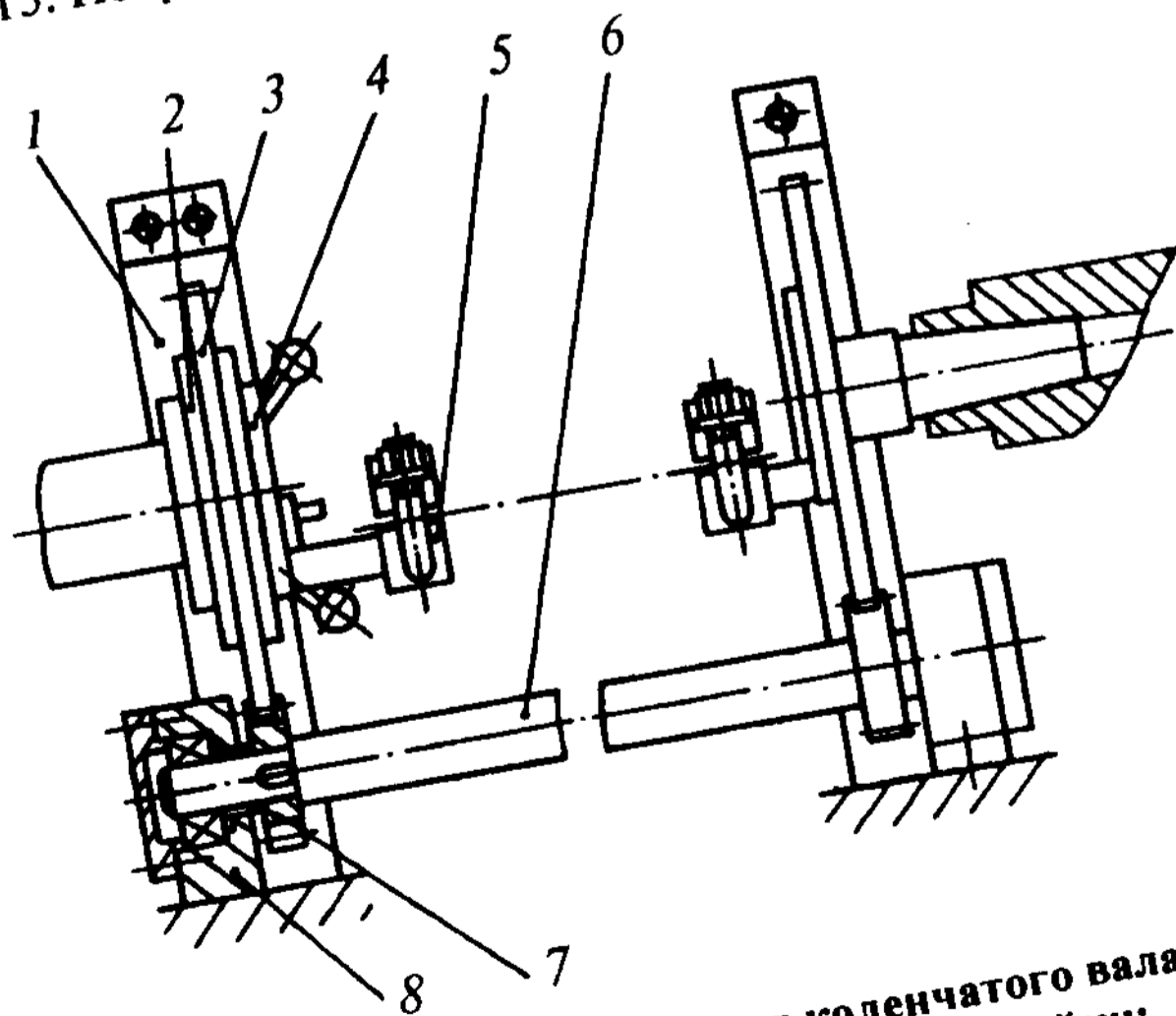


Рис. 6.9. Схема вращателя коленчатого вала для напыления покрытий на его шейки:  
1 – кожух; 2 – планшайба; 3 – зубчатое колесо; 4 – диск; 5 – клемма;  
7 – шестерня; 8 – корпус подшипника

Процесс восстановления коленчатого вала установкой ДРД подразумевает: предварительную обработку шеек, изготовление ДРД и закрепление их на шейках, обработку шеек (при необходимости).

Шейки с приваренными или припаянными ДРД окончательно шлифуют до номинального размера. Размер восстановленной шейки с ДРД, закрепленными силами упругости по упорам, обеспечивают предварительным шлифованием и подбором толщины ленты ДРД.

Припуск на обработку отверстия под подшипник создают запрессовыванием ДРД или вибродуговой наплавкой. Отверстие обрабатывают с базированием детали по коренным шейкам, одна из них – самая близкая к обрабатываемому отверстию.

Ремонтные заготовки распределительных валов получают с применением оборудования для наплавки или напыления шеек и кулачков (рис. 6.10).

В качестве технологических баз у распределительных валов используют центровые отверстия и боковую поверхность шпоночного паза, а у коленчатых валов – дополнительно коренные шейки.

Шлифование шеек коленчатых валов ведут на специализированных станках ЗВ423. Недостатком обработки является односторонний привод детали со стороны передней бабки, что приводит к деформации детали во время обработки. Этот недостаток устранен в станках ХШ 2-01 и ХШ 2-16 с двусторонним приводом обрабатываемого вала со стороны передней и задней бабок. Последние станки обеспечивают равномерную подачу шлифовальной бабки на деталь. Нецилиндричность поверхности до 0,005 мм достигается выхаживанием детали в конце обработки в течение пяти-семи ее последних оборотов.

Уменьшение овальности конусо- и седлообразности шеек коленчатого вала с 0,01 до 0,006 мм увеличивает срок службы вкладышей в 2,5...4 раза. Повышение точности поверхностей деталей достигается применением средств активного контроля в процессе обработки. В условиях ремонтного

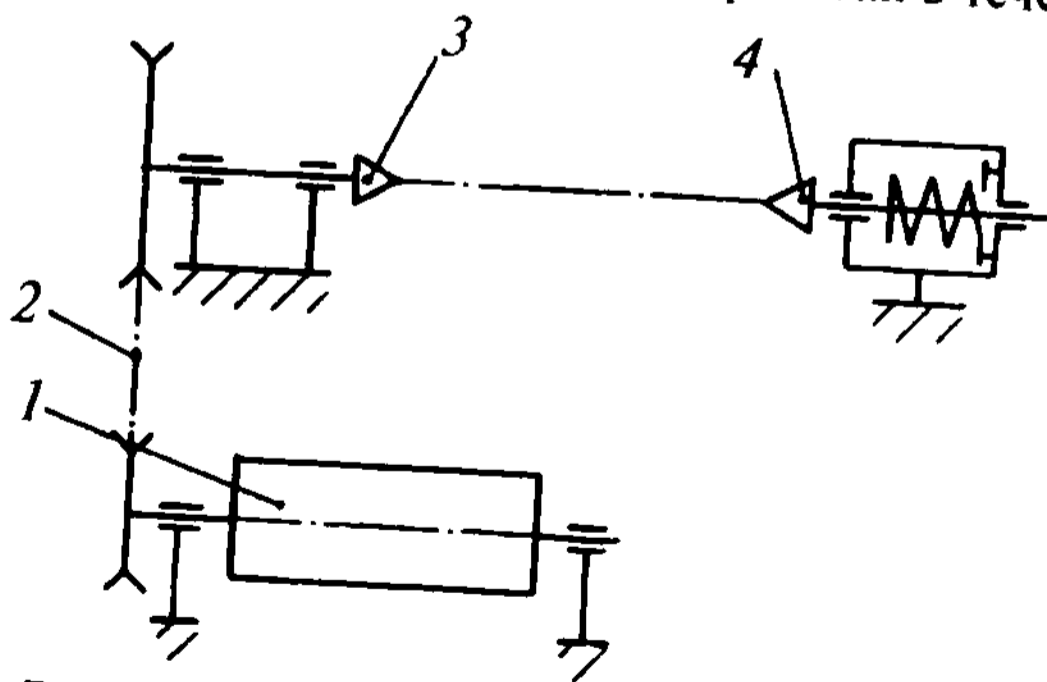


Рис. 6.10. Схема станка для газопорошковой наплавки кулачков распределительного вала:

1 – барабан; 2 – цепная передача;  
3 – ведущий центр; 4 – ведомый центр

производства используют эти средства для деталей типа вала на вальных станках, оснащенных механическими, пневматическими индуктивными приборами. На рис. 6.11 показана скоба для измерения диаметра шеек вала при их шлифовании.

Скобу устанавливают на кожухе шлифовального круга с пикронштейна. Устройство ориентируется относительно обрабатываемых деталей с помощью опор 1 из твердого сплава. Измерительное перемещение от детали передается посредством штанги с твердосплавными наконечниками к стержню индикаторной головки 4. В качестве последнего применяются индикаторы часового типа или рычажно-зубчатые приборы с ценой деления 0,001 мм. Измерительное усилие, равное 4...5 кН, создается пружиной 3. Усилие прижима неподвижных наконечников скобы к детали регулируют с помощью опоры 5. Особый болт 2, регулирует размер между опорными элементами скобы на расстоянии от обрабатываемой детали. Диаметр шейки измеряют в процессе обработки без останова станка.

Шейки распределительного вала шлифуют в центрах на станке 3М151, а кулачки – на специальном копировально-шлифовальном станке.

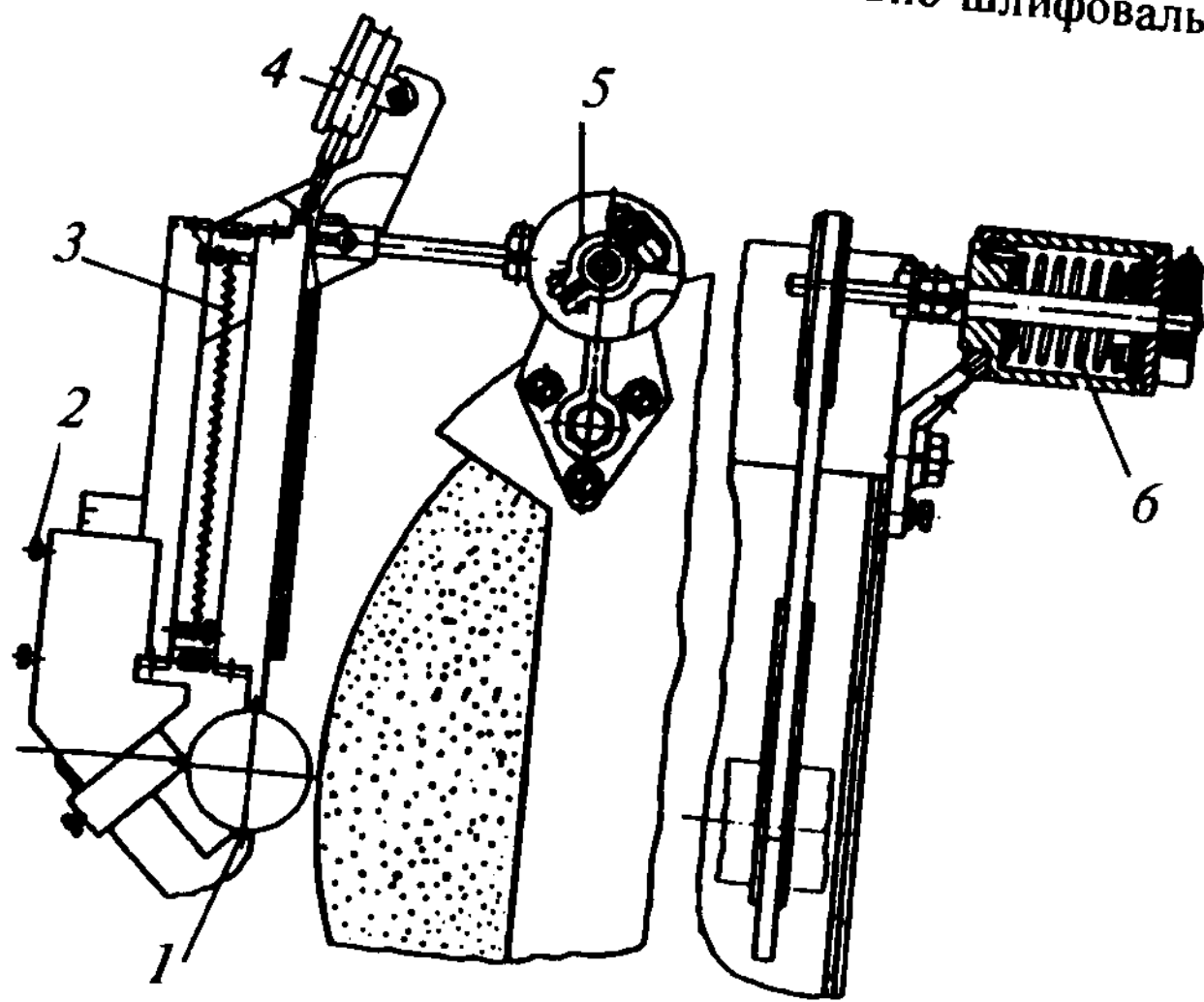


Рис. 6.11. Скоба для измерения диаметра шеек валов при их шлифовании



ЗМ433У. Установочно-копирная наладка выполняется отдельно для каждого типоразмера детали. Угловое перемещение детали относительно оси ее вращения при установке и закреплении перед шлифованием кулачков осуществляют с помощью делителя, который расположен на шейке под шестерню и ориентирован шпонкой в пазу детали.

Усталостную прочность восстанавливают поверхностным пластическим деформированием. Операция обеспечивает создание остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое, в котором уничтожаются субмикроскопические трещины, которые могут стать источниками усталостного разрушения.

Полирование является отделочной операцией, на нее оставляют припуск 0,005 мм. Для полирования коленчатых валов применяют специальные станки СШ-4516. В качестве инструмента используют шлифовальные шкурки на тканевой основе 0,2 Э 600×30 УГТ, 23А, М50-Н СФ Ж, А (ГОСТ 13344–79). При отсутствии специального полировального оборудования применяют ленточно-полировальные головки, устанавливаемые на шлифовальные станки, или изготавливают собственными силами станки с войлочными кругами или жимками. В последнем случае в качестве абразивного материала служит паста ГОИ.

После восстановления контролируют следующие параметры деталей: твердость поверхностей шеек; размеры (диаметр и длину) шеек и шероховатость их поверхностей; диаметры фланца и отверстий под болты и подшипник; длины от базового торца до торцев шеек; ширину шпоночных пазов; биения всех соосных цилиндрических поверхностей относительно крайних шеек; радиусы кривошипов; угловое расположение всех кривошипов и кулачков относительно шпоночного паза.

Параметры расположения измеряют на индикаторных приборах собственного изготовления, остальные параметры – универсальными средствами или калибрами.

#### **6.3.4. Вкладыши подшипников**

Вкладыши коленчатых валов карбюраторных двигателей допускают одно растачивание под ремонтный или номинальный размер на станках повышенной точности Одесского станкозавода. При исчерпании такой возможности на рабочие поверхности сталеалюминиевых вкладышей, выполненные из материала АО-20-1 или АО-6, наносят гальванические покрытия. По технологии НПО «НИИ тракторосельхозмаш» (Москва) на трущиеся, изношенные не менее чем на 0,03 мм предварительно расточенные поверхности наносят покрытия из сплава СОС-6-6 толщиной

25 мм. Сплав СОС-6-6 состоит из олова (5,5...6,5 %), сурьмы (5,5...%) и свинца (остальное).

Процесс нанесения покрытия включает следующие операции:

- электролитическое обезжиривание на аноде и катоде в электролите состава:  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  (20...40 г/л),  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (20...40 г/л) при температуре 50...70 °С, плотности тока 3,5...5 А/дм<sup>2</sup> в течение 3 мин;
- горячую промывку в воде при температуре 70...90 °С в продолжение 1 мин;
- холодную промывку в воде при температуре 18...20 °С в течение 1 мин;
- травление и осветление в растворе состава:  $\text{HNO}_3$  (420 г/л),  $\text{HCl}$  (20 г/л) при температуре 18...25 °С в течение 1 мин;
- двукратную промывку в воде при температуре 18...25 °С в продолжение 2 мин;
- цинкатную обработку в растворе состава, г/л: 425...525  $\text{NaOH}$ , 100...100  $\text{ZnO}$ , 1...1,2  $\text{FeCl}_3$ , 10...15 сегнетовой соли при температуре 18...20 °С в течение 6,5 мин;
- двукратную промывку в воде при температуре 18...25 °С за 2 мин;
- повторение операций травления с осветлением, промывки в холодной воде и цинкатной обработки с промывкой в холодной воде;
- никелирование с перемешиванием раствора состава, г/л: 85...312  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 10...50  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 40  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0,15...2  $\text{H}_2\text{O}_2$  при температуре 45...55 °С, плотности тока 2...2,2 А/дм<sup>2</sup> в течение 6 мин (толщина покрытия достигает 2,5 мкм);
- двукратную промывку в воде при температуре 18...25 °С в течение 2 мин;
- осаждение баббита СОС-6-6 в растворе состава, г/л: 185  $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$ , 185  $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$ , 18,8  $\text{Sb}(\text{BF}_4)_3$ , 80  $\text{HBF}_4$ , 25  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0,5...1 желатина, 5...7 резорцина при температуре 18...20 °С, плотности тока 4 А/дм<sup>2</sup> в течение 125 мин. Толщина покрытия достигает 125 мкм;
- нанесение трехкомпонентного прирабочного покрытия из олова (8...12 %), меди (2...3 %) и свинца (остальное) на установке ГУ-2. Материал анода – сплав олова со свинцом, где свинца 8...10 %. Состав электролита, г/л: 331...472  $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$ , 49,2...70,4  $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$ , 10...15  $\text{Cu}(\text{BF}_4)_2$ , 70...100  $\text{HBF}_4$ , 30  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 5...6 резорцина. Процесс протекает при температуре 18...25 °С, плотности тока 10,8 А/дм<sup>2</sup> в течение 250 с;
- двукратную промывку в воде при температуре 18...25 °С в течение 2 мин;

– нанесение декоративного покрытия из олова и свинца, где олова 8...10 % в растворе состава, г/л: 185  $Pb(BF_4)_2$ , 50...74  $Sn(BF_4)_2$ , 80  $HBF_4$ , 25  $H_3BO_3$ , 0,5...1 желатина, 5...7 резорцина при температуре 18...20 °С, плотности тока 1...2 А/дм<sup>2</sup> в течение 1...2 мин. Толщина покрытия достигает 2 мкм;

– промывка в воде соответственно при температуре 18...25 и 70...90 °С по 1 мин.

Приведенные операции выполняют над деталями, установленными на подвеске. Окончательную механическую обработку не ведут.

С целью совершенствования процесса в Белорусском государственном университете (Минск) разработан способ восстановления изношенных вкладышей подшипников путем гальванического осаждения многокомпонентных функциональных покрытий. Способ обеспечивает необходимое сочетание свойств: толщины, коэффициента трения, адгезии, микротвердости и др. Технология включает: предварительную механическую обработку вкладышей, их обезжиривание, травление, осаждение тонкого никелевого покрытия на алюминиевую основу внутренней поверхности детали и осаждение антифрикционных сплавов Pb–Sn–Sb или Pb–Sn–Cu из борфтористо-водородных электролитов. Введение в свинцово-оловянные сплавы третьего компонента повышает их микротвердость, улучшает прирабатываемость, износостойкость и стойкость против эрозии.

Наряду с солями осаждаемых металлов электролиты содержат свободные борфтористую и борную кислоты, желатин и резорцин. Борфтористая кислота регулирует pH прикатодного слоя и увеличивает рассеивающую способность и стабильность электролита. Борная кислота выступает в качестве буферной добавки. Желатин и резорцин регулируют относительные скорости осаждения компонентов сплава и способствуют получению мелкозернистых плотных покрытий. Механическое перемешивание электролита сводит к минимуму пористость осадков и повышает скорость охлаждения. Процесс ведут при комнатной температуре и плотности тока до 4 А/дм<sup>2</sup>. Подобранные составы растворов и режимы осаждения позволяют осуществлять процесс со скоростью до 1,35 мкм/мин.

Производительность процесса зависит от объема используемых ванн и толщины покрытия. В двух-трех ваннах объемом 350...370 л можно нанести покрытие толщиной 125 мкм на поверхности 500...600 вкладышей в смену.

Восстановленные по разработанной технологии комплекты вкладышей эксплуатируются на двигателях ЗМЗ-53-11 в хозяйствах Витебской области с февраля 1998 г. Нарботка этих двигателей превысила 70 тыс. км пробега.

Имеются предложения по восстановлению изношенных вкладышей подшипников пайкой или напылением. Наряду с достоинствами указанные способы имеют и существенные недостатки, связанные с невозможностью одновременного восстановления большого числа деталей и их деформациями в результате термического влияния от газового или плазменного факела. Возникают также проблемы из-за невысокой адгезии напыленных покрытий с основой.

Затраты на восстановление вкладышей составляют 10...50 % стоимости новых деталей.

### **6.3.5. Шатуны, рычаги, коромысла**

Шатуны участвуют в преобразовании поступательного движения во вращательное, а рычаги и коромысла – в передаче поступательного движения. Детали этого типа снабжены втулками.

Шатуны карбюраторных двигателей изготовлены из сталей 40, 45, 40Х, 45Г2, 40ХМА, 18ХНМА и др., материал втулки – бронза ОЦС 4-4-2,5, АЖ 9-4, материал болтов – стали 35ХМА, 38ХА, 40Х и др. Твердость материала шатуна 228...268 НВ.

Основные повреждения шатунов – трещины различного характера; повреждение резьбы болтов и гаек; непараллельность осей; деформация и износ отверстий кривошипной и поршневой головок. Детали с повреждениями первых двух видов подлежат выбраковке.

Рычаги и коромысла изготовлены из сталей 45, 45Л, материал втулок такой же, как материал втулки шатуна. Твердость закаленного бойка коромысла 56...60 HRC.

Повреждения коромысел и рычагов – износ отверстий и бойков.

Допуск на размер отверстий головок шатуна пятого-шестого качества, допуск на размер между осями этих отверстий и на параллельность их осей соответствует восьмой-девятой степени точности.

Шероховатость восстановленных поверхностей отверстий и бойков  $Ra 0,16$ .

Шатун в сборе имеет допуск массы 4 г/кг массы сборочной единицы, головки взвешивают отдельно друг от друга, а допуск на массу головок 2 г/кг.

Ремонтную заготовку восстанавливаемых деталей получают нанесением гальванических или газотермических покрытий на поверхности отверстий и запрессовыванием новых втулок в отверстия.

Распространено нанесение гальванических железных покрытий на поверхности отверстий. Процесс ведут при температуре электролита  $60...80\text{ }^{\circ}\text{C}$  из  $300...500\text{ г/л}$  хлористого железа и  $2...5\text{ г/л}$  соляной кислоты; плотности тока  $5...15\text{ А/дм}^2$  с коэффициентом асимметрии  $1,3...2$ .

Механическая обработка отверстий заключается в хонинговании отверстия нижней головки и растачивании отверстия во втулке верхней головки.

Нормативную точность параметров расположения основных поверхностей обеспечивает механическая обработка шатуна в такой последовательности. Отверстие в кривошипной головке с нанесенным покрытием двукратно хонингуют с ориентированием инструмента по обрабатываемой поверхности, что обеспечивает снятие наименьшего припуска. Деталь 3 (рис. 6.12) при растачивании отверстия под поршневой палец устанавливают на оправку 4, рабочий торец которой перпендикулярен к опорной цилиндрической поверхности. Деталь с оправкой ориентируют

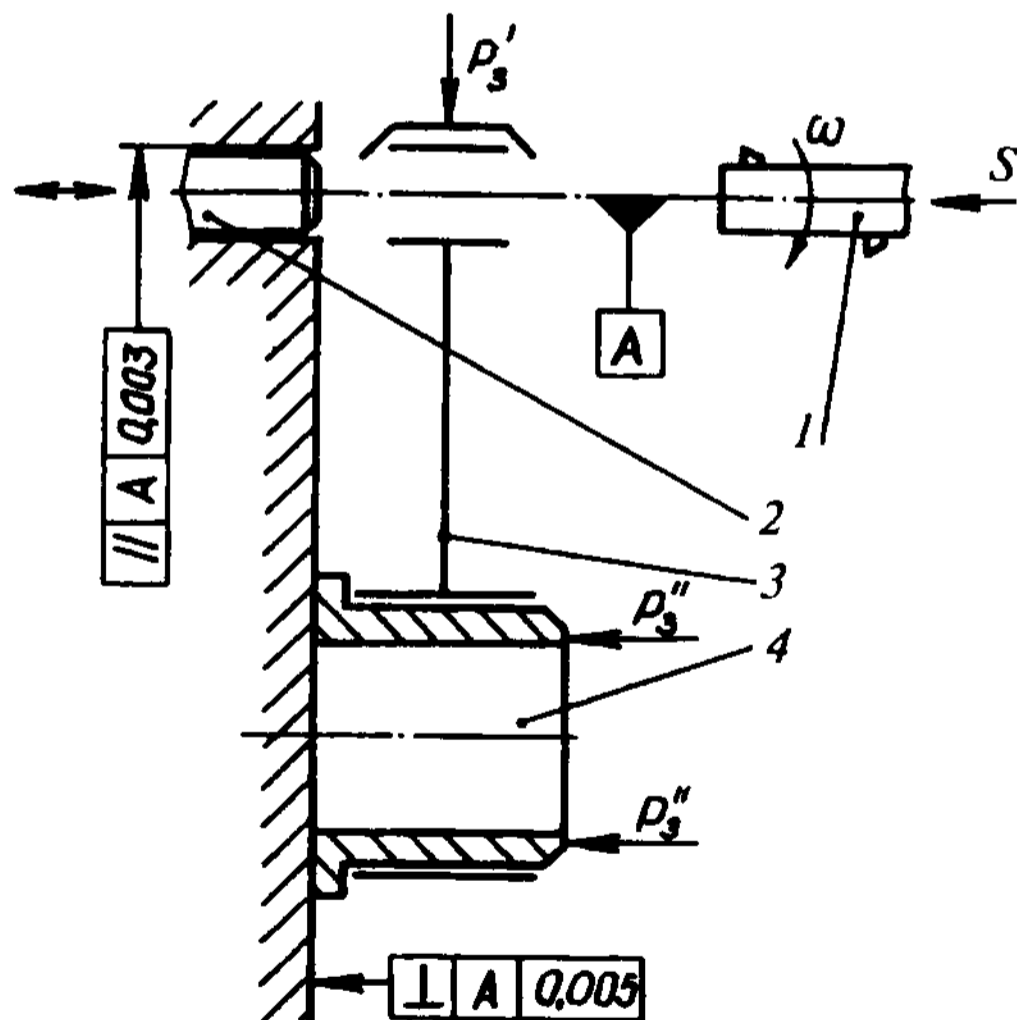


Рис. 6.12. Схема установки шатуна на горизонтально-расточный станок КК-1454 при обработке отверстия в верхней головке:

1 - шпиндель; 2 - центрирующая оправка; 3 - деталь; 4 - установочная оправка;  
 $\omega$  и  $S$  - угловая частота и подача шпинделя;  $P_3'$  и  $P_3''$  - силы закрепления

относительно шпинделя с помощью оправки 2, и в таком положении детали к ней и оправке прикладывают силы закрепления  $P_3'$  и  $P_3''$ . Выводя оправку 2 из отверстия детали и его поверхность растачивают за счет вращения шпинделя с резцами с угловой частотой вращения  $\omega$  и подачей  $S$ .

Обработка шатуна по приведенной схеме обеспечивает снятие равномерного припуска и параллельность осей отверстий в головках шатуна в пределах установленного допуска: 0,04 мм на 100 мм длины.

Шатуны сортируют на размерные группы отверстия под поршневой палец.

Производительная сортировка отверстий на размерные группы проводится с помощью пневматического измерительного стенда. На автомобильных заводах (например, КамАЗе и ЗИЛе) имеется оборудование для контроля шатунов, в котором пневматические пробки установлены на станине таким образом, что их оси параллельны и находятся друг от друга на расстоянии, равном номинальному межосевому расстоянию между отверстиями шатуна. На таком оборудовании дополнительно измеряют расстояние между осями в детали, а также непараллельность осей в двух координатных плоскостях.

Нормативное значение массы головок шатунов обеспечивают снятием металла с приливов.

Бойки коромысел при восстановлении наплавляют самофлюсующимися сплавами с последующим их шлифованием на заточном станке в приспособлении. Отверстие в запрессованной втулке растачивают.

### **6.3.6. Поршни**

Поршни преимущественно изготавливают из силумина АЛ-4. В процессе восстановления поршня устраняют износные повреждения: отверстия под поршневой палец; рабочих поверхностей под поршневое кольцо и юбки. Восстановлению подлежат 47...50 % поршней ремонтного фонда.

Восстановление включает: очистку поршня, создание технологических баз, изготовление, установку и закрепление ДРД, точение головки и канавок, обработку юбки, разворачивание отверстия под поршневой палец и контроль восстановленной детали. Здесь способ постановки ДРД сочетается со способом ремонтных размеров. Для восстановления канавки под верхнее поршневое кольцо применяют ДРД, отверстие под поршневой палец разворачивают под ремонтный размер, а юбку шлифуют до предыдущего ремонтного (или номинального) размера.

Очистка поршней от нагара эффективна в расплаве солей и щелочей при его температуре 300 °С или потоком стеклянных шариков.

Центровые отверстия на днище и бобышках выполняют на токарно-вииторезном станке в две установки с закреплением поршня за головку специальными кулачками. Последующие операции осуществляют с базированием поршня по выполненным поверхностям.

Для восстановления наиболее изнашиваемой верхней канавки поршня отливают ДРД из сплава АК12ММгН. Твердость отливки 100...120 НВ и хорошую ее обрабатываемость обеспечивают рафинированием расплава и термообработкой отливки. Внутреннюю поверхность ДРД, торец и фаску под сварку обрабатывают.

Перемычку между днищем поршня и канавкой под верхнее поршневое кольцо протачивают до выхода резца в пространство под канавкой (рис. 6.13), при этом диаметр обработки  $H_1$  должен быть меньше диаметра канавки  $D$ , мм:

$$H_1 = H + (0,5...1), \quad (6.7)$$

а диаметр точения  $D_1$  должен быть меньше, чем диаметр канавки  $D$ , мм:

$$D_1 = (0,98...0,99) D. \quad (6.8)$$

С торца днища снимают фаску под сварку.

Дополнительную ремонтную деталь устанавливают до упора на обработанную поверхность поршня и фиксируют кольцевым сварочным швом, который заполняет пространство между совмещенными фасками поршня и ДРД. Сварку ведут на вращателе с помощью аргодуговой установки УДГ-301. Сила сварочного тока 220...250 А, напряжение 14...15 В, присадочный материал – проволока Св-АК-5 диаметром 5 мм, скорость сварки 8...10 м/ч, расход аргона 8...10 л/мин, время сварки 1,5 мин.

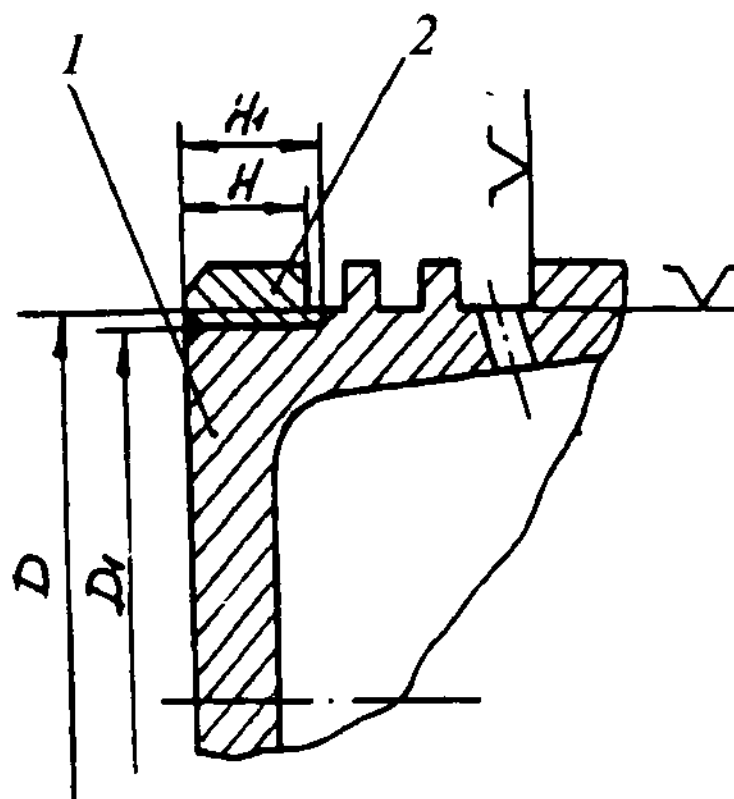


Рис. 6.13. Схема установки ДРД при восстановлении канавки под поршневое кольцо:  
1 – восстанавливаемый поршень;  
2 – ДРД

Затем подрезают днище, обрабатывают цилиндрическую поверхность головки по длине, снимают фаску и протачивают канавки.

Юбку поршня шлифуют на станке 3М433У, который предназначен для обработки кулачков распределительного вала. Станок модернизирован: применен абразивный круг из хромотитанистого электрокорунда марки 92А высотой 80 мм, позволяющий вести врезное шлифование детали; установлены опорно-базирующие элементы, соответствующие базам детали; заменены копиры. Конусообразность юбки достигается поворотом стола относительно направляющих шлифовальной бабки.

Изношенные отверстия под поршневой палец разворачивают на вертикально-сверлильном станке 2Н135 под ремонтный размер. Под этот же ремонтный размер растачивают втулку шатуна и шлифуют поршневой палец, прошедший хромирование или один из видов раздачи. При обработке отверстия в поршне применяют развертку с твердосплавными зубьями. Отверстие разворачивают на ручной подаче при частоте вращения шпинделя  $125 \text{ мин}^{-1}$ , в качестве СОЖ применяют смесь из 90 % керосина и 1 % индустриального масла И20А.

Форму и размеры юбки контролируют на индикаторном приспособлении, которое настраивают с помощью эталона. Высоту канавок измеряют плоскими калибрами, диаметр отверстия под поршневой палец – индикаторным нутромером.

На шлифованные детали наносят химическим способом слой олова толщиной 5 мкм.

Затраты на восстановление поршней составляют 10...30 % стоимости новых деталей.

### 6.3.7. Клапаны

Клапаны изготавливают из легированных сталей: впускные – из сталей 40Х10С2М, 40Х9С2; выпускные – из сталей 40Х10С2М, 40Х14НВ2М, 55Х20Г9АН4. Рабочие фаски наплавлены жаростойким сплавом В2К или В34. Стержни клапанов имеют твердость 27...32 HRC, а торцы 42...58 HRC.

Основные повреждения клапанов – износ стержня и фаски, деформация стержня.

Деформированные стержни правят. Восстановительные покрытия наносят на стержень и фаску клапана.

Малое значение диаметра стержня клапана не допускает применения наплавки. Эта причина в сочетании с небольшими износами поверхности обусловила нанесение на нее гальванических покрытий.



Железнение стержня ведут на подвеске в электролите состава: хлористое железо 300...500 г/л, соляная кислота 2...3 г/л. Плотность тока 15...20 А/дм<sup>2</sup>. Принят асимметричный ток с изменением коэффициента асимметрии от 1,3 до 6.

Покрытие на фаску клапана наносят: плазменной наплавкой самофлюсующимися порошками на установке ОКС-11192 ГОСНИТИ, электродуговой наплавкой сплавами на основе кобальта и никеля, газопорошковой наплавкой самофлюсующимися хромоникелевыми порошками и высокочастотной наплавкой с удержанием расплавленного металла в керамической форме.

На Полоцком заводе «Проммашремонт» покрытия на фаски клапанов наносят аргонодуговой наплавкой из проволоки Св-05Х19Н9Ф3С2 на установке собственной конструкции. Деталь принудительно вращается, а тепло от ее головки отводится в медную водоохлаждаемую опору.

Стержень клапана шлифуют на бесцентровом шлифовальном станке, например 3Д184, а его фаску шлифуют с базированием детали по обработанному стержню в приспособлении на круглошлифовальном станке, например 3А151.

### 6.3.8. Зубчатые колеса

Зубчатые колеса изготовляют из легированных сталей (40Х, 30ХГТ, 20ХНМ и др.). Необходимую поверхностную твердость зубьев обеспечивают химико-термической или термической обработкой (цементацией, цианированием, закалкой и др.).

Характерные повреждения зубьев – усталостные разрушения в виде раковин, уменьшение толщины (при абразивном изнашивании), износ торцов (из-за включения передач) и поломки. У зубчатых колес повреждаются также сопрягаемые элементы с валами, крестовинами, вилками и синхронизаторами.

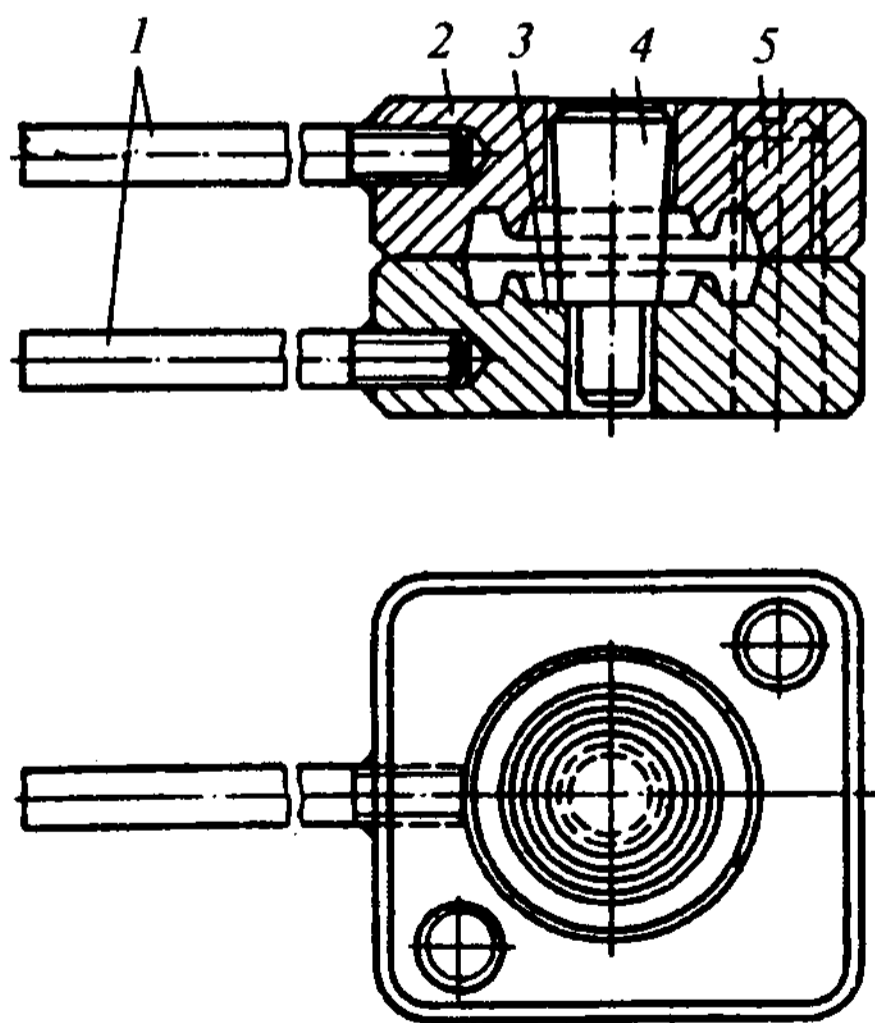
Элементы зубчатых колес восстанавливают заменой венцов, наплавкой, напеканием и пластическим деформированием.

Венцы зубчатых колес заменяются чаще всего при восстановлении блоков шестерен с несколькими венцами, когда один из них сильно изношен, а остальные находятся в исправном состоянии.

Изношенный венец отжигают и отрезают, а для напрессовывания ДРД протачивают шейку. Толщина венца ДРД (расстояние от окружности впадин до посадочной поверхности) должна быть  $\geq 1...1,25$  высоты зуба. Разрушить изношенный венец можно электроэрозионным способом на станке 4А722, применяя трубчатый электрод.

Материал нового зубчатого венца такой же, как и восстанавливаемой детали. ДРД напрессовывают на блок шестерен и фиксируют двумя-тремя винтами, электродуговой сваркой или полимерами. Нарезка зубьев желательна на напрессованной ДРД.

Венцы с односторонним износом торцевой части зубьев (венцы маховиков) могут быть перевернуты для работы другой стороной. В таком случае ранее не работавшие торцы зубьев должны быть закруглены. В некоторых случаях целесообразно переставлять на другой торец колеса элемент с проточкой для вилки переключения передач. Зубья наплавляют газовой или электродуговой наплавкой. В первом случае применяют присадочные прутки того же состава, что и материал зубчатого колеса. Для наплавки цементованных зубчатых колес служит присадочный материал с более высоким содержанием углерода. Если в качестве присадочного материала используют малоуглеродистую сталь, то шестерню цементируют, а затем закаливают. Крупномодульные неточные колеса целесообразно наплавлять железохромистыми электродами типа сормайта. Наплавку ведут в ванне с водой, чтобы предохранить деталь от перегрева и коробления.



**Рис. 6.14. Штамп для восстановления зубчатых колес вдавливанием:**

1 – ручки; 2 и 3 – верхняя и нижняя половины штампа соответственно; 4 – оправка; 5 – направляющие

коробления. Изношенные зубья восстанавливают также нанесением покрытия автоматической наплавкой под слоем флюса. Наплавленные зубья шлифуют абразивными кругами зернистостью 36...46.

Зубья напекают железными порошками по неработающей части зуба и по поверхности выступов (у шестерен масляного насоса).

Пластическое деформирование (вдавливание) применяют для восстановления зубчатых колес, изношенных по толщине и имеющих на венце запас металла. Для этого необходимы специальные штампы (рис. 6.14). Пластическим

деформированием восстанавливают как блочные, так и одинарные колеса, если они не имеют поломанных зубьев, сколов и трещин. Вдавливание ведут с нагревом.

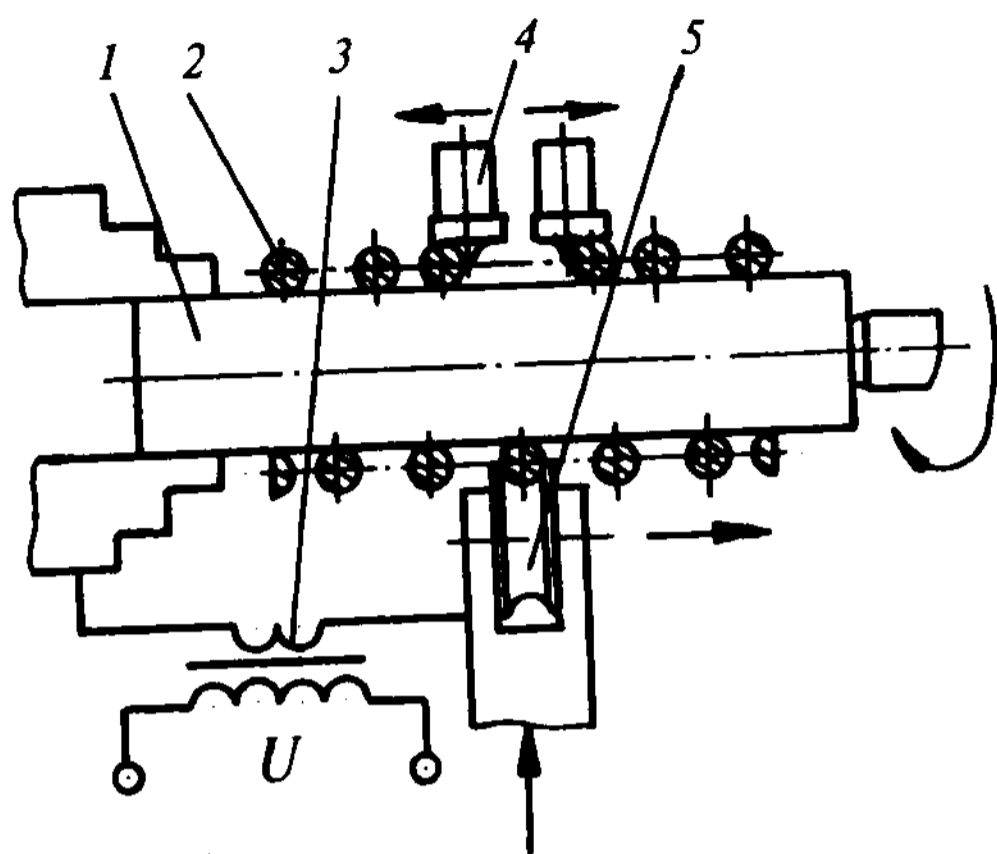
Необходимы припуски на механическую обработку: 1,4...1,5 мм по толщине зубьев; 0,5...0,7 мм по наружному диаметру и 1,2...1,4 мм по диаметру внутреннего отверстия. Затем деталь нормализуют, обрабатывают лезвийным инструментом, закаливают, отпускают и шлифуют зубья.

### 6.3.9. Упругие элементы

К упругим элементам относятся плоские, стержневые и витые детали в виде пружин, рессорных листов и торсионов. Наибольшее количество таких элементов приходится на пружины, которые применяют во многих механизмах (клапанном механизме двигателя, сцеплении, топливном насосе высокого давления, бензонасосе, карбюраторе и др.). Рессорные листы и торсионы работают в подвесках транспортных средств. Материал упругих элементов – стали 60С2А, 60СА, 60С2ГФ, 65Г, 50ХГФ, 60ХФА. Характерные повреждения упругих элементов – утрата жесткости. Технологические основы восстановления таких элементов были рассмотрены в разд. 5.5.2.

Упругость спиральных пружин восстанавливают термомеханическим способом с помощью установки ОРГ-27530. Пружину сжимают до соприкосновения витков и через нее пропускают ток величиной 420 А в течение 18 с. (Значения величин приведены для восстановления пружин клапанов и сцеплений.) В течение времени нагрева температура детали достигает 830...850 °С. Отключают подачу тока, а пружину медленно (в течение 17 с) растягивают из расчета, чтобы ее длина увеличилась на 0,5 мм по сравнению с длиной новой пружины. Затем пружину сбрасывают в закалочную емкость с маслом АС-8. Однако способ не обеспечивает длительного сохранения жесткости пружин в эксплуатации.

Другой способ электромеханического восстановления пружин заключается в следующем. В патрон токарного станка устанавливают оправку с роликом (рис. 6.15). Свободный конец оправки касается центра пиноли. Первый виток пружины раздвигается штоками, расстояние между которыми соответствует шагу спирали пружины. Деформирующий ролик, установленный на резцедержателе, подводится к витку пружины с усилием  $N$ . Ролик выполнен из стали ШХ15, термообработанной до твердости 60...62 HRC. Рабочий профиль ролика соответствует форме сечения пружины. Включается механизм вращения шпинделей одновременно



**Рис. 6.15. Приспособление для восстановления пружины:**

- 1 – оправка; 2 – восстанавливаемая пружина;  
3 – трансформатор; 4 – раздвижной ролик;  
5 – деформирующий ролик

ток плотностью  $4,33 \cdot 10^8$  А/м<sup>2</sup>. Число оборотов шпинделя 80...100 в минуту, число ходов два-три, величина растяжения витка составляет 6,4 %. В завершение операции подается охлаждающая жидкость (масло АС-8) в зону нагрева. Плотность дислокаций в материале увеличивается при этом в 12 раз.

Контроль жесткости упругих элементов заключается в измерении осадки или угла поворота при приложении заданного усилия или момента соответственно. Жесткость пружин измеряют на стенде (см. рис. 2.16).

### 6.3.10. Рабочие органы почворезущих машин

**Плужные лемеха.** Лемех является наиболее часто используемым, металлоемким и быстро изнашиваемым рабочим органом плуга. Для изготовления лемехов широко применяют высокоуглеродистые сплавы типа Л53. Реже используют износостойкие легированные стали ШХ15, 65Г, 60ХГ, 40Г2Р. Объемы производства лемехов в России достигают 25 млн. ед./год с расходом на их изготовление > 120 тыс. т металлопроката.

замыкается электрическая цепь источник тока – оправка – деформирующий ролик. Пружина под действием сил трения прокатывается между роликом с пластическим объемным деформированием, растягивается штоками и нагревается за счет прохождения тока.

Прилагаемое к детали усилие выбирают из расчета, чтобы давление на виток составляло значение 62,5 МПа. Через витки пружины пропускают

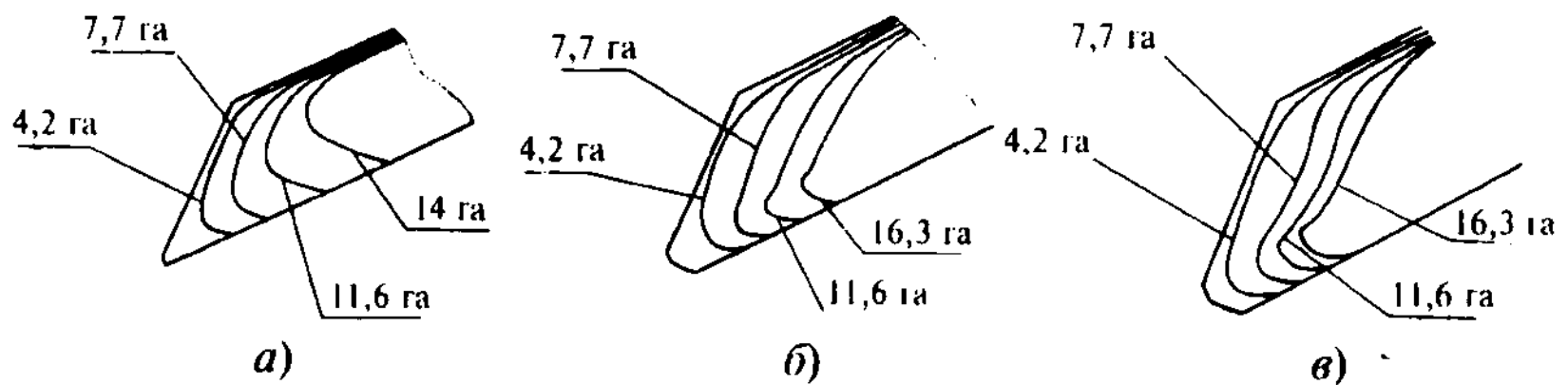
Основными причинами отказов являются ускоренное абразивное изнашивание рабочей части (60 %), поломки и деформации носовой части лемехов (40 %). Интенсивность абразивного изнашивания лемеха зависит от типа и механического состава обрабатываемой почвы. Наибольшая интенсивность изнашивания лемехов (260...450 г/га) характерна для песчаных почв с каменистыми включениями. На легком, среднем и тяжелом суглинке она составляет 37...100; 12...37 и 2...12 г/га соответственно. Кроме прямого ущерба, затупление лемехов из-за износа в процессе эксплуатации приводит к увеличению тягового сопротивления до 50 %, снижению качества и производительности до 60 %, повышению расхода топлива до 20 %.

Причиной поломок либо деформаций носовой части лемехов является недостаточная прочность лемехов на тяжелых каменистых почвах. В последнее время доля этого вида отказов возросла примерно с 20 до 40 %. Это обусловлено повышением нагруженности лемехов вследствие увеличения скорости пахотных агрегатов до 7...9 км/ч и уплотнением почв тяжелой уборочной и транспортной техникой.

Технология восстановления лемехов зависит от видов повреждений. Деформированные лемеха правят в горячем состоянии при температуре ~ 800 °С на пневматических молотах или гидравлических прессах.

При износе лемеха по ширине менее чем на 20 мм и его затуплении возможно применение оттяжки лезвия и носка. Долотообразный лемех имеет запас металла на оттяжку в зону износа кузнечным способом. При кузнечной оттяжке лезвие по всей длине нагревают на ширину 60...70 мм до 900...1000 °С. Затем на пневматическом молоте или вручию частыми ударами специальными бойками оттягивают носок и лезвие до номинальных размеров. Оттянутую часть выравнивают. После оттяжки, закалки и отпуска лемеха затачивают на обдирочно-шлифовальном станке. Следует отметить, что с середины 60-х годов XX в. кузнечная оттяжка применяется ограниченно вследствие ликвидации машинно-тракторных станций и широкого внедрения упрочняющей наплавки лезвия.

Наплавка износостойким сплавом рабочей части – эффективный прием повышения его долговечности. Наплавленный лемех является самозатачивающимся. При выпашке обеспечиваются воспроизведение исходного профиля и сохранение его остроты по мере изнашивания (рис. 6.16). Для получения эффекта самозатачивания необходимо, чтобы нижняя фаска лемеха была тверже, чем верхняя, в несколько раз. А.Ш. Раби-



**Рис. 6.16.** Изменение профилей ножей плужных лемехов в процессе работы: *а* – стандартный лемех П-702 из стали Л53; *б* – лемех с наплавкой Сормайтом У30Х28Н4С4; *в* – лемех с наплавкой из диффузионно-легированной чугуновой стружки

новичем выведен критерий самозатачивания:

$$\omega = \frac{\varepsilon_2 h_2}{\varepsilon_1 h_1}, \quad (6.9)$$

где  $\varepsilon_1, h_1$  – износостойкость и толщина наплавленного металла;  $\varepsilon_2, h_2$  – то же, основного металла.

При обработке большинства почв плужными лемехами  $\omega = 1,5$ . Толщина наплавленного слоя, как правило, не должна превышать 2,5 мм, а твердость должна быть 50...58 HRC.

Для упрочняющей наплавки плужных лемехов применяются преимущественно порошки и порошковые смеси на железной основе (ПГ-С27, ФБХ-6-2 и др.) для уменьшения стоимости наплавки. Наплавка возможна любым из известных способов. Наиболее эффективна индукционная наплавка. В этом случае дополнительно к наплавочному порошку добавляют флюс для раскисления и смачивания. Типичный состав шихты для индукционной наплавки лемехов: 85 % порошкового сплава грануляцией 0,4...1,2 мм; 8 % плавленого флюса АН-348А и 7 % флюса, состоящего из 46 % борной кислоты (ГОСТ 18704–78), 42 % технической буры (ГОСТ 8429–77) и 12 % силикокальция (ГОСТ 4762–77). Для повышения режущей способности лемехов в порошковую шихту для наплавки добавляют релит в количестве 10...15 мас. % наплавки.

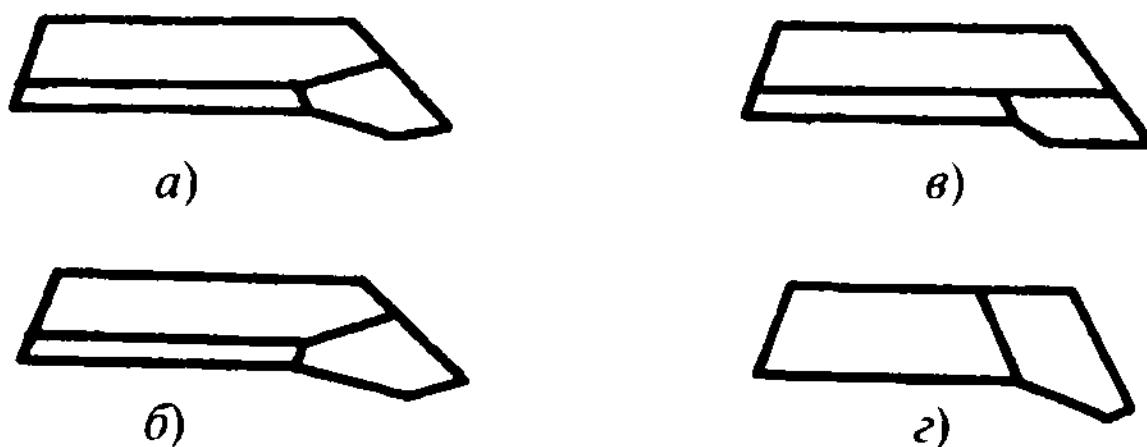
Существенно снизить стоимость наплавки самозатачивающегося наплавленного лемеха при сохранении или повышении его долговечности можно использованием самофлюсующегося диффузионно-легированного порошка из измельченной чугуновой стружки (рис. 6.16, *в*). Твердость наплавки в этом случае 50...58 HRC.

Самозатачивание плужных лемехов возможно посредством биметаллических лезвий, получаемых из периодического двухслойного проката. Однако промышленный выпуск последнего пока технологически сложен и дорогостоящ. Наиболее эффективно применение самозатачивающихся лемехов на песчаных почвах.

При износе лемеха по ширине на 20...30 мм его восстановление возможно способом замены изношенной части и приварки специальных вставок. Восстановление ведут централизованно на специализированных предприятиях. Существует несколько технологий восстановления лемехов на ремонтных предприятиях, отличающихся формой, размерами привариваемых ремонтных вставок и способом их получения (рис. 6.17 и 6.18).

ГосНИТИ разработал ТП восстановления долотообразных лемехов П702Б способом замены изношенной части приваркой вставок из проката клиновидного профиля, выпускаемого Златоустовским машиностроительным заводом. Клиновидный прокат имеет ширину 85 и 30 мм для изготовления соответственно ремонтных вставок носков и лезвий. Обрубку изношенной части лемехов выполняют в горячем состоянии на фрикционных прессах. Подготовленное лезвие приваривают к остову сварочным автоматом тракторного типа под слоем флюса с тыльной стороны лемеха, а носок – полуавтоматом в углекислом газе с обеих сторон. Сваренный лемех наплавляют порошками на высокочастотной установке с тыльной стороны лезвия. По этой технологии можно восстанавливать до 70 % лемехов.

Для повышения прочности сваренного лемеха ЧИМЭСХ предложил изготавливать носок меньшего размера из клиновидного проката и обрубать лемех по прямой на всю длину (см. рис. 6.17). Это позволило упростить штампы и процесс сварки лемеха. Однако по этой технологии можно восстанавливать значительно меньше лемехов (< 30 % из поступивших на восстановление).



**Рис. 6.17. Варианты восстановления плужных лемехов ремонтными вставками по технологиям:**

*a* – ГосНИТИ; *б* – ЧИМЭСХ; *в* – ВНИИТУВИД «Ремдеталь» (изношенного по ширине); *з* – ВНИИТУВИД «Ремдеталь» (изношенного по толщине)

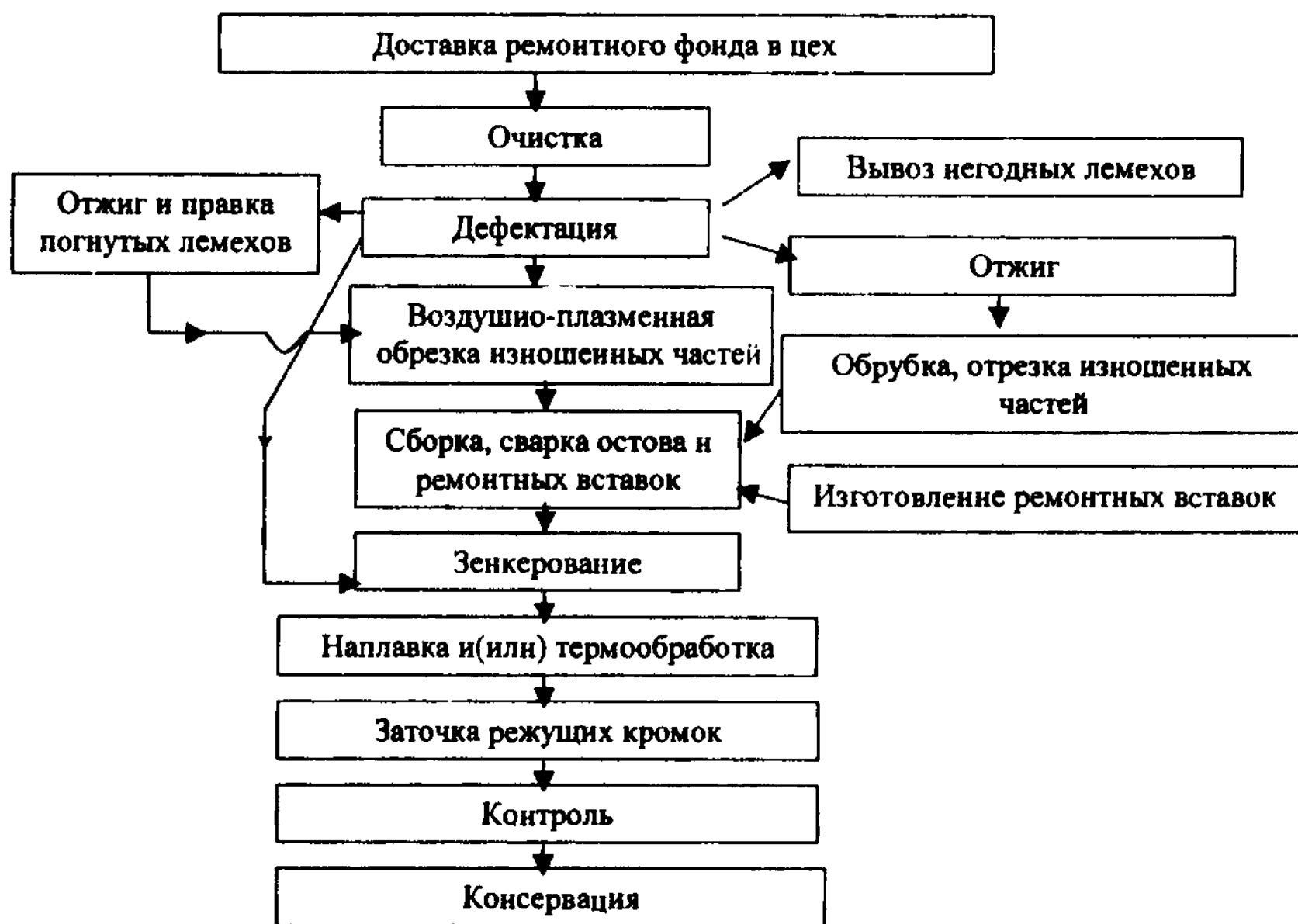


Рис. 6.18. Схема ТП восстановления лемехов

ВНИИТУВИД «Ремдеталь» разработал ТП восстановления лемехов без отжига за счет применения воздушно-плазменной полуавтоматической резки взамен горячей обрубки. Изменены также форма ремонтных вставок (см. рис. 6.17, в, г). Прочность лемехов в этом случае существенно выше.

Для повышения прочности восстановленных лемехов рекомендуется с тыльной стороны на носовой части приварить стальную полосу габаритными размерами  $15 \times 20 \times 40$  мм вместо ребра жесткости, которое при восстановлении нарушается. Износостойкий слой на рабочую часть лемеха наносят индукционной наплавкой. Для повышения эксплуатационных свойств восстановленного и наплавленного лемеха целесообразна термическая обработка для снижения внутренних напряжений и упрочнения основного металла.

Восстановленные плужные лемеха должны отвечать следующим требованиям:



- отклонение размеров по ширине не должно превышать 5 мм, а по длине 10 мм;
- поверхность лемеха должна быть ровной, без трещин; допускается коробление его спинки до 2 мм, а лезвия (выпуклость над рабочей поверхностью) до 4 мм;
- ширина зоны наплавки на тыльной стороне лезвия должна составлять  $20 \pm 2$  мм от режущей кромки, на носовом участке 60 мм, толщина наплавленного слоя 1,5...1,8 мм, режущей кромки лезвия  $\leq 1$  мм, а угол заточки (с рабочей стороны) 15...25°.

*Диски сошников и луцильников.* Восстановлению подлежат диски СЗГ 00.1020, СЗГ 00.4047, СЗГ 13.050 сошников зерновых сеялок с износом до диаметра 321...326 мм, но без трещин и изломов. Изношенные или поврежденные ступицы подлежат замене, а покоробленные диски – правке. Диски сошников с износом диаметра до 327...348 мм затачивают на один из ближайших ремонтных размеров:  $342 + 0,5$ ;  $334 + 0,5$ ;  $326 + 0,5$  мм.

Изношенные диски Н.154.00.407 и Н.154.00.415 луцильников, как правило, подлежат заточке. Диски с износом диаметра 411...416 мм можно восстанавливать до номинальных размеров путем приварки кольца шириной 20 мм. Износ поверхности квадратного отверстия, а также трещины вокруг него устраняют путем приварки шайбы с квадратным отверстием, вырубленной в штампе из полосовой стали 65Г.

Схема ТП восстановления дисков представлена на рис. 6.19.

Восстановленные диски сошников и луцильников затачивают в специальных приспособлениях, диски сошников – под углом  $20 \pm 2^\circ$  до остроты лезвия в пределах 0...0,5 мм. Местные утолщения лезвия допускаются до 1 мм суммарной длиной  $\leq 1/4$  окружности диска.

Диски Н.154.00.407 луцильников затачивают под углом  $50 \pm 2^\circ$  к плоскости вращения до толщины лезвия 0...0,5 мм, а диски Н.154.00.415 под углом  $30 \pm 2^\circ$  до такой же толщины.

*Культиваторные лапы.* Во время работы культиваторные лапы затупляются. Независимо от условий работы их через одну-две смены затачивают на обдирочно-шлифовальном станке: сверху под углом 15° за исключением плоскорежущих стрельчатых, которые затачивают снизу.

Состояние культиваторных лап оценивают по толщине лезвия. Предельные показатели износа рабочих органов культиваторов приведены в табл. 6.2.



Рис. 6.19. Схема ТП восстановления дисков сошиков сеялок и лушильников

При предельном затуплении лапы оттягивают и затачивают лезвия. После нескольких заточек изношенных лезвий ширина культиваторных лап уменьшается, что ухудшает качество их работы. Первоначальные размеры и форму лап восстанавливают оттяжкой кузнечным способом. Форму оттянутой режущей части лапы проверяют шаблоном.

После оттяжки лап лезвия затачивают на обдирочно-шлифовальном станке. Лезвие должно быть ровным, без зазубрин и волнистости, толщиной после заточки 0,2...0,3 мм (но  $\leq 0,5$  мм) при ширине фаски 5...6 мм.

После заточки проводят закалку в масле лезвий лап с температуры нагрева 820 °С с последующим отпуском при 400 °С. Для повышения долговечности лап культиваторов применяют упрочняющую наплавку износостойкими сплавами, аналогичную наплавке плужных лемехов.

Культиваторные лапы, работающие на песчаных почвах, изнашиваются особенно сильно. При большом износе носок восстанавливают приваркой специальной накладки из высокоуглеродистой стали.

## 6.2. Предельные показатели износа рабочих органов культиваторов

Рабочий орган	Показатель износа
<p>Лапа культиваторная:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– стрелчатая с шириной захвата 270 мм</li> <li>– стрелчатая самозатачивающаяся с шириной захвата 270 мм</li> <li>– односторонняя с шириной захвата 165 мм</li> <li>– односторонняя самозатачивающаяся длиной 165 мм</li> <li>– рыхлительная долотообразная</li> </ul> <p>Нож культиватора-плоскореза</p>	<p>Расстояние от первого отверстия до носка 130 мм, ширина крыла в средней части 36...38 мм</p> <p>Износ наплавленного слоя, расстояние от первого отверстия до носка 150 мм</p> <p>Ширина в месте изгиба 60...65 мм</p> <p>Износ наплавленного слоя в месте изгиба</p> <p>5 мм, вылет 230 мм</p> <p>1,3 мм, ширина ножа 60 мм</p>

## **Глава 7**

# **ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

Восстановить ресурс изношенной детали, практически равный ресурсу новой детали, способно лишь производство, которое по техническому уровню – оснащению средствами восстановления, квалификации персонала и организации ремонтно-восстановительного производства – соответствует производству по изготовлению машин.

### **7.1. Задачи и принципы организации процессов восстановления деталей**

Производство по восстановлению деталей потребляет большой объем материалов, энергии и труда, необходимых для нанесения покрытий и термической и механической обработки заготовок. Оптимизация расхода этих ресурсов за счет наилучшего их использования при своевременном выполнении производственных заданий и обеспечении нормативных показателей качества и составляет предмет *организации производства*.

#### **7.1.1. Содержание организации процессов восстановления деталей**

*Организация процессов* восстановительного производства заключается в распределении средств восстановления и исполнителей в пространстве, определении производственных функций исполнителями и налаживании взаимодействия между ними, распределении производственных ресурсов во времени и оптимизации расхода этих ресурсов.

*Ограничения*, принимаемые при организации производства, – это безусловное и своевременное выполнение объемов производства и обеспечение показателей качества восстановленных деталей.

Производство должно быть организовано в пределах ремонтной отрасли, отдельных заводов, цехов (участков) и рабочих мест. Его распределяют между заводами и их структурными подразделениями, затем организуют в пространстве и в заключение – во времени.

Для производства по восстановлению деталей характерно функциональное, технологическое, кооперационное и квалификационное разделение труда. Пооперационное разделение труда предусматривает закрепление за каждым рабочим или бригадой рабочих отдельных операций. В этом случае рабочий несет персональную ответственность за надлежащее выполнение закрепленной операции.

Рассматривают *производственные ресурсы*: финансовые (денежные), материальные (запасные части, полуфабрикаты, материалы, техническая вода, горючие и окислительные газы и др.), энергетические (электроэнергия, тепло- и хладоносители, сжатый воздух), трудовые (рабочая сила), потребительские (питьевая вода, чистый воздух), информационные (программы, алгоритмы) и наработочные (остаточная долговечность деталей). Последний вид ресурса характерен для ремонтного производства, он должен быть использован наиболее полно.

Производственные результаты с максимальной эффективностью получаются за счет оптимального распределения трудовых и энергетических ресурсов, полной загрузки технологического оборудования, экономного и своевременного вложения труда, материалов и энергии в восстанавливаемые объекты. Организационные мероприятия касаются внедрения новых методов организации труда без изменения средств восстановления и в пределах действующих технологий.

Первичная ячейка производства – это его рабочие места. Организация рабочих мест предполагает решение таких задач: разделения труда между рабочими местами, подбора оборудования и оснастки, рациональной планировки, оценки трудовых затрат, расстановки исполнителей, внедрения рациональных методов и приемов, бесперебойного обеспечения и обслуживания, создания благоприятных и безопасных условий труда и обеспечения оптимальной его интенсивности, установления наилучшего соотношения труда и отдыха, повышения квалификации рабочих. На каждое рабочее место составляют паспорт, в котором указывают содержание работы, суточное задание, режим и условия работы, планировку и порядок обслуживания.

При организации производства по восстановлению деталей учитывают нормативные требования системы стандартизации, которая включает в себя: Систему разработки и постановки продукции на производство (СРПП); Единую систему технологической подготовки производства (ЕСТПП); Комплексную систему управления качеством продукции (КСУКП); Единую систему технологической документации (ЕСТД); Единую систему конструкторской документации (ЕСКД); Единую систе-

му классификации и кодирования (ЕСКК); Государственную систему обеспечения единства измерений (ГСИ); Систему государственных испытаний продукции (СГИП); Систему стандартов безопасности труда (ССБТ); Систему стандартизации эргономических требований (ССЭТ).

### 7.1.2. Организация производства в пространстве

Производство организуют на трех уровнях пространства производственного корпуса: на технологическом потолке, в объеме, примыкающем к полу (высотой ~ 2 м), и в технологическом подвале. При этом средства ремонта и средства их обеспечения распределяют в объеме здания по высоте и на производственной площади производственного корпуса. Наименьшие строительные расходы и потери тепла обеспечиваются в том случае, если производственное здание в плане имеет форму квадрата.

*Объем технологического потолка*, в свою очередь, можно разделить на две части по высоте здания: от кровли до подкрановых путей и от этих путей до высоты помещения над уровнем пола 2,0...2,5 м. Объем выше подкрановых путей занимают воздушные, газовые, водяные, паровые, вентиляционные и кабельные сети. Трансформаторы и распределительные устройства электроэнергии, пункты ввода тепловой энергии и воды и котельные малой мощности (~ 0,25...0,63 МВт) должны быть расположены из расчета, чтобы потери энергии или напора были минимальными.

В некоторых производствах в объеме технологического потолка размещают вентиляторы и силовые трансформаторы. На подкрановых путях устанавливают подвижные цеховые грузоподъемные средства для обслуживания производственных участков и складов. Ниже предусматривают антресоли под вентиляционные камеры, гардеробы и комнаты отдыха персонала. В этой части объема технологического потолка перспективно размещение складов заготовок и предсборочных складов деталей, узлов и агрегатов (в машиностроении такая организация накопления, хранения и комплектования изделий на подвесных конвейерах с автоматическим адресованием груза применяется > 20 лет).

*В объеме здания, непосредственно примыкающем к полу*, размещают технологическое оборудование и организуют перемещение предметов восстановления. В этой части здания монтируют стационарные транспортные устройства, которые обслуживают отдельные технологические операции. Наибольший объем организационно-технологических работ приходится на оптимизацию решений в этой части производственного здания. Минимальные площадь производственных участков и транспортная работа по перемещению предмета восстановления и отходов будут

при плотной расстановке технологического оборудования и прямолинейном перемещении восстанавливаемых объектов.

Расстановка оборудования определяется содержанием технологического процесса (ТП) и последовательностью его технологических операций, расчетным количеством оборудования, выбранными средствами перемещения восстанавливаемых объектов и нормами технологического проектирования. Последние определяют расстояния между оборудованием и элементами здания и между отдельными единицами оборудования. Расстояние между оборудованием, а также между оборудованием и элементами здания гарантирует безопасность рабочих, возможность перемещения людей и восстанавливаемых объектов, обслуживания и ремонта оборудования. Соблюдение нормативных расстояний от оборудования до колонн здания позволяет избежать размещения оборудования на основаниях колонн, имеющих большую площадь, чем колонны, а также иметь возможность подавать восстанавливаемые изделия на технологическое оборудование цеховыми кран-балками, крюки которых не могут достигать до колонн ближе определенного расстояния.

Технологическое оборудование участков с учетом прямолинейности перемещения предмета восстановления расставляют по одному из принципов: по типам оборудования, в порядке технологических операций.

*По типам оборудования* располагают группы однородного оборудования в единичном, мелко- и среднесерийном производстве. Например, создают группы металлорежущих станков: токарных, фрезерных, сверлильных, шлифовальных и др. Расположение таких групп станков на площади участка определяется последовательностью выполнения технологических операций большинства типовых деталей.

*По порядку технологических операций* на участках крупносерийного и массового производства размещают последовательно оборудование в соответствии с технологическими операциями для обработки одноименных или схожих изделий. На участках централизованного восстановления деталей такая группа (линия) оборудования восстанавливает одну деталь (коленчатый вал, блок цилиндров и др.). В мелко- и среднесерийном производстве каждая группа станков обрабатывает несколько деталей, имеющих аналогичный порядок операций, потому что загрузить полностью все станки операциями по восстановлению одной детали не всегда можно.

Оборудование участка желательно разместить в пределах одного пролета. Обобщенным критерием размещения технологического оборудо-

дования служит функция затрат  $Z_{об}$  (в р.) на производственную площадь, прокладку коммуникаций и на транспортную работу по технологическому перемещению предмета восстановления, отнесенных к году эксплуатации участка:

$$Z_{об} = Z_{п.п} + Z_{к} + Z_{т}, \quad (7.1)$$

где  $Z_{п.п}$  – затраты на производственную площадь, р.;  $Z_{к}$  – затраты на создание коммуникаций, р.;  $Z_{т}$  – затраты на транспортную работу по перемещению предмета восстановления, р.

Значения производственной площади при заданном числе устанавливаемых технологических машин, требуемой последовательности технологических воздействий и ограничениях на расстояния между машинами и частями здания зависят от расстановки этих машин. Трудоемкость прокладки коммуникаций зависит от расстояния между участком и магистральными коммуникационными каналами. Наиболее критичным из частных критериев служит транспортная работа по перемещению предмета восстановления, потому что она выполняется непрерывно в течение всего времени функционирования производства, в то время как первые два воздействия осуществляются при вводе производственного участка в эксплуатацию и его реконструкции.

*Вверху в зоне досягаемости рук рабочего* размещают подвесные инструменты (шлифовальные машинки, прессовые инструменты и др.).

*Технологический подвал* занимают холостые ветви напольных конвейеров, технологическое оборудование вспомогательного назначения (насосные станции, фильтры, баки для сбора СОЖ, масла и оборотной воды), канализационные коллекторы и трубопроводы и вентиляционные газоходы. В ряде случаев технологический подвал используют для перемещения отходов (отработавшей воды, стружки). Создание канализационных сетей требует строительных работ большой трудоемкости, а перенос этих сетей в построенном здании почти невозможен. Так, например, разборочно-очистной участок, оснащенный развитой сетью канализационных каналов и вентиляционных воздуховодов, должен тщательно прорабатываться на стадии подготовки производства, потому что дальнейшая его реконструкция сопряжена с огромными переделками.

Участки восстановления деталей взаимодействуют со смежными участками: разборочно-очистным; определения технического состояния исходных заготовок (сортировочным); складом деталей, ожидающих восстановления; комплектовочным и сборочным участками.

Компоновочное решение производственного корпуса с минимальной транспортной работой на перемещение предмета восстановления и полным использованием площади корпуса основано на учете следующих принципов:

- минимальная площадь производственного корпуса обеспечивается за счет наилучшего сочетания направлений ТП, длин производственных участков и относительного расположения каналов входов и выходов предмета восстановления;

- противоположно направленные перемещения предмета ремонта при его общей разборке и общей сборке назначают параллельно друг другу, а перпендикулярно к ним – перемещения объектов на участках восстановления деталей (сборочных единиц); участки разборки и сборки изделий размещают в пролетах, расположенных перпендикулярно к основным пролетам здания;

- разборочно-очистной участок имеет один канал входа предмета ремонта и несколько каналов его выхода, сборочный участок, наоборот, имеет несколько каналов его входа и один канал выхода, а участки восстановления деталей – по одному каналу входа и выхода;

- основная корпусная деталь ремонтируемого агрегата выходит с разборочно-очистного участка последней, а поступает на сборочный участок первой;

- участки восстановления деталей располагаются между каналами выхода соответствующих деталей с разборочно-очистного участка и входа участка сборки;

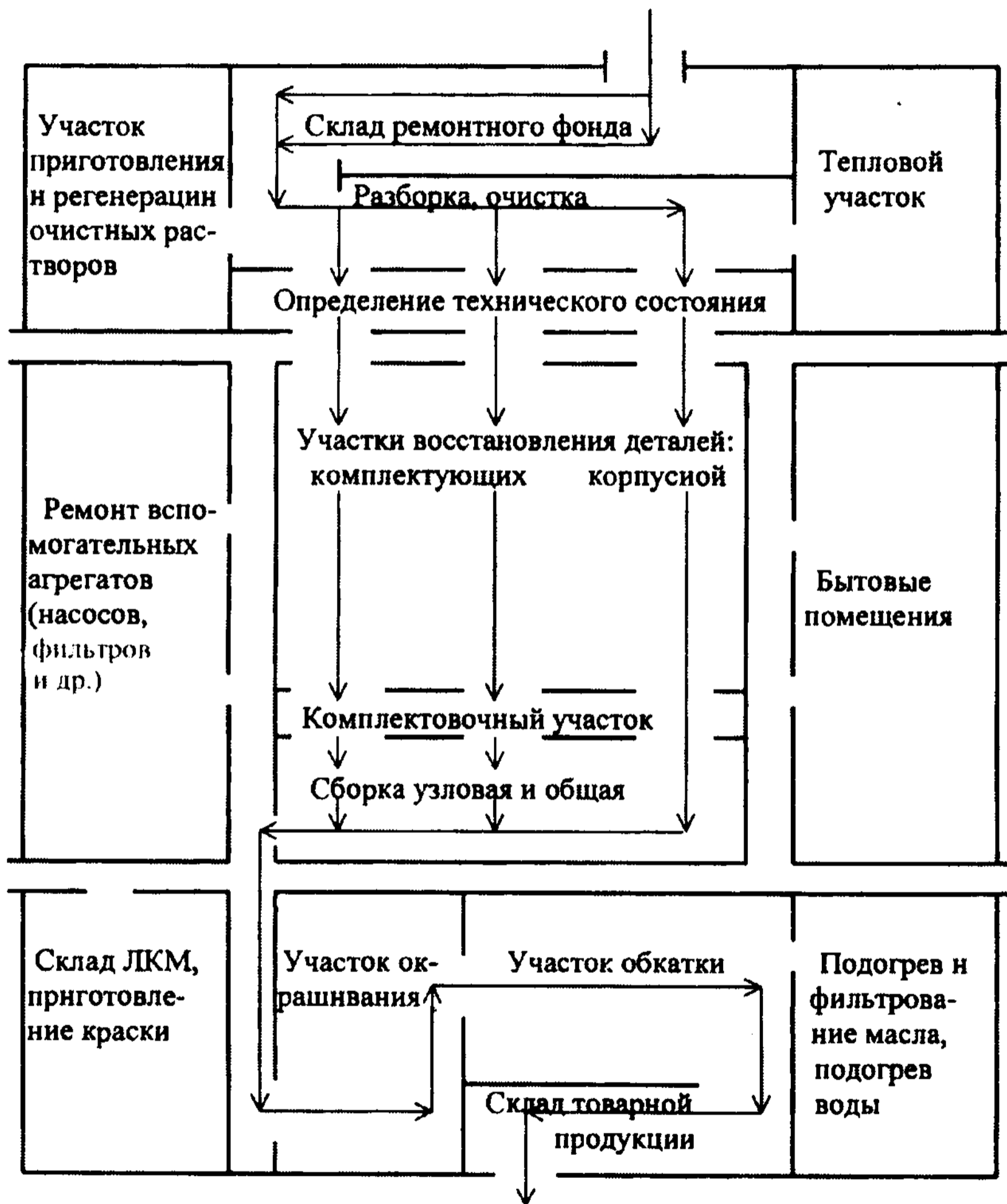
- длины участков восстановления деталей должны быть равны расстоянию между сортировочно-накопительными и комплектовочно-сборочными постами или нечетно кратны этим расстояниям [последнее требование относится к участкам восстановления деталей с большим числом операций (например, блоков цилиндров, коленчатых валов)];

- обслуживающие участки располагают на минимальном расстоянии от обслуживаемых участков (склад ремонтного фонда – разборка; растворный пункт – очистка; приготовление СОЖ, затачивание инструмента – механическая обработка заготовок; приготовление лакокрасочных материалов – окрашивание и др.).

Предложенные принципы исключают пересечение потоков движущихся предметов восстановления, минимальную производственную площадь и транспортную работу. Компоновочное решение производственного здания агрегатно-ремонтного завода в соответствии с предло-



женной концепцией показано на рис. 7.1. Здесь участки восстановления деталей размещены в средней части здания, при этом справа на схеме расположен участок восстановления корпусной детали.



**Рис. 7.1. Схема расположения участков восстановления деталей в производственном корпусе агрегатно-ремонтного завода:**  
ЛКМ – лакокрасочные материалы

### 7.1.3. Организация производства во времени

Устойчиво сформировались принципы организации производства *во времени*: дифференциация или концентрация операций; равенство производственных мощностей производства и его частей; непрерывность, ритмичность и гибкость.

Принцип *дифференциации операций* предполагает разделение производственного процесса на отдельные технологические процессы, операции, переходы, приемы, движения. Чем на большее число частей разделен ТП, тем меньше требований к квалификации рабочих, зато выше производительность труда и жестче требования к организации производства. Поточное производство многие годы развивалось за счет глубокой дифференциации ТП. *Концентрация операций* и интеграция производства – принципы, обратные дифференциации. Технологические операции такого вида становятся многопереходными и многоинструментальными и упрощаются, например, на оборудовании с ЧПУ. Квалификация рабочих в этом случае высокая, но организация работ простая.

Важным в организации производства является *уравнивание производственной мощности предприятия с его элементами*. Производственная мощность ремонтного предприятия определяется максимально возможным выпуском продукции установленного качества нужной номенклатуры при полном использовании технологического оборудования и производственной площади. Производственную мощность рассчитывают с учетом внедрения передовых технологий и организации производства, применения прогрессивных норм времени.

Производственную мощность ремонтного производства определяют мощности основных цехов, в которых выполняются основные технологические операции ремонта и сосредоточена преобладающая часть основных фондов предприятия. Например, при расчете производственной мощности специализированного производства по ремонту двигателей используют такое оборудование: моечные машины разборочно-очистного участка; круглошлифовальные станки для обработки шеек коленчатого вала; алмазно-расточные и хонинговальные станки для обработки цилиндров; горизонтально-расточные станки для обработки коренных опор коленчатого вала; средства для динамической балансировки деталей и испытательные стенды на слесарно-механическом участке; комплект окрасочно-сушильного оборудования на участке окрашивания.

Коэффициент использования производственной мощности определяется отношением объема выпуска продукции предприятием к его производственной мощности.

Объем выпуска отремонтированной продукции выражают в натуральных, приведенных и условных ремонтах и стоимостью продукции.

За единицу приведенного ремонта принимают объем ремонта машины-представителя. Коэффициенты приведения соответствуют отношению трудоемкостей ремонта рассматриваемой машины и машины-представителя. За единицу условного ремонта принят объем ремонтных работ в 300 чел.-ч для условий мастерской общего пользования с производственной мощностью, равной 300 условным ремонтам в год.

Если производственная мощность рабочего места или участка будет выше производственной мощности производства, то ее излишек не будет востребован, а капитальные и текущие затраты будут больше необходимых. Узкое место производства – это рабочее место или участок, производственная мощность которого ниже этого показателя для производства в целом. Мероприятия по уравниванию производственной мощности отдельных рабочих мест между собой включают передачу с места на место части работ, перестановку рабочих или дополнительное оснащение рабочего места средствами восстановления. Число рабочих на каждом рабочем месте должно быть пропорционально трудоемкости выполняемых на нем операций. Повышение степени пропорциональности процессов приводит к возрастанию производственной мощности предприятия в целом, улучшению использования производственных фондов, снижению себестоимости продукции.

*Непрерывность* производства предполагает сокращение до минимума перерывов в его процессах. Возможные потери рабочего времени выявляет анализ составляющих производственного цикла (времени выполнения операций, естественных процессов и перерывов). Для исключения этих потерь выполняют корректирующие действия. Управляющие факторы, обеспечивающие непрерывность производства, – это расстановка рабочих и распределение между ними работ, установление взаимодействия, определение начала и конца операций, последовательное или параллельное их выполнение, определение начала и конца подачи ресурсов, установление интенсивности труда и распределение ее в течение смены, соотношение труда и отдыха.

*Ритмичность* производства определяется выпуском продукции через установленные промежутки времени. К нарушению ритмичности приводят внеплановые простои оборудования, несвоевременное материально-техническое обеспечение и недостаточная исполнительская дисциплина.

*Гибкость* производства – это его способность по мере необходимости за короткое время при минимальных затратах без перерыва произ-

водственного процесса и остановов оборудования переходить на выпуск новой продукции произвольной номенклатуры в пределах технических возможностей и технологического назначения оборудования. Создание гибкого производства актуально для восстановительного производства по причинам его многономенклатурности и малых объемов.

Количественная оценка гибкости оборудования  $G$  оценивается произведением степени гибкости  $g_1$  и степени переналаживаемости  $g_2$ :

$$G = g_1 g_2, \quad (7.2)$$

$$g_1 = (1 - 1/n); \quad g_2 = \left( 1 - \frac{\sum_{j=1}^f \sum_{i=1}^s t_{ij}}{T_{\text{пл}}} \right),$$

где  $n$  – число функций оборудования;  $t_{ij}$  – время перехода из одного функционального состояния  $i$  во второе  $j$ ;  $i = (1, \dots, f)$ ;  $j = (1, \dots, s)$ ;  $T_{\text{пл}}$  – период времени, принятый в качестве базы для сравнения.

Новые принципы организации восстановительного производства требуют учета приспособленности технологического оборудования к изменяющимся видам и объемам ремонтных работ.

#### 7.1.4. Специализация и концентрация производства

Низкая цена восстановления деталей с высокой производительностью и достаточным качеством обеспечивается применением специального оборудования. При этом достигаются заданная точность технологических воздействий (например, пятый-шестой квалитеты точности при механической обработке деталей) и, как следствие, нормативный ресурс изделий. Специальное оборудование создают с применением последних достижений науки и практики ремонта, его выпускают небольшими партиями, поэтому оно дорогое. Для эффективного использования этого оборудования необходима его полная загрузка, которая достигается увеличением объемов производства путем специализации и концентрации восстановительного производства.

*Специализация производства* требует ограничения разнообразия предмета восстановления и элементов производственного процесса

(унификации) в масштабах одного завода или его участка. Специализация одного производства неразрывно связана с его концентрацией и кооперацией с другими производствами.

Специализация бывает предметной и технологической, она обеспечивает увеличение объемов однотипных процессов, загрузку специализированного и специального оборудования, снижение затрат на единицу продукции, способствует внедрению высшей формы организации – поточного производства. Наиболее развита предметная специализация. Ремонтное производство с течением времени переходит от ремонта полнокомплектных машин к ремонту их агрегатов и сборочных единиц (цилиндропоршневых групп, коленчатых валов с маховиком и сцеплением и др.), восстановлению деталей (в том числе малоресурсных – поршней, вкладышей коленчатого вала и др.) и к выпуску комплектов деталей для текущего ремонта агрегатов. Комплекты восстановленных деталей применяются в эксплуатационных хозяйствах при средних или текущих ремонтах машин. Специализация ремонтных заводов изменяется с потребностями рынка.

*Концентрация производства* по восстановлению деталей выражается в том, что в пределах экономического региона (района, области или республики) создают специализированное производство (цех, участок или завод). На это производство собирают и доставляют изношенные изделия и организуют их ремонт (восстановление). Увеличение объемов ремонтных работ на одном предприятии достигается за счет расширения площади обслуживаемого региона, но это связано с повышением затрат на перевозку ремонтного фонда и товарной продукции.

Полная загрузка крупносерийного или массового производства, оснащенного специальным оборудованием, с поточной формой его организации позволяет получить экономический эффект даже при увеличении транспортных расходов.

При возрастании объемов производства его организация изменяется от низкой формы единичного производства на универсальных постах до наиболее высокой поточной формы централизованного восстановления деталей.

Наиболее крупные достижения в создании ремонтных заготовок связаны с организацией в 60–80-х годах прошлого века на ремонтных заводах поточно-механизированных линий и специализированных участков по восстановлению деталей.

По степени специализации рабочих мест различают такие организационные формы осуществления работ: выполнение операций на универ-

альных или специализированных постах, поточное выполнение операций.

Ремонт на универсальных постах оправдан в том случае, если объем восстановления изделий данного типа небольшой, а их конструкция не допускает раскомплектования составных частей. Эта форма организации малоэффективна и применяется на маломощных предприятиях. При такой организации работ ремонт выполняет одна бригада рабочих, которая ведет все работы от начала до конца. Детали, требующие для восстановления специализированного оборудования, направляют на соответствующие участки. Организация простая, а исполнители определенно отвечают за качество ремонта. Однако в результате такой организации машина находится в ремонте длительное время, рабочие должны иметь высокую квалификацию, а ремонт получается дорогой.

Ремонт организуют на специализированных постах при увеличении его объемов. В условиях такой организации работ на каждом посту выполняют множество работ меньшего разнообразия. Применение специализированных постов позволяет повысить производительность труда, снизить требования к квалификации рабочих и уменьшить за счет этого стоимость ремонта. Эта форма организации применяется на предприятиях средней мощности и в крупных ремонтных мастерских.

Наиболее совершенной формой организации производства является поточный ремонт машин. При этой форме технологические операции закрепляются за рабочими местами, расположенными в технологической последовательности. Предмет ремонта перемещается конвейером или транспортером непрерывно или с перерывом через некоторые интервалы времени. Поточное производство требует ритмичной синхронной работы всех рабочих постов, четкого бесперебойного функционирования всех производственных подразделений, обслуживающих поточную линию, обеспечения инструментами, энергией, материалами и деталями. Поточная форма организации производства дает наивысшую производительность труда, не требует использования рабочих высокой квалификации и, следовательно, снижает себестоимость ремонта. Эта форма труда не обязательно требует больших объемов ремонта. Массовый тип производства с коэффициентом закрепления операций «единица» существует в ремонте в виде разборочного и сборочного производств, восстановительного производства, процессов приработки сопряжений и окрашивания изделий.

По степени концентрации производства существует четыре организационные формы восстановления деталей: на отдельных рабочих местах в составе цехов по ремонту агрегатов, в комплексных цехах, на специализированных участках, на специализированных предприятиях.

## 7.2. Централизованное восстановление деталей

Наибольший научный вклад в разработку *централизованного восстановления деталей* и обоснование его организации внес В.А. Какуевичкий. Целесообразность централизованного восстановления деталей зависит от уровня концентрации производства, номенклатуры деталей и определяется на основании анализа следующих данных:

- соотношения между дополнительными затратами на создание специализированного производства, оборотного ремонтного фонда и его перевозку, с одной стороны, и снижением себестоимости восстановления от увеличения его объема, с другой;

- соотношения между затратами на организацию централизованного восстановления деталей заданной номенклатуры и на их производство на заводе-изготовителе;

- удельного объема ручных работ при восстановлении деталей и возможности его замены машинным трудом;

- влияния срока службы восстановленной детали на послеремонтную наработку агрегата, составной частью которого она является.

Если стационарный процесс отказов деталей не описывается законом распределения, то приведенные выше условия выражаются следующими зависимостями:

$$a_s = f(s) < \frac{3_k}{G_g} \left[ \alpha(\alpha - 1) \frac{3_{p.c} + 3_{m.z}}{3_k} + \alpha^2 - 1,03 \left( \frac{N_k}{N_{\text{ц}}} \right)^b \right]; \quad (7.3)$$

$$\frac{\Phi_{\text{д.о}}}{t_{\text{max}}} < A_c L_{\phi} k_p \left( \frac{m}{S_a} + \frac{k_p + k_r}{L_{a.n}} \frac{k_3}{k_p} \right); \quad (7.4)$$

$$\frac{\Phi_{\text{д.о}}}{t_{\text{min}}} < A_c L_{\phi} k_p \left( \frac{m}{S_a} + \frac{k_p + k_r}{L_{a.n}} \frac{k_3}{k_p} \right); \quad (7.5)$$

$$3_{\text{ц}}\beta + (3_{p.c} + 3_{m.z})(\beta - 1) - k_d (K_{y.n} - K_{y.ц}) < 3_n - 3_o \quad \text{при } \beta > 1; \quad (7.6)$$

$$3_{\text{ц}}/\beta + (3_{d.m} + 3_{m.a})(\beta - 1) - k_d (K_{y.n} - K_{y.ц}) > 3_n + 3_o \quad \text{при } \beta < 1, \quad (7.7)$$

где  $a_s = f(s)$  – стоимость перевозки 1 кг данного вида деталей, р.;  $s$  – расстояние перевозки деталей, км;  $Z_k$  – затраты на восстановление деталей на комплексном ремонтном предприятии, р.;  $G_g$  – масса детали, кг;  $\alpha = T_{ц}/T_k$  – коэффициент, учитывающий возможное неравенство средних сроков службы до предельного состояния или отказа детали  $T_{ц}$  и  $T_k$ , восстановленной соответственно на специализированном предприятии и комплексном ремонтном предприятии;  $Z_{p.c}$  – затраты на разборочные и сборочные работы по замене отказавшей детали, р.;  $Z_{м.з}$  – затраты на запасные части, являющиеся сопряженными деталями, р.;  $N_k, N_{ц}$  – годовые объемы производства по восстановлению деталей соответственно на комплексном ремонтном предприятии и специализированном предприятии, ед./год;  $b$  – постоянный коэффициент, значение которого зависит от особенностей ТП восстановления детали;  $\Phi_{д.о}$  – действительный фонд времени работы оборудования, ч;  $t_{max}, t_{min}$  – длительность соответственно наиболее и наименее трудоемкой операции ТП восстановления детали, ч;  $A_c$  – списочное количество машин (агрегатов), эксплуатирующихся в данном районе;  $L_{ф}$  – средняя годовая наработка машины (агрегата), ч;  $k_p$  – среднее значение суммарного коэффициента восстановления по маршрутам, определяемым повреждениями или их сочетаниями, при которых деталь подлежит централизованному восстановлению;  $m$  – число деталей данного наименования в одной машине (агрегате);  $S_a$  – средний межремонтный срок службы агрегата, составной частью которого является рассматриваемая деталь, ч;  $k_r$  – среднее значение коэффициента годности данной детали;  $L_{a.н}$  – годовая наработка машины (агрегата), для которой (-го) установлены нормативы расхода запасных частей в эксплуатации, ч;  $k_3$  – средняя годовая норма расхода данной детали в эксплуатации на одну машину при ее годовой наработке  $L_{a.н}$ ;  $Z_{ц}$  – затраты на восстановление детали на специализированном предприятии, р.;  $\beta = T_n/T_{ц}$  – коэффициент, учитывающий возможное неравенство средних сроков службы до предельного состояния или отказа новой детали  $T_n$  и восстановленной на специализированном предпри-



ятии  $T_{ц}$ ;  $k_d$  – коэффициент дисконта;  $K_{у.н}$  – удельные капитальные вложения на создание производства по изготовлению данной детали;  $K_{у.ц}$  – удельные капитальные вложения на создание специализированного производства по восстановлению данной детали;  $Z_n$  – затраты на изготовление новой детали, р.;  $Z_o$  – остаточная стоимость изношенной или поврежденной детали, р.

Выражение (7.3) позволяет определить допустимое расстояние перевозки деталей на специализированное предприятие централизованного восстановления, при котором экономический эффект превышает дополнительные затраты на создание этого производства, оборотного фонда деталей и их транспортирование. Источники экономического эффекта кроются в применении более совершенных организации и технологии, что снижает себестоимость восстановления и повышает долговечность деталей.

Условия (7.4) и (7.5) показывают, что организация централизованного восстановления деталей целесообразна только в том случае, если масштабы работ в рассматриваемом регионе достаточны для создания крупносерийного или массового производства.

Из неравенств (7.6) и (7.7) следует, что организация централизованного восстановления деталей оправдана в том случае, если затраты на использование детали не будут превышать затрат, связанных с изготовлением и эксплуатацией новой детали.

Увеличение объемов восстановления расширяет рациональную область охвата потребителей. Этому способствует и повышение качества восстановления деталей по сравнению с уровнем качества, достигнутым на комплексных ремонтных предприятиях.

Объемы восстановления деталей тем выше, чем больше машин в регионе и их годовая наработка. Значительные объемы восстановления легче обеспечить для многочисленных недолговечных деталей, характеризующихся большими значениями  $m$ ,  $k_3$ ,  $k_p$  и малыми  $k_c$  и  $S_a$ . Увеличение массы восстанавливаемых деталей снижает величину целесообразного расстояния их перевозки (рис. 7.2). Особенно резкое снижение этого расстояния наблюдается для деталей большой массы, себестоимость восстановления которых незначительна.

Большие эксплуатационные затраты, вызванные малой долговечностью деталей, восстановленных на комплексном ремонтном предприятии, допускают увеличение расстояния перевозки деталей на их централизованное восстановление.

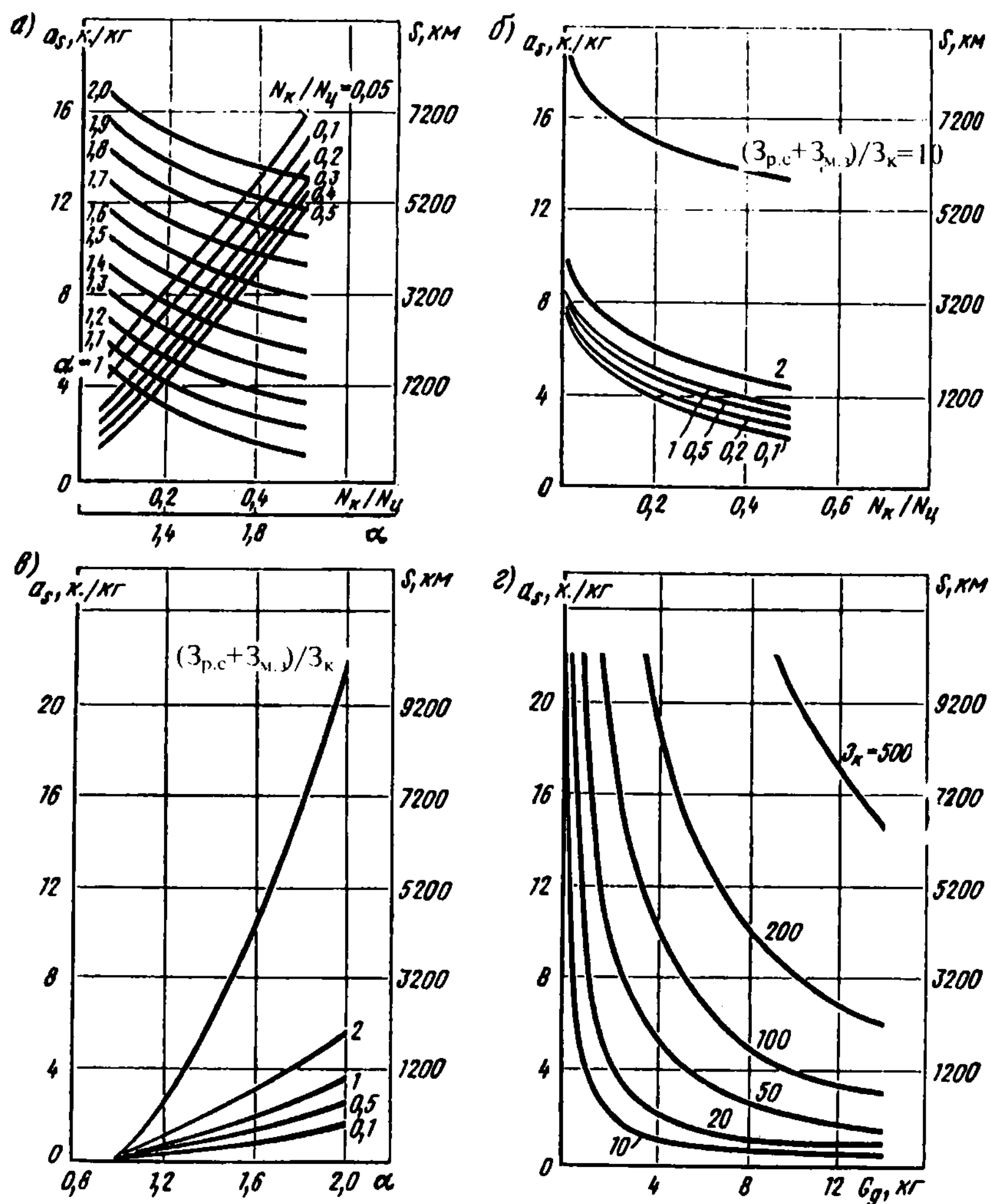


Рис. 7.2. Зависимость расстояния  $s$  перевозки деталей на централизованное восстановление от следующих факторов:

- $a$  – концентрации производства  $N_k/N_{ц}$  и фактора долговечности  $\alpha$ ;
- $б$  – концентрации производства и эксплуатационных затрат  $(Z_{p.c} + Z_{m.z})/Z_k$ ;
- $в$  – эксплуатационных затрат и фактора долговечности;
- $г$  – массы детали  $G_d$  и затрат на ее восстановление  $Z_k$

Влияние межремонтных пробегов агрегатов, в которых находятся восстановленные детали, ощутимо сказывается на объемах восстановления этих деталей только при больших значениях коэффициентов их восстановления.

Централизованному восстановлению в условиях высокой концентрации производства подлежат наиболее изношенные и поврежденные дефицитные детали распространенных моделей машин с высокой плотностью распределения их в рассматриваемом регионе. Потребность в этих деталях при эксплуатации и ремонте техники особенно велика. Наибольшая эффективность централизованного восстановления деталей определенной номенклатуры достигается созданием специализированного производства для них. Для этих деталей характерны значительные затраты на замену их в эксплуатации и малые себестоимость восстановления и стоимость перевозки. Особенно важно организовать высококачественное восстановление на специализированном производстве корпусных и основных деталей, срок службы которых до предельного состояния или отказа определяет послеремонтные ресурсы агрегатов.

Такие массовые детали, как поршневые пальцы, толкатели, крестовины кардана и дифференциала, муфты и фланцы валов, шатуны, гильзы цилиндров, шкворни, колесные тормозные цилиндры и ряд других, допускают экономически обоснованную перевозку на расстояние 300...500 км. Для подобных деталей может быть организовано одно централизованное производство по их восстановлению в республике или крупном регионе.

Централизованному восстановлению подлежат и более металлоемкие изделия. Допустимое расстояние перевозки карданных, коленчатых и распределительных валов, вилок и фланцев карданов, валов коробок передач и других деталей меньше примерно в 2 раза, чем в первом случае. Централизованное восстановление их целесообразно организовать в областных регионах. Ряд сборочных единиц, имеющих значительную массу (головки и блоки цилиндров, картеры коробок передач и редукторов), лучше восстанавливать на специализированном производстве только при определенном сочетании повреждений.

Наконец, некоторые детали нерационально восстанавливать централизованно, потому что даже в условиях значительной концентрации производства на специализированных предприятиях невозможно обеспечить себестоимость восстановления, которая не меньше затрат на изготовление детали. На заводе по капитальному ремонту машин следует сохранить восстановление простых деталей, имеющих низкую стоимость изго-

товления, но в результате изнашивания которых приходится восстанавливать значительную ( $> 1 \text{ дм}^2$ ) рабочую поверхность. Это валы и оси шестерен масляных насосов, валики и оси педалей, оси блоков шестерен, штоки переключения скоростей, крышки подшипников и др.

В рамках одного ремонтного завода следует выделять участки централизованного восстановления деталей, взятых с комплексных участков ремонта отдельных агрегатов.

Централизованное восстановление деталей организуют, как правило, по типовой или модульной технологии.

Централизованное восстановление блоков, головок и гильз цилиндров, коленчатых и распределительных валов, шатунов и поршневых пальцев, клапанов, толкателей и других деталей на поточно-механизированных линиях было организовано на ряде ремонтных заводов по проектам ЦОПКТБ «Авторемонт» ГОСНИТИ (Рязань), НПО «Авторемонт» (Саратов), ПТИ «Сельхозтехпроект» (Минск) и самих заводов.

На производстве централизованного восстановления деталей некоторые заводы изготавливают и новые детали из приобретенных поковок или отливок. Это сокращает дефицит запасных частей и уменьшает цену ремонта. На ремонтном заводе, имеющем литейное и кузнечно-штамповочное производства, может быть налажено изготовление: гильз цилиндров и уплотнительных колец под них, поршней, шатунов, коленчатых и распределительных валов, маховиков и их зубчатых венцов, шестерен масляного насоса, распределительных шестерен коленчатого и распределительного валов, втулок направляющих клапанов и распределительного вала, корпусов масляного и водяного насосов, маслоотражательных колпачков, нажимных и ведомых дисков сцеплений, рычагов сцепления и других деталей. Ремонтный завод на собственных литейных мощностях может получить отливки поршней, маховиков, нажимных дисков сцеплений, различных дополнительных ремонтных деталей.

### 7.3. Организация системы качества восстановления деталей

История разработки и внедрения систем управления качеством продукции началась в 60-е годы XX в. Наибольшее признание в СССР и за рубежом получила Саратовская система бездефектного изготовления продукции. Однако она распространялась только на стадию изготовления продукции и не учитывала стадии проектирования и постановки на производство. На предприятиях Горьковской области была разработана Комплексная система качества КАНАРСПИ (качество, надежность, ресурс с первых изделий), которая требовала экспериментальных работ по

выявлению надежности изделий на этапах их освоения. В то же время на предприятиях Минска, Львова и Риги появились системы, которые обеспечивали бездефектный труд всех категорий работающих с использованием материального и морального стимулирования. На заводах Львова эта система приобрела юридическую силу путем создания стандартов предприятий, которые дополнили Государственную систему стандартов применительно к условиям конкретных предприятий, что позволило управлять качеством продукции.

### 7.3.1. Содержание и цель системы качества восстановления деталей

Современная Система качества восстановления деталей (СК ВД) строится в соответствии с требованиями стандартов ISO 9000. Она включает: цель, функциональную и организационную структуры, методики, процессы и ресурсы, необходимые для управления качеством.

*Цель системы* – достижение технического уровня и качества продукции, превышающих соответствующие показатели ведущих предприятий отрасли. Задачи функционирования СК ВД заключаются в обеспечении условий для выпуска продукции, значения всех параметров которой не ниже установленных нормативной документацией.

*Функциональная структура* СК ВД описывается общими и частными задачами системы и ее элементов, их функциями и процедурами обеспечения качества продукции.

Множество элементов, связей и отношений системы представляет собой структуру системы, которая подлежит оптимизации. Материальные элементы системы (работники, технологические средства и предметы восстановления) находятся в связях и отношениях как между собой, так и с внешней средой (в том числе и с потребителями продукции), подчинены общей цели, потребляют ресурсы, оцениваются критериями и параметрами.

*Организационная структура* – совокупность ответственности, полномочий и взаимодействия персонала и представителя руководства.

К организационным элементам системы относятся: политика качества, ответственность и полномочия персонала, принципы функционирования системы, условия идентификации и прослеживаемости материалов, полуфабрикатов и продукции, управление производственными процессами, контроль и испытания на всех этапах производства, действенность корректирующих воздействий, регистрация данных о качестве.

В зависимости от места работников в структурной иерархии предприятия различают ответственность, полномочия и взаимодействие трех различных категорий персонала: руководителей предприятия, руководителей цехов, участков и смен и рабочих.

Система обеспечивает планирование, руководство, управление, и непрерывное улучшение качества продукции.

*Планирование качества* заключается в определении политики качества, требований и мероприятий, обеспечивающих достижение установленных значений показателей качества. Политике качества подчинены все краткосрочные частные решения.

*Общее руководство качеством* включает совокупность действий в составе административного управления предприятием по реализации политики качества. Достижение необходимого уровня качества продукции требует вовлечения и участия всех сотрудников предприятия, тогда как ответственность за общее руководство качеством несут главные руководители. В число этих руководителей входят: директор, главный инженер, заместители директора, главный бухгалтер, уполномоченный по качеству.

Общее руководство оценивается по таким критериям: снижению числа дефектов и стоимости продукции, совершенствованию технологии и средств ремонта и поддержанию последних в работоспособном состоянии.

*Управление качеством* – это виды и методы деятельности оперативного характера, обеспечивающие выполнение требований к качеству. Эта деятельность предусматривает как управление процессами, так и устранение причин неудовлетворительного качества. Управляемость системы заключается в изменчивости управляемых параметров под влиянием управляющего воздействия.

*Улучшение качества* – это постоянная деятельность, направленная на повышение технического уровня продукции, качества ее восстановления, совершенствование элементов производства и системы качества.

Руководитель предприятия определяет и выделяет ресурсы в необходимом объеме для проведения политики качества и достижения поставленных целей. Ресурсы включают: подготовленный персонал, СТО (оборудование и оснастку), средства измерений, нормативную документацию и справочную литературу, оргтехнику, средства связи и программное обеспечение. Обеспечение необходимыми ресурсами находит отражение в планах опытно-конструкторских работ, постановки изделий на производство, повышения качества изделий и совершенствования системы качества.

Таким образом, СК ВД – это совокупность функциональной и организационной структур, ответственности и полномочий, процедур и ресурсов, обеспечивающая общее руководство качеством.

Обязательства завода – поставщика восстановленных деталей перед заказчиком состоят в том, что завод гарантирует в течение установленного срока службы изделий или их наработки соответствие качества продукции установленным требованиям. В противном случае завод безвозмездно заменяет дефектную продукцию на другую при условии соблюдения заказчиком установленных требований к эксплуатации продукции, включая ее хранение.

### 7.3.2. Принципы функционирования системы качества

Основные принципы создания и действия СК ВД заключаются в следующем.

Назначение создаваемой системы состоит в достижении соответствия продукции установленным требованиям. Это означает, что СК ВД является средством достижения цели и решения задач, установленных политикой качества, с соблюдением тех требований, которые выдвигает заказчик. Выполнение требований потребителя является основным ограничением системы качества.

На предприятии организуются маркетинговые исследования спроса и требований потребителя. Результаты исследований излагаются в виде технических требований к продукции, которые должны быть выполнены. Действует принцип: не продавать произведенное, а производить то, что продается!

Система качества действует во взаимодействии с другими системами предприятия: конструкторской, технологической, организационной, снабженческо-сбытовой, – которые влияют на качество продукции. Это означает, что СК ВД является неотъемлемой частью системы управления заводом.

Действие системы качества распространяется на те этапы жизненного цикла продукции, с которыми соприкасается предприятие, – от изучения спроса на рынке до переработки ее в конце срока службы.

Система качества способствует непрерывному его улучшению. Чтобы реализовать этот принцип, необходимо определить четкие цели улучшения качества, мотивировать это улучшение, стимулировать саму мотивацию и обучить персонал в области управления качеством.

Внедрение системы качества исключает обезличенность восстанавливаемых объектов и предполагает аттестацию как работников, так и самого производства.

Система качества направлена на предупреждение проблем, а не на решение их после возникновения.

Главные руководители формируют политику в области качества, берут на себя обязательства за ее проведение, несут ответственность за достижение поставленной цели, инициируют разработку, внедрение и поддержание в работоспособном состоянии системы качества. В достижении поставленной цели в области качества принимают участие все работники предприятия. Руководители распределяют ответственность за функционирование элементов системы между всеми сотрудниками завода. Каждый работник выполняет свою строго определенную часть функций, за что отвечает. Ответственность работника предполагает наделение его соответствующими полномочиями.

Документы, в которых отражается ответственность и полномочия персонала, – это описание организационной структуры, Руководство по качеству, положения о подразделениях, должностные инструкции, процедурные документы, матрицы распределения ответственности.

Система качества должна быть оформлена в виде документа, в котором приведены элементы системы и все требования к ним. Форму системы устанавливает каждое предприятие самостоятельно. Необходимо, чтобы содержание документа было доступно для пользователя, а требования документа конкретны и однозначны. Документ должен находиться у того работника, для которого он предназначен.

Все элементы системы качества являются предметом регулярного внутреннего аудита. Это нужно для надежного функционирования системы качества и уверенности руководства предприятия в том, что намеченные цели достигаются. Аудиторская работа проводится специально обученным персоналом (внутренними аудиторами) по графику.

Система качества должна регулярно анализироваться и оцениваться руководством предприятия. Основными источниками информации о действии системы служат регулярные одноименные отчеты по подразделениям завода и отчеты о внутренних аудитах. Руководитель службы управления качеством обобщает эти отчеты и составляет доклад руководителю предприятия не реже 2 раз в год. Этот доклад содержит ответы на вопросы: соблюдаются ли основные положения политики качества, удовлетворены ли потребители качеством продукции, достигается ли цель предприятия в области качества, какова репутация предприятия на рынке, эффективна ли действующая система выявления и устранения причин имеющихся или потенциальных несоответствий? К докладу прилагаются предложения по совершенствованию системы качества.

### 7.3.3. Концепция и политика качества

Конкурентоспособность восстановленных изделий, повышение производительности труда и улучшение экономических показателей предприятия за счет расширения рынков сбыта и повышения прибыльности от сбыта продукции достигаются путем непрерывного и планомерного совершенствования производства. Такое совершенствование возможно на основе использования современной *концепции качества*, которая достаточно полно изложена доктором У.Э. Демингом. Она включает:

- разработку дерева целей и рабочую философию качества;
- непрерывное совершенствование системы качества и процесса производства;
- исключение сплошного контроля качества и внедрение выборочных статистических методов контроля;
- замену системы многих поставщиков (по каждому типу закупаемых материалов, полуфабрикатов и изделий) на долгосрочные связи с одним поставщиком;
- непрерывное улучшение производственного процесса;
- использование методов математической статистики и четких рабочих определений;
- постоянное повышение качества обучения;
- введение новых методов непосредственного руководства и оценки личных качеств сотрудников, ориентированных на разработку контроля за процессом;
- устранение страха перед работой и руководством, чтобы каждый сотрудник мог приносить наибольшую пользу предприятию;
- устранение внутренних и внешних барьеров, препятствующих концепции непрерывного повышения качества;
- замену количественных целевых показателей, плакатов и лозунгов на непрерывное совершенствование процесса;
- замену нормы выработки и рабочих стандартов на статистические методы управления;
- развитие у сотрудников чувства профессиональной гордости за предприятие и результаты его работы;
- введение систематической подготовки и переподготовки всего персонала предприятия;
- изменение действующей организационной структуры предприятия на новую структуру, отвечающую требованиям непрерывного повышения качества.

*Политика в области качества* включает цель, основные направления и задачи предприятия, высказанные его руководителем.

Средствами достижения цели являются:

- освоение производства модернизированных изделий;
- внедрение новых технологических решений, обеспечивающих заданный уровень качества с наименьшим расходом ресурсов;
- обеспечение производства необходимыми СТО с последующим их обновлением;
- подготовка кадров высокой квалификации с новым отношением к вопросам качества;
- функционирование системы качества.

Политика качества реализуется в целевых организационно-технических программах обеспечения и повышения качества продукции, действующих в течение одного года или большего лет.

*Пример политики качества.* 1. Наше стремление – быть для наших реальных и потенциальных потребителей самыми компетентными и надежными партнерами во всех вопросах, касающихся наших изделий и услуг. Потребитель определяет вид и объем поставок продукции и критерии ее качества.

Мы – организация, ориентированная на потребителя.

2. Мы готовы к переменам и стремимся делать новое и необходимое, а не отжившее, но привычное.

Мы – развивающаяся организация, восприимчивая к новому.

3. Мы добиваемся максимально полного и эффективного использования производственных ресурсов.

Мы – эффективная организация.

4. В нашей организации каждый относится к коллеге по следующему этапу процесса как к внутреннему потребителю.

Мы – организация, ориентированная на процессный подход.

5. Мы повышаем ценность нашего предприятия путем непрерывного роста профессионализма каждого сотрудника, совершенствования внутренних отношений и использования прогрессивных технологий.

Мы – обучающаяся организация.

6. Наше процветание мы связываем с процветанием всех тех, для кого и с кем мы работаем.

Мы – организация партнерского типа.

7. Мы ценим способность наших лидеров содействовать профессиональной самореализации сотрудников.

Мы – организация, базирующая свою деятельность на лидерстве и вовлеченности персонала.

8. Наша цель – превзойти качество продукции, достигнутое на предприятиях отрасли, удовлетворить непрерывно изменяющиеся запросы потребителей на основе высокого технического уровня нашего предприятия.

Мы работаем для тех, кто сделал ставку на качество.

### 7.3.4. Ответственность за качество и полномочия работников

Мера ответственности за качество, полномочия каждого работника, круг лиц и описание случаев, в которых он должен взаимодействовать с этими лицами, устанавливаются должностные инструкции. В качестве ответственных за качество или выполнение определенных процедур, функций и задач назначают тех работников, которые наиболее близко соприкасаются с данными задачами в своей деятельности.

Восстанавливаемые детали приобретают качество в процессе производства по мере выполнения ТП, а не в результате их контроля. Поэтому ответственность за качество их восстановления возлагают на рабочих, мастеров, начальников цехов, заместителя директора по производству, а не на отдел технического контроля (ОТК).

Ответственность, полномочия и взаимодействие персонала должны быть четко и полностью определены. Для этого необходимо, чтобы по каждой функции, задаче и процедуре обеспечения качества были определены ответственные за ее выполнение и порядок взаимодействия. Полномочия работника должны позволять ему принимать меры для решения задач в рамках возложенной на него ответственности. На каждом заводе разрабатывается наглядная матрица ответственности и полномочий работников всех уровней производства.

Система стимулирования работников предприятия за качество продукции учитывает как меру ответственности персонала за выполнение работ, влияющих на это качество, так и результаты проведенных работ.

В зависимости от отношения к ТП ремонта техники различают персонал, обеспечивающий качество (конструкторы, технологи, руководители цехового звена, рабочие) и его контролирующий (работники ОТК).

*Рабочий* основного производства отвечает за состояние закрепленного за ним оборудования и выполнение технологических регламентов. Он осматривает и контролирует оборудование в начале смены и выполняет операции в строгом соответствии с описанием ТП, а контрольные измерения параметров деталей и процесса начинают с первого изделия. Исполнитель ведет контрольную карту; помещает в изолятор брака продукцию, произведенную с дефектами; воздерживается от выполнения работы, если продукция будет изготовлена с дефектом; докладывает бригадиру (мастеру) о дефектной продукции и неудовлетворительных условиях производства.

*Мастер отвечает* за производственную дисциплину и порядок на вверенном ему участке, техническое состояние технологического оборудо-

ования и оснастки, обеспечение средствами измерений рабочих мест, выполнение рабочими своих операций (в том числе контрольных) в строгом соответствии с последовательностью и режимами, приведенными в описании ТП, ведение документации по учету параметров продукции.

*Начальник цеха несет ответственность* за соответствие параметров продукции требованиям нормативной и технологической документации, за маркирование и прослеживаемость этой продукции, управление процессами, консервацию продукции и отправку ее на склад.

Контроль качества восстановленных деталей со стороны ОТК не освобождает руководителей смен, участков и цехов от ответственности за выпуск качественной продукции.

*Начальник ОТК ответственен* за выпуск качественной и комплектной продукции, соответствующей нормативной и технологической документации; организацию, состояние и совершенствование системы технического контроля; своевременное оформление документов, удостоверяющих соответствие выпускаемой продукции установленным требованиям; использование на контрольных операциях исправных и поверенных средств измерений; организацию приемочного контроля продукции; выполнение функций отдела и должностных обязанностей работников. Начальник ОТК наравне с директором завода несет ответственность в соответствии с действующим законодательством.

*Главный бухгалтер отвечает* за учет сырья, материалов, продукции и отходов, издержек и затрат на качество. Он обеспечивает внедрение и выполнение требований системы качества в бухгалтерии и финансирование заводских мероприятий по качеству.

*Главный инженер и заместители директора* руководят основным, вспомогательным и обслуживающим производствами и функциями системы качества в закрепленных за ними направлениями деятельности. Они несут ответственность за соблюдение политики качества, обязательств и требований системы качества в подчиненных им производствах; организуют разработку и совершенствование нормативных документов; выявляют и предотвращают любые несоответствия, относящиеся к системе качества; управляют последующими действиями до тех пор, пока несоответствия не будут устранены.

*Директор предприятия несет ответственность* за практическое применение разработанной системы качества, разработку, оптимизацию и совершенствование структуры предприятия. Директор назначает приказом уполномоченного по качеству, который непосредственно подчиня-

ется ему и руководит разработкой, внедрением, поддержанием в работоспособном состоянии и совершенствованием системы качества.

*Уполномоченный по качеству* создает на заводе службу качества, определяет структурное содержание системы качества, принимает решение о проведении ее анализа, утверждает мероприятия по устранению несоответствий, выявленных при этом анализе внутренними и внешними аудиторами по качеству, и оценивает общий эффект в области качества.

### ***7.3.5. Управление производственными процессами***

Производственные процессы включают все операции ремонта техники: технологические, энергетические, ремонтно-вспомогательные, снабженческие, складские, транспортные и сбытовые. Другими словами, производственные процессы охватывают все работы основного, вспомогательного и обслуживающего производств.

*Управление процессами производства* – это их документирование, создание условий производства, обеспечение протекания процессов в установленной последовательности и определенным образом, сбор информации о процессах, их контроль и корректировка.

Содержание процессов производства с разной степенью детализации изложено в описании ТП, технологических и должностных инструкциях.

Условия производства подразумевают: обеспечение рабочих мест материалами, полуфабрикатами и комплектующими изделиями; использование аттестованного технологического оборудования; соответствие режимов обработки предмета восстановления ТП инструкциям и требованиям охраны труда; привлечение к работе обученного и аттестованного персонала и действие средств контроля качества продукции.

Работу по обеспечению качества на стадии протекания производственных процессов можно свести к предупреждению, обнаружению и ликвидации отклонений параметров продукции от установленных требований. Это достигается сравнением характеристик процессов и продукции с требованиями документации, а также с эталонами образцов продукции, непрерывным контролем работы оборудования, обучением и аттестацией персонала.

Ответственность за соблюдение и контроль процессов производства несут руководители соответствующих подразделений, при этом контроль этих процессов заранее планируется. Контроль ТП основного производства ведет отдел главного технолога (ОГТ).



### **7.3.6. Контроль и проведение испытаний на всех стадиях производства**

*Испытания продукции* необходимы для подтверждения соответствия продукции установленным и договорным требованиям и способности производства выпускать такую продукцию.

Виды испытания продукции оговорены в ГОСТ 16504–81.

*Предварительные испытания* включают испытания продукции с целью определения возможности предъявления продукции на приемочные испытания.

*Приемочные испытания* – это испытания восстановленных образцов или их партии в опытном порядке с целью принятия решения о целесообразности восстановления деталей на данном предприятии.

*Квалификационные испытания* заключаются в испытании восстановленной продукции при организации производства на предмет оценки готовности этого производства к выпуску продукции данного типа в заданном объеме.

*Приемосдаточные испытания* – испытания восстановленной продукции, по результатам которых принимается решение о ее пригодности к поставкам.

*Периодические испытания* заключаются в испытании образцов выпускаемой продукции, проводимого через установленные промежутки времени с целью контроля стабильности качества продукции и определения необходимых мероприятий по ее поддержанию.

Отдел главного конструктора (ОГК) отвечает за разработку и обеспечение документацией и за организацию предварительных и приемочных испытаний. ОГТ организует испытания остальных видов.

### **7.3.7. Маркирование и прослеживаемость продукции**

*Маркирование продукции* – это процедура нанесения и учета пометок или этикеток на предмет восстановления.

*Прослеживаемость продукции* – это определение места, времени и объема восстановительных работ, в результате которых продукция выполнена с браком, а также личности работников, осуществивших и оценивших указанные работы.

Мероприятия маркирования и прослеживаемости продукции необходимы для установления использования или нахождения данного объекта в случае выявления его дефектов. Прослеживаемость должна обеспечить ретроспективу поступления ремонтного фонда, материалов и

полуфабрикатов, а также в дальнейшем место, условия и наработку изделий.

Организация маркирования и прослеживаемости изделий заключается в следующем.

Определяют детали и сборочные единицы, которые подлежат маркированию. В наибольшей мере это относится к изделиям, влияющим на эксплуатационные характеристики, безопасность и надежность отремонтированных агрегатов. Факт маркирования изделия отражается в технических требованиях конструкторской документации.

В технологической документации отражают способ выполнения требований по маркированию: шифр и вид маркирования, формы маршрутного листа на деталь или сборочную единицу и технологического паспорта на агрегат.

Маркированная продукция должна определенным образом регистрироваться.

Отделы сбыта и материально-технического снабжения обеспечивают поступление ремонтного фонда в ремонтнопригодном состоянии, приобретение материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий, соответствующих требованиям конструкторской документации и имеющих сертификаты качества или соответствия.

Материалы и изделия, поступившие на склад, учитываются вместе с прибывшими документами. Изделия с отсутствующими документами проходят входной контроль силами ОТК по имеющейся на заводе документации.

Ремонтный фонд, материалы, полуфабрикаты и комплектующие изделия, поступившие в цех вместе с сопроводительными документами, учитываются в журналах.

На детали ремонтного фонда, отмеченные в документации, наносят маркировочные метки. Сведения о деталях, данные о повреждениях и восстановительных операциях, фамилии и подписи исполнителей и контролеров заносят в маршрутные листы. Участки восстановления деталей, комплектования и сборки агрегатов обеспечиваются стеллажами, подставками, поддонами и другой оргоснасткой для хранения маркированных изделий и документации на них.

На комплектовочном участке заводят технологический паспорт агрегата, к которому прилагают маршрутные листы составляющих основных деталей. На сборочном участке технологический паспорт дополняют сведениями о выполненных сборочных операциях, исполнителях и контролерах. Обкатчики и контролеры записывают сведения о контролируемых параметрах агрегата во время его испытания.

Ответственность за оформление документов по маркированию изделий и их частей возлагается на мастеров участков. Все указанные документы на каждый экземпляр продукции в сброшюрованном виде хранятся в архиве ОТК в течение гарантийного срока изделия.

Отдел сбыта ведет учет мест эксплуатации продукции.

### 7.3.8. *Корректирующие и предупреждающие мероприятия*

Определение и устранение причин дефектов с целью исключения их повторения проводят посредством *корректирующих* мероприятий, а действия, направленные на исключение возможности этих причин или появления новых видов дефектов, являются *предупреждающими*. Проведение корректирующих действий начинается с выявления проблемы качества и связано с принятием мер по устранению или минимизации случаев повторного возникновения этих проблем (рис. 7.3).

Наиболее распространенные причины дефектов:

- несоблюдение требований к качеству материалов и комплектующих;
- неадекватность или отсутствие документированных процедур;
- недостаточная подготовка персонала;
- несоответствие условий работы;
- неадекватность или отсутствие управления процессами;
- нарушения технологической дисциплины.

Выявление причин может привести к внесению изменений в процессы производства, упаковки, хранения, транспортирования и обслуживания продукции и в технические требования к этой продукции.

Корректирующие и предупреждающие мероприятия планируют и проводят по профилю своей работы ОГК и ОГТ. Отделы вносят изменения в конструкторскую и технологическую документацию в соответствии с проведенными корректирующими и предупреждающими действиями. Исследование причин дефектов продукции и контроль хода корректирующих и предупреждающих мероприятий ведет группа анализа качества, а эффективность этих мероприятий контролирует ОТК.

Корректирующие и предупреждающие мероприятия разрабатывают на основании:

- данных приемосдаточных испытаний;
- дефектов, выявленных в гарантийный период эксплуатации;
- актов проверки технологической дисциплины;
- актов авторского надзора;
- результатов аудиторских проверок (внутренних и внешних);

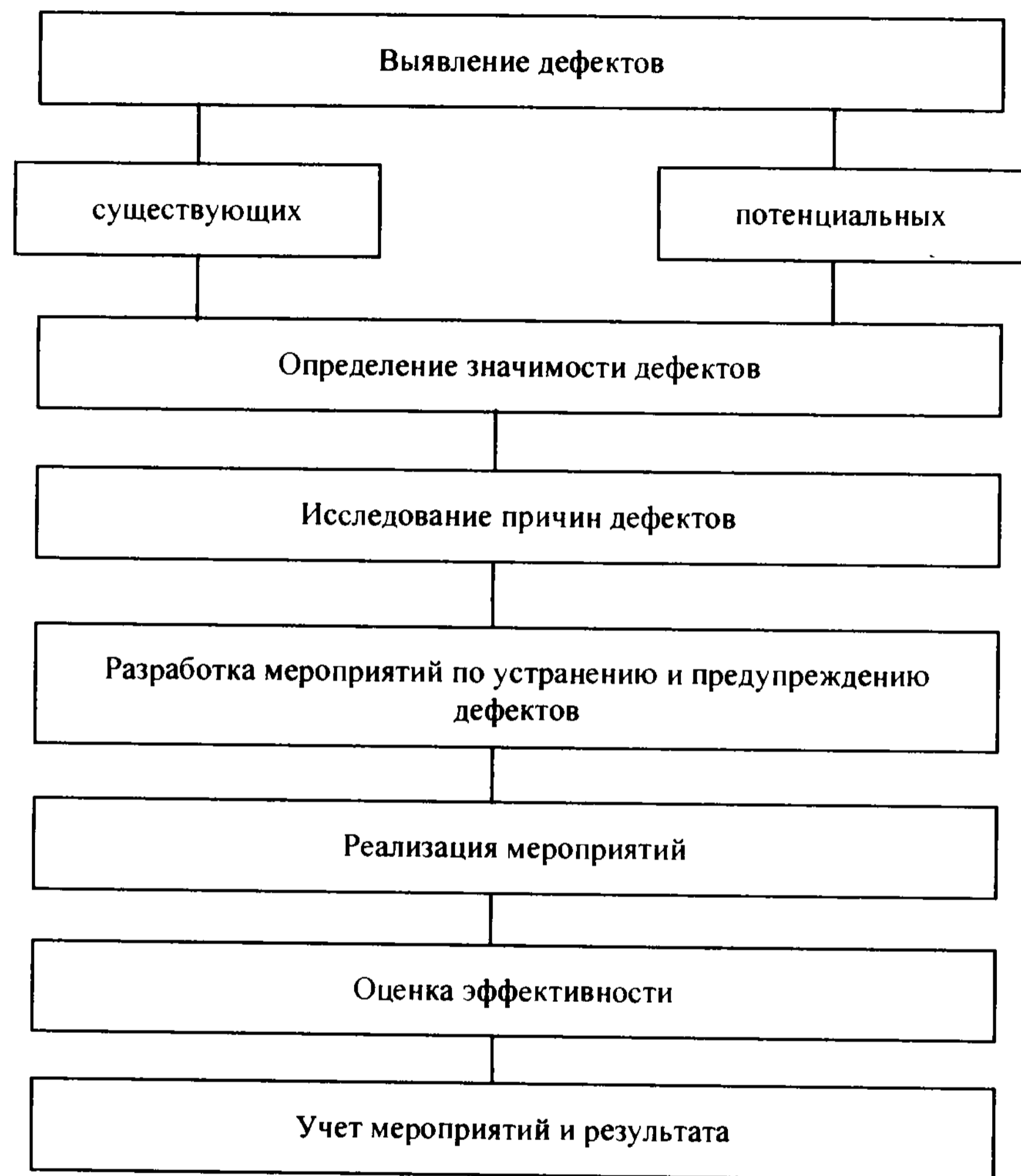


Рис. 7.3. Порядок выявления причин дефектов и реализации мер по их устранению и предупреждению

- предложений по улучшению технологических процессов;
- отчетов о техническом обслуживании;
- протоколов Дня качества;
- актов списания бракованной продукции;
- случаев выпуска продукции по особым санкциям.

Порядок выполнения работ состоит в следующем. Все подразделения завода определяют причины дефектов, и сведения о них направляют в письменном виде в группу анализа. Она инициирует разработку мероприятий силами ОГК и ОГТ. Разработанные мероприятия учитываются в журнале контроля, содержание отдельных мероприятий и сроки их выполнения сообщаются ответственному подразделению в виде контрольной карточки. Руководитель подразделения отвечает за полноту и сроки выполнения мероприятия, по окончании установленного срока он информирует группу анализа о достигнутых результатах. Результаты выполнения плана мероприятий обсуждаются на оперативных совещаниях, заседаниях технического совета или на Дне качества.

Группа анализа качества с использованием сведений из технических и экономических отделов оценивает эффективность принятых мер. Учитывается степень устранения выявленного отклонения от требований нормативной документации, а также затраты на разработку и реализацию мероприятий. При положительном эффекте найденного технического решения оно вносится в действующую документацию в виде изменения. В противном случае необходима разработка нового решения корректирующего характера. Хранение всей документации по управлению корректирующими и предупреждающими воздействиями ведет группа анализа качества.

### 7.3.9. Аттестация производства

Аттестация производства представляет собой комплекс мероприятий по определению его возможности выпускать продукцию в соответствии с требованиями нормативной документации. Аттестация бывает плановой и инспекционной.

Производство аттестуют при заводской или государственной сертификации. Аттестации подвергают отдельные рабочие места (операции), по результатам которой судят о состоянии всего участка.

Аттестация производства включает проверку конструкторской и технологической документации, знаний и способности рабочих обеспечить требования технологической документации, производственного порядка на рабочих местах, состояния оборудования, оснастки (в том числе инструмента) и средств измерений.

При проверке конструкторской документации устанавливают достаточность требований к качеству выпускаемой продукции, выясняют, все ли требования конструкторской документации учтены технологической документацией и обеспечиваются ею.

Квалификационный разряд рабочего должен быть не ниже, чем того требует технология. Проверяют знания в объеме квалификационных требований, а также знание устройства восстанавливаемого объекта, возможных причин дефектов и мер по их предупреждению и технологии его восстановления. Осматривают производственную одежду, обувь и средства защиты. Рабочий должен показать умение измерять величины, приведенные в технологической документации.

Производственный порядок подразумевает чистоту пола, оборудования и организационно-технической оснастки, расположение заготовок и деталей в ориентированном положении на подставках и стеллажах, отсутствие ненужных вещей.

При контроле оборудования проверяют наличие графика его обслуживания и планово-предупредительных ремонтов, полноту их проведения. Выборочно проверяют технологическую точность станков по разработанным методикам и с применением имеющейся оснастки. Рабочие вспомогательного производства должны демонстрировать умение в проверке оборудования на технологическую точность, его обслуживании и ремонте. Проверяющие обращают внимание на смазку станков и заправку их СОЖ.

При проверке технологической оснастки контролируют выполнение соответствующего графика на технологическую точность, наличие методик и необходимых средств для этой проверки. Выборочно проверяют некоторые экземпляры оснастки.

Средства измерений должны пройти поверку по графику. На рабочих местах не должно быть средств измерений, не указанных в технологической документации или с истекшими сроками поверки.

И, наконец, случайным образом отбирается экземпляр восстановленной детали, принятый ОТК и находящийся на складе готовой продукции. У изделия измеряют значения контролируемых параметров и сопоставляют их с нормативными значениями.

### 7.3.10. Организация контроля качества

Для организации контроля качества на заводе создают ОТК во главе с начальником, который подчиняется директору завода. Структурная схема ОТК приведена на рис. 7.4. Начальник ОТК руководит разработкой и проведением мероприятий по повышению качества продукции или услуг, совершенствованием системы контроля. Он непосредственно следит за работой своего заместителя, участка входного контроля деталей и группы инженеров СК ВД. Заместитель начальника ОТК отвечает за ра-



Рис. 7.4. Структурная схема ОТК

боту цехового аппарата контролеров и работу по устранению рекламационных дефектов, в том числе в хозяйствах, где работает отремонтированная техника. Число контролеров определяют с учетом трудоемкости контрольных операций.

Система технического контроля направлена на:

- предмет восстановления в виде исходных и ремонтных заготовок, восстановленных деталей, сборочных единиц и собранных агрегатов и машин;
- средства ремонта в виде технологического оборудования и оснастки;
- средства измерений, испытаний и контроля;
- нормативную, инструктивную и технологическую документацию;
- материалы, полуфабрикаты и запасные части.

Основные операции ремонта должны быть обеспечены, кроме того, средствами контроля материалов (состава и структуры), технологических сред (состава, концентрации, температуры и давления) и режимов, устройствами для контроля технологической точности средств ремонта. Оборудование оснащают средствами активного контроля, предназначенными для измерений в ходе обработки и останова станка по достижении заданного размера. Измерительные лаборатории (в пределах своей компетенции) оснащают аттестованными устройствами для поверки средств измерений.

ОТК проводит работу во взаимодействии с цехами основного производства, отделом снабжения, производственно-диспетчерским отделом, ОГТ, юридическим бюро и бухгалтерией.

## Основные задачи ОТК:

- предотвращение выпуска продукции, не соответствующей требованиям нормативной и технологической документации, условиям поставки и договорам;
- укрепление производственной и технологической дисциплины;
- повышение ответственности за качество продукции всеми участниками производства;
- изучение причин выявленного брака и реализация мероприятий по его предупреждению;
- учет.

С целью наиболее полного учета требований к качеству продукции все технологические процессы, разрабатываемые на заводе, проходят экспертизу в ОТК, а титульные листы технологической документации подписывает начальник ОТК.

Система технического контроля требует непрерывного анализа ее эффективности и внедрения прогрессивных элементов для повышения производительности труда и достоверности контроля.

## Функции ОТК:

- совершенствование системы технического контроля;
- входной контроль продукции;
- все виды цехового контроля продукции (приемочного, инспекционного, летучего) сплошным или выборочным методом;
- участие в испытаниях новых видов продукции;
- работа по изучению дефектов и выработке предупреждающих мероприятий.

Входной контроль изделий и материалов проводят с целью предотвращения запуска в производство продукции, не соответствующей требованиям конструкторской и нормативной документации и договоров на поставку. На этой стадии контроля проверяют наличие сопроводительной документации на продукцию, удостоверяющей ее качество и комплектность, устанавливают соответствие качества и комплектности продукции требованиям конструкторской и нормативной документации, собирают статистические данные о фактическом уровне качества получаемой продукции и разрабатывают на этой основе предложения по повышению качества и пересмотру (при необходимости) требований нормативной документации к продукции, оформляют акты о браке продукции, своевременно и оперативно извещают поставщиков о недостатках и дефектах продукции, выявленных при входном контроле и в процессе производства.

При входном контроле используют сплошной или выборочный метод. Вид контроля устанавливают в зависимости от стабильности качест-

ва продукции поставщика и указывают в перечне продукции. Операции входного контроля комплектующих изделий, поступающих с других заводов, оснащены средствами для измерения основных параметров деталей, влияющими на надежность отремонтированных агрегатов. Средства измерений и испытательное оборудование выбирают исходя из требований нормативной документации и стандартов. При назначении методов и средств контроля должно быть обеспечено единство проверок, а по возможности и со средствами контроля заводов – изготовителей поступившей продукции.

Входной контроль проводят в отдельных (при необходимости в термokonстантных) помещениях. Продукция, подлежащая входному контролю, хранится отдельно от продукции, принятой и забракованной. Результаты проверки продукции заносятся в журнал. На продукцию, признанную годной, выдается ярлык «Принято», а в сопроводительной документации проставляются штамп и число за подписью контролера. Забракованная продукция снабжается ярлыком «Брак» и направляется в изолятор брака. В последнем случае оформляется акт. Извещение поставщиков о забракованной продукции и их вызов входит в обязанности начальника ОТК. Представители поставщика приглашаются для разработки совместных мер, направленных на повышение качества поставляемой продукции.

Текущая работа контрольного аппарата заключается в операционном и приемочном контроле продукции согласно ТП контроля. Сюда входит контроль качества материалов и комплектующих изделий, выполнения отдельных технологических операций, собранных и испытанных изделий, упаковки, транспортирования и хранения продукции.

При выборе вида контроля предпочтение отдается выборочному контролю как наиболее прогрессивному.

Важные функции ОТК состоят в изучении причин недостаточного качества продукции и выработке мер по его повышению.

Начальник ОТК организует работу по контролю качества выпускаемой продукции и принимает окончательное решение о приемке продукции или об отнесении ее к браку в случае разногласий между работниками ОТК и изготовителями продукции.

Начальник ОТК имеет право запретить:

- приемку продукции, которая выходит с повторяющимися дефектами, до тех пор, пока не будут выяснены и устранены причины их возникновения;

- использование материалов и комплектующих изделий, которые не отвечают установленным требованиям и не гарантируют необходимого качества продукции;
- производство продукции на оборудовании, не обеспечивающем установленных требований к ней до устранения соответствующих причин;
- изготовление продукции, если конструкторская и технологическая документация не учитывают действие нормативной документации или не созданы необходимые условия для объективной оценки качества продукции;
- реализацию продукции, не принятой ОТК;
- применение средств измерений, которые не прошли поверку в установленном порядке или неисправны.

Решения о запретах письменно доводятся до директора завода, который может отменить их письменным приказом с немедленным уведомлением руководителей вышестоящей организации.

#### 7.4. Организация маркетинговой и технологической подготовки восстановительного производства

Подготовка производства предшествует самому производству. Виды подготовки производства соответствуют частям жизненного цикла продукции (по ISO 9004), который включает в себя:

- маркетинг, поиск и изучение рынка;
- разработку технических требований и проектирование продукции;
- разработку и подготовку ТП и средств труда;
- материально-техническое снабжение;
- изготовление, контроль, испытания, хранение, реализацию, распределение и эксплуатацию продукции;
- техническое обслуживание и ремонт;
- утилизацию после использования.

В зависимости от стадии жизненного цикла продукции различают подготовку: научную, маркетинговую, конструкторскую, технологическую, организационную, финансовую, строительную, снабженческую и сбытовую. Научная подготовка предшествует подготовке остальных видов. Конструкторская и технологическая подготовка образуют техническую подготовку.

Маркетинговая подготовка определяет вид и объемы производства. Наибольшее влияние на технический уровень продукции оказывает конструкторская подготовка, на качество продукции – технологическая, а на

расход производственных ресурсов – организационная. Все вместе они формируют эффективность производства.

Необходимость подготовки производства возникает при освоении производства нового вида продукции или увеличении производственной мощности, или для снижения ресурсопотребления, или из-за потребности в повышении качества продукции. Последняя потребность возникает в случае уменьшения значений показателей качества продукции относительно соответствующих нормативных значений.

##### 7.4.1. Маркетинговые исследования рынка продукции и услуг

*Маркетинг* – это изучение спроса на ремонт техники и влияния его качества и качества технического сервиса на объемы реализации продукции. Задачи маркетинга состоят в комплектовании портфеля заказов, налаживании товародвижения и сбыта продукции, ориентированной на запросы потребителей.

В основу концепции маркетинга положены идеи удовлетворения нужд и потребностей потенциальных потребителей. Она появилась как ответ на усложнение сбытовой деятельности в условиях наращивания объемов выпуска продукции. Ранее имело место приоритетное положение производителя по отношению к потребителю. Рынок такого типа получил название «рынок продавца». В этом случае сначала производился товар, а затем шли активные поиски его потребителя и методов интенсивного сбыта. При насыщенном рынке вступали в действие жесткая конкуренция, агрессивная реклама и изощренные формы стимулирования сбыта.

В какой-то момент рынок продавца становится тормозом на пути научно-технического прогресса и появления новых товаров. Разрешение противоречия возможно за счет создания «рынка покупателя», предполагающего выпуск товаров, которые будут согласны приобрести потенциальные потребители.

В этом случае в основу производства закладываются данные, полученные в результате изучения запросов различных рыночных сегментов (отдельных групп населения, предприятий, организаций и других потребителей), которым и будет адресована вновь созданная продукция. Здесь меняется направление усилий производителя: он, выявив с помощью исследований неудовлетворенные нужды и потребности, разрабатывает и начинает производить те товары и услуги, которые способны удовлетворить покупателя. Таким образом, определение производства и сбыта продукции в условиях рынка покупателя составляет содержание маркетинговой деятельности.

Один из видных идеологов маркетинга – профессор Ф. Котлер определил маркетинг как вид человеческой деятельности, направленный на удовлетворение нужд и потребностей путем обмена. Рабочие понятия маркетинга следующие:

- нужда – чувство ощущаемой человеком нехватки чего-либо;
- потребность – нужда, принявшая специфическую форму в соответствии с культурным уровнем и личностью индивида;
- запрос – это потребность, подкрепленная покупательной способностью;
- товар – все, что может удовлетворить потребность или нужду и предлагается рынку с целью привлечения внимания, приобретения, использования или потребления;
- обмен – факт получения от кого-либо желаемого объекта с предложением чего-либо взамен;
- сделка – коммерческий обмен ценностями между двумя сторонами;
- рынок – совокупность существующих и потенциальных покупателей товара.

На ремонтных предприятиях создают отделы или бюро маркетинга, организованные по функциональным признакам. Эти подразделения изучают характеристики рынка и определяют его потенциальные возможности, анализируют распределение долей рынка между предприятиями, определяют сбыт и готовят предложения руководству предприятия для организации выпуска продукции и подготовки производства. Успешно действует в непрерывно меняющейся обстановке то предприятие, которое непрерывно корректирует свою деятельность на основе перемен на рынке.

Выбор стратегии охвата рынка зависит от производственной мощности предприятия, однородности продукции и рынка, этапа жизненного цикла товара и маркетинговой стратегии конкурентов. С учетом всех этих данных определяют, какие рыночные сегменты наиболее привлекательны для предприятия, а также решают, которые из них больше других соответствуют его сильным сторонам и опыту.

Маркетинговые исследования являются базовыми для назначения цены товара. Цена может устанавливаться на основании одного из пяти методов ценообразования:

- «средних издержек плюс прибыль»;
- анализа и обеспечения целевой прибыли;
- на основе осязаемой ценности товара;

- исходя из уровня текущих цен;
- на основе закрытых торгов.

Предприятие рекламирует свою продукцию путем рассылки рекламных проспектов потенциальным покупателям и участия в тематических выставках.

Путем маркетинговых исследований определяют производственную мощность основного производства. При определении производственной мощности действующих предприятий устанавливают:

- производственные возможности ремонтного предприятия, рассчитанные по ведущим цехам, участкам и группам основного оборудования, с целью объективного планирования его загрузки и определения направлений совершенствования;
- уровень использования производственных площадей и основного оборудования;
- организационно-технические мероприятия по ликвидации узких мест производства;
- экономический эффект от реализации организационно-технических мероприятий.

#### 7.4.2. Цель и состав технологической подготовки восстановительного производства

Цель изложенного ранее материала заключалась в изучении и выборе эффективных технологических способов и средств, а также организации производства, обеспечивающих безусловное достижение нормативных показателей качества восстановленных деталей с минимальными материальными и трудовыми затратами. Организация труда по внедрению в производство принятых технических решений существенно влияет на затраты и сроки этого внедрения.

Создание или совершенствование участков или рабочих мест восстановительного производства происходит в результате его технологической подготовки. *Технологическая подготовка восстановительного производства* представляет собой необходимое множество работ, призванное подготовить производство к восстановлению изделий определенной модели и комплектности, заданного объема, к установленному сроку, с требуемыми показателями качества и с наименьшими затратами (рис. 7.5). Номенклатура, объемы выпуска, показатели качества восстановленных изделий и сроки освоения являются ограничительными параметрами (они должны выполняться неукоснительно), а затраты на освоение процессов восстановления – параметром оптимизации (они должны быть

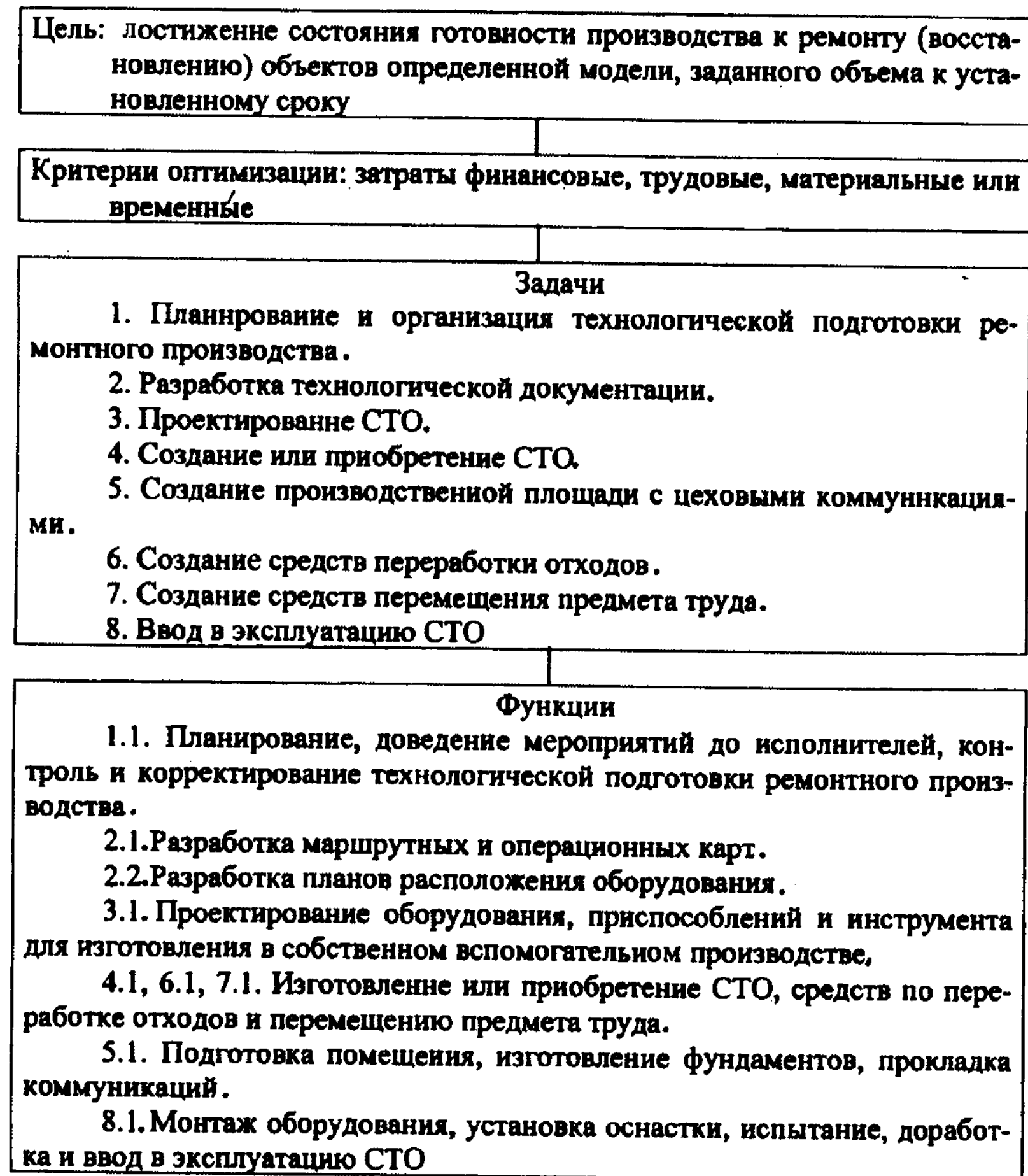


Рис. 7.5. Цель, задачи и функции технологической подготовки ремонтного производства

наименьшими). Достижение состояния готовности восстановительного производства и представляет собой *цель* его технологической подготовки.

*Признаки* технологической готовности производства:

– подготовлено производственное помещение с коммуникационными подводами энергетических и технологических ресурсов, вентиляцией, отоплением и освещением;

- установлены и введены в эксплуатацию средства технологического оснащения;
- имеется комплект технологической документации на все операции восстановления деталей;
- восстановлена первая партия изделий и доказана возможность достижения с заданной производительностью требований к продукции, установленных нормативно-технической документацией.

Факт технологической готовности производства оформляется актом. Отдел главного технолога (разработчик технологии, средств технологического оснащения и планировочного решения) и службы вспомогательного производства, которые изготавливают и монтируют оборудование, сдают участок (рабочее место) персоналу основного производства.

Технологическая подготовка восстановительного производства выполняется силами технологической и конструкторской служб завода и собственного вспомогательного производства.

Основные работы технологической подготовки восстановительного производства – разработка технологической документации, проектирование и изготовление средств восстановления, управление процессом технологической подготовки.

Связное множество работ по приведению восстановительного производства в состояние технологической готовности представлено в виде схемы сетевого графика на рис. 7.6.

Технологическую подготовку начинают с разработки или приобретения конструкторской документации на ремонтируемое изделие, что составляет событие 1. Комплект чертежей содержит описание всех деталей и сборочных единиц с указанием материалов, размеров, точностных параметров, твердости поверхностей и других технических требований. Чертежи ремонтируемых объектов разрабатывает завод – изготовитель машин или отраслевые проектные организации.

События 2 и 3 предполагают изучение опыта предприятий по изготовлению и капитальному ремонту однотипных машин и восстановлению их деталей.

Исследование деталей ремонтного фонда в деле выявления множества устранимых повреждений (событие 4), их характеристик и сочетаний необходимо для выбора способов восстановления деталей и определения его трудоемкости и себестоимости.

Событие 5 – это маркетинговые исследования.

Событие 6 выражает научно-исследовательскую подготовку производства с целью внедрения новейших технологий и средств восстановления.



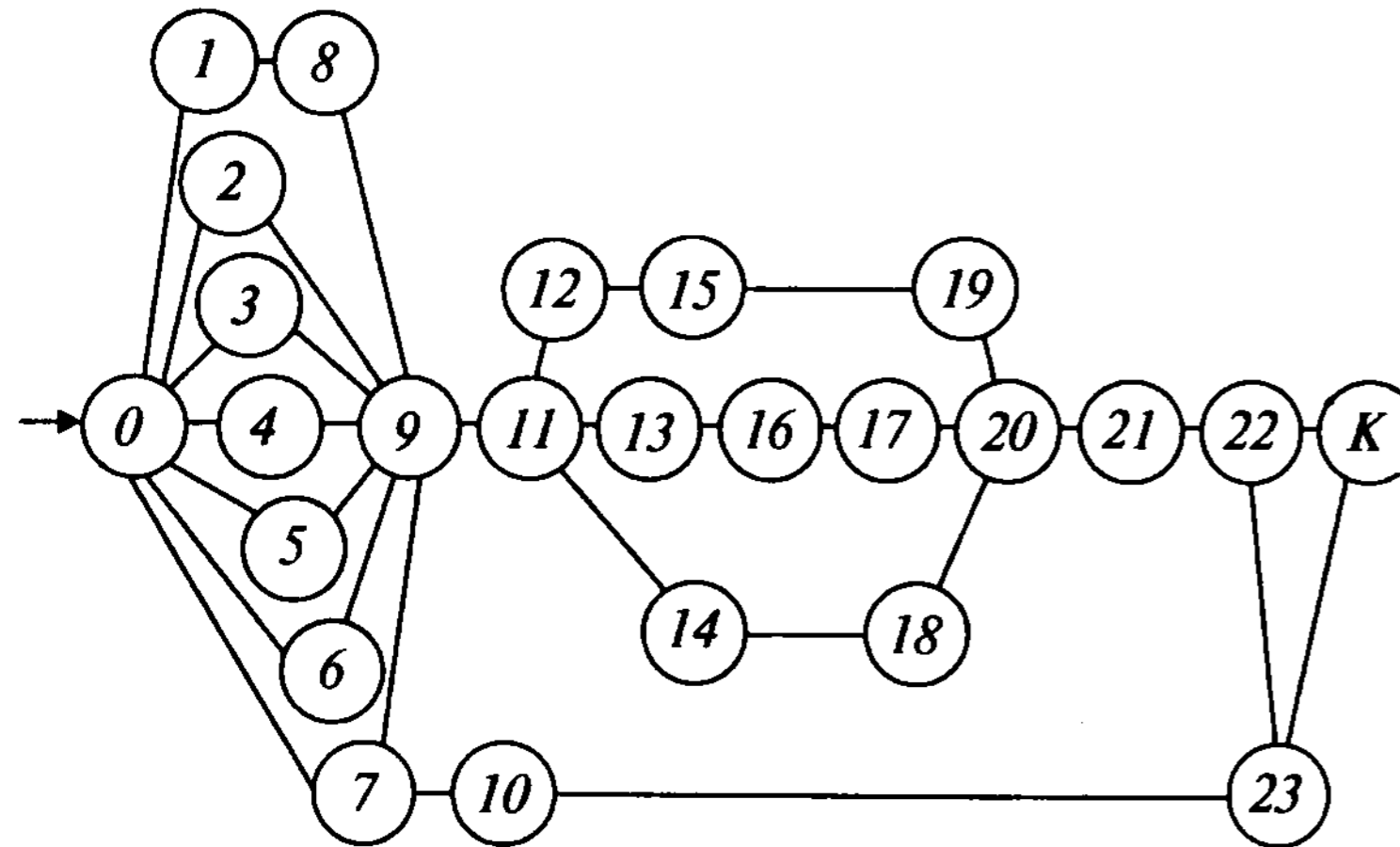


Рис. 7.6. Схема сетевого графика технологической подготовки ремонтного производства:

0 – начало технологической подготовки ремонтного производства; 1 – обеспечение конструкторской документацией; 2 и 3 – соответственно изучение производства по изготовлению и капитальному ремонту предмета труда; 4 – исследование состояния ремонтного фонда; 5 – изучение рынка товарной продукции (маркетинг); 6 – научно-исследовательская подготовка; 7 – обеспечение нормативно-технической документацией; 8 – составление картотеки деталей и сборочных единиц предмета труда; 9 – разработка технологической документации с литерой «РО»; 10 – разработка материальных нормативов; 11 – составление картотеки ТП, средств ремонта и рабочих мест; 12 – составление ведомости покупных средств ремонта; 13 – составление ведомости средств ремонта собственного изготовления; 14 – разработка технологических планировок; 15 – составление заявок на приобретение средств ремонта; 16 – проектирование средств ремонта собственного изготовления; 17 – изготовление средств ремонта; 18 – подготовка производственной площади; 19 – приобретение средств ремонта; 20 – монтаж средств ремонта; 21 – испытание, доводка и ввод в эксплуатацию средств ремонта; 22 – доработка технологической документации с присвоением литеры «РА»; 23 – уточнение материальных нормативов; К – конец технологической подготовки ремонтного производства

Нормативно-техническая документация (ее приобретение соответствует событию 7) – это руководства по капитальному ремонту машин или агрегатов, директивные материальные нормативы и все стандарты, на которые имеются ссылки в технической документации. Список нормативно-технической документации уточняется и пополняется по мере разработки конструкторской и технологической документации.

Событие 8 – это появление картотеки восстанавливаемых деталей, в которой учтено состояние ремонтного фонда и товарной продукции.

Вершина 9 графика как событие, определяющее разработку технологии, обобщает ранее выполненные работы. Технологические способы, принятые на этой стадии, будут определять качество и трудоемкость восстановления изделий и эффективность производства. Для реализации способов будут закуплены и изготовлены средства восстановления, подготовлены производственные площади, установлено и подключено к цеховым коммуникациям оборудование, поэтому технические решения, принятые на этом этапе, должны быть всесторонне обоснованы.

Нормы материальных нормативов (событие 10) необходимы для заказа материалов и запасных частей.

Событие 11 – появление картотеки ТП, средств восстановления и рабочих мест предшествует планированию и организации работ по технологической подготовке восстановительного производства.

Вершины 12, 15 и 19 определяют работы по приобретению покупного оборудования, а вершины 13, 16 и 17 – работы по проектированию и изготовлению средств восстановления в собственном вспомогательном производстве. Последние работы недостаточно оценены в литературе по ремонту машин, хотя ряд участков (например, разборочно-очистных, определения повреждений, восстановления некоторых деталей, комплекточно-сборочных, окрасочных) почти полностью оснащен средствами собственного изготовления.

Параллельно с приобретением, проектированием и изготовлением средств восстановления разрабатывают технологические планировки участков (событие 14) и готовят производственные площади с прокладкой цеховых коммуникаций (событие 18).

Вершины 20 и 21 определяют монтаж и ввод в эксплуатацию средств восстановления. На этой стадии технологической подготовки восстановительного производства ремонтируют установочную партию продукции, испытывают средства восстановления, выявляют и устраняют недостатки средств оснащения, вводят коррективы в разработанную технологию (вершина 22) и уточняют материальные нормативы (событие 23).

Исполнителями работ по технологической подготовке восстановительного производства являются: 1, 7 – ОГК; 2 – 4, 8 – 16, 21 – 23 – ОГТ; 5 – служба маркетинга; 6 – научные организации; 17, 21 – инструментальный участок (ИУ); 18 – ремонтно-строительный участок (РСУ); 19 – 21 – отдел главного механика (ОГМ).

Наибольший объем инженерных работ приходится на технологов и конструкторов ОГТ.

### 7.4.3. Планирование технологической подготовки восстановительного производства

Решение о технологической подготовке производства к ремонту изделий новых видов принимают на основании изучения и прогнозирования рынка этих объектов, сопоставлении сроков подготовки производства и времени существования рынка и расчета экономических показателей.

Технологическую подготовку восстановительного производства планируют согласно приказу или распоряжению директора или главного инженера завода об освоении восстановления изделий с указанием сроков готовности производства. К приказу или распоряжению прилагают план мероприятий по технологической подготовке восстановительного производства, пример которого приводим

УТВЕРЖДАЮ.  
Главный инженер ремонтного завода

#### План технологической подготовки производства

по \_\_\_\_\_  
(приказ по заводу № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_)  
(технологический процесс № \_\_\_\_\_)  
(технологическая планировка № \_\_\_\_\_)

Предмет труда: наименование, номер, эскиз	Технологическая операция: наименование, номер	Средства восстановления: оборудование, приспособ- ления, инструмент; наиме- нование, номер
1	2	3

Продолжение

Мероприятия		Исполнители, сроки					
Наименование	Трудоем- кость, чел.-ч	ТБ*) ОГТ	КБ**) ОГТ	ИУ	ОГМ	ОГЭ***)	РСУ
4	5	6	7	8	9	10	11

- \*) технологическое бюро  
\*\*) конструкторское бюро  
\*\*\*) отдел главного энергетика

Главный технолог ремонтного завода

В свою очередь, план разрабатывают на основании маршрутного (операционного) ТП с литерой «РА» и технологической планировки создаваемого участка или рабочего места (плана расположения оборудования с точками коммуникационных подводов).

В плане технологической подготовки восстановительного производства выдерживают соответствие: предмет восстановления – технологическая операция – средства технологического оснащения – мероприятия – сроки – исполнители. План технологической подготовки восстановительного производства включает: строительные-проектные работы, а также подготовку производственной площади, проектирование, изготовление средств восстановления силами собственного вспомогательного производства, приобретение покупных средств восстановления, монтаж оборудования с подключением его к цеховым коммуникациям, испытание и ввод в эксплуатацию средств восстановления. Соответствие элементов плана выражается в подчинении мероприятий определенным срокам и необходимости обеспечения параметров предмета труда, установленных нормативно-технической документацией. Другими словами, исполнители выполняют предписанные мероприятия в установленные сроки. Мероприятия, в свою очередь, подчинены созданию и вводу в эксплуатацию средств восстановления, обеспечивающих такие воздействия на предмет восстановления, которые гарантируют достижение параметров, указанных в конструкторских документах на восстанавливаемую продукцию.

Столбец 1 плана содержит эскизы предмета труда, полученного в результате технологической операции. Заключительный эскиз соответствует чертежу восстановленной детали (сборочной единицы). Последний документ включает значения точностных показателей, физико-механических свойств материалов и функциональных параметров, обеспечивающих установленную наработку восстановленных изделий.

Заводские инженерные службы разрабатывают маршрутные и операционные технологические карты (столбец 2), планы расположения оборудования и чертежи средств восстановления собственного изготовления (столбец 3). Деталю соответствуют процессы очистки, определения повреждений, создания ремонтных заготовок, механической и другой обработки и контроля. В столбец 3 вводят также средства восстановления, приобретенные на стороне и требующие монтажа и ввода в эксплуатацию. Список средств восстановления для каждой операции начинают с оборудования (станка, станда, верстака и т.д.). Список продолжают и завершают приспособления и инструменты. По мере разработки технологий и средств восстановления собственного изготовления в столбцах 2 и 3 рядом с наименованиями появляются номера или шифры разработок.

Принимают систему кодирования создаваемых средств восстановления, обеспечивающую поиск их чертежей, выбор аналогов и заводскую унификацию. Средства восстановления кодируют по их признаку относительно технологическому признаку. Конструкторская часть признака относится к предмету труда, подвергаемому технологическому воздействию. Предмет труда определяется его видом и моделью. Технологическая часть признака выражает вид технологического воздействия.

Столбец 4 содержит мероприятия по: составлению технического задания, проектированию и изготовлению средств восстановления, подготовке производственной площади, подключению объекта к цеховым коммуникациям (электричеству, пару, воде, газу, сжатому воздуху, канализации и вентиляции), испытанию и доработке. Множество мероприятий составляется без пропусков и повторений, при этом каждое мероприятие необходимо, а все вместе они достаточны для достижения технологической готовности производства. На каждое мероприятие назначается один исполнитель.

Мероприятия, сгруппированные в блоки по признаку «Исполнитель», вносятся в блок памяти компьютера. Мероприятия – это основные элементы плана технологической подготовки восстановительного производства, которые содержат словесные формулировки задач. От четкости, полноты и взаимосвязи их зависит своевременное и полное выполнение всего плана мероприятий.

В столбце 5 приводятся расчетные значения трудоемкости каждого мероприятия. Сумма трудоемкости по каждому виду работ определяет число привлекаемых к этому работников.

Трудоемкость месячного плана согласуется с мощностью производственного подразделения. Трудоемкость работ ИУ выражается трудоемкостью слесарно-сборочных работ.

Число исполнителей, обеспечивающих выполнение одноименных работ к установленному сроку, определяется делением соответствующей трудоемкости на время, предшествующее этому сроку.

Сроки разработки технологий отмечаются в столбце 6, а чертежей – в столбце 7. Сроки изготовления средств восстановления фиксируются в столбце 8, а сроки монтажа и подключения оборудования, подготовки производственной площади с прокладкой подпольных коммуникаций и изготовлением фундаментов – в столбцах соответственно 9, 10 и 11.

Выборки мероприятий по признаку «Исполнитель» образуют планы ТБ, КБ, ИУ, ОГМ, ОГЭ и РСУ. Планы имеют 20...30%-ный резерв

на непредвиденные работы и доработку средств восстановления по результатам испытаний.

Месячные планы работ, утвержденные главным инженером завода, доводят до подразделений-исполнителей.

#### *7.4.4. Организация работ*

Руководит технологической подготовкой производства главный технолог завода, который возглавляет ОГТ. В своем составе отдел имеет бюро по технологическому проектированию и планированию технологической подготовки восстановительного производства, а также КБ по проектированию средств восстановления. Взаимодействие между технологами и конструкторами выражается в следующем. Технолог при разработке ТП определяет средства, которые невозможно по тем или иным причинам приобрести, и готовит техническое задание на их проектирование. Задание содержит описание технологических воздействий на предмет восстановления и все его состояния. По сути, это сведения операционной карты об оборудовании, инструменте, базах и режимах обработки и необходимых параметрах, которые выступают в качестве ограничений. Техническое задание – это совокупность ограничений технологического порядка. Конструктор должен обеспечить выполнение этих ограничений при минимальных затратах на создание и применение средств технологического оснащения.

Бюро планирования и анализа технологической подготовки восстановительного производства координирует и согласует этапы и функции этой подготовки. Система управления технологической подготовкой восстановительного производства связана с системой календарного и оперативного планирования.

Службы вспомогательного производства обеспечивают материальную реализацию мероприятий по профилю своей деятельности.

Функции служб вспомогательного производства следующие.

ИУ изготавливает оборудование, оснастку (в том числе инструмент), которые не выпускают специализированные предприятия. Эти средства производят по чертежам КБ ОГТ. В ИУ входят следующие участки: заготовительный, слесарный, механический, сварочно-термический и инструментальный. Соотношение рабочих участка выбирается таким образом, чтобы одного слесаря обслуживали полтора-два станочника. Изучение парка деталей средств восстановления собственного изготовления для нужд восстановительного производства показывает, что номенклатура и распределение станков механического участка должны быть при-

мерно следующие (в %): токарных 20; сверлильных 22 (в том числе радиальных); расточных 7; шлифовальных 20 (в том числе круглошлифовальных 10, плоскошлифовальных 8, внутришлифовальных 2); фрезерных 20; зубообрабатывающих 2; электроэрозионных 2. Станки на чистовых операциях должны быть на один-два класса точнее станков, применяемых в основном производстве.

Инструментальный отдел разрабатывает ведомости применяемого инструмента, назначает сроки его службы и графики переточки, организует приобретение инструмента, который изготавливают специализированные предприятия.

ОГМ приобретает покупное оборудование, монтирует оборудование как покупное, так и собственного изготовления и вводит его в эксплуатацию.

РСУ готовит производственные помещения и делает фундаменты и колодцы под оборудование.

Все средства, изготовленные во вспомогательном производстве, подлежат испытаниям и, как правило, доработке. При испытаниях устанавливают соответствие средств восстановления своему функциональному назначению, включая придание требуемых параметров предмету труда за установленное время. Испытания организует участок вспомогательного производства – изготовитель средств восстановления, он же организует изготовление или подбор заготовок.

Испытания ведут мастер участка – изготовителя средств восстановления, конструктор – разработчик средств восстановления и технолог – разработчик ТП. Эти лица сдают свою работу комиссии в составе начальника цеха основного производства (руководитель комиссии), метролога и инспектора по охране труда. Под наблюдением комиссии обрабатывают партию деталей (сборочных единиц) по режимам, приведенным в технологической документации. Фиксируют время воздействий и определяют значения параметров предмета труда. При положительном исходе испытаний подписывают акт внедрения средств восстановления в производство, при отрицательном конструктор, технолог и мастер анализируют результат, составляют акт испытаний, вписывают в него достигнутые значения режимов воздействий и параметров предмета труда и назначают время очередного испытания. Конструктор вносит изменения в чертежи средства, по которым, в свою очередь, участок-изготовитель изменяет само средство.

Для более быстрой и оперативной подготовки производства желательно в составе технологической лаборатории иметь станки распростра-

ненных моделей основного производства для испытания и доработки технологической оснастки.

#### 7.4.5. Контроль исполнения

В результате реализации мероприятий технологической подготовки восстановительного производства возникают причины объективного и субъективного характера, которые мешают своевременному достижению технологической готовности производства. Это – нехватка или отсутствие материалов, оборудования, рабочей силы, документации, а также ошибки, слабая исполнительская дисциплина и др. Обнаружение отклонений хода технологической подготовки от планового, анализ причин этого отклонения и корректировка содержания технологической подготовки и сроков ее реализации и составляет предмет контроля этой подготовки.

Основной контроль технологической подготовки восстановительного производства (раз в месяц) совпадает с составлением планов службам вспомогательного производства. Текущий контроль обычно касается выполнения планов технологической подготовки производства к восстановлению отдельных деталей и выполняется еженедельно.

Главный технолог на еженедельном оперативном совещании под председательством главного инженера дает информацию о технологической подготовке, относящейся к какому-либо виду товарного изделия. Такая информация готовится с помощью компьютера, который выбирает мероприятия с просроченными сроками выполнения. На совещании присутствуют руководители вспомогательных служб, начальник отдела снабжения и начальник цеха основного производства, в котором будет ремонтироваться рассматриваемое товарное изделие. После обсуждения причин отклонения хода технологической подготовки от планового намечают соответствующие меры. Это неукоснительное обеспечение вспомогательного производства материалами и изделиями, усиление участков рабочими, перераспределение работ, переработка документации, изменение сроков и т.д. Протокол совещания отражает суть организационных решений.

Ежемесячный контроль проводит бюро планирования и анализа технологической подготовки ОГТ, по результатам которого главный технолог корректирует планы будущего месяца и готовит представление для поощрения (в виде премии) или наказания исполнителей.

## Глава 8

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чтобы завоевать позиции на рынке товаров, восстановительное производство должно достичь и поддерживать нормативный уровень качества выпускаемых деталей, а для большей эффективности своей работы – непрерывно уменьшать удельный расход производственных ресурсов. Это обеспечивается путем повышения технического уровня производства за счет совершенствования средств восстановления деталей при их полной загрузке, внедрения новых ТП и передовой организации труда.

Информационной базой для улучшения производства служат сведения о качестве своей отремонтированной (восстановленной) продукции, в том числе о ее послеремонтной наработке.

*Качество ремонта (восстановления)* выявляется с помощью четырех групп сведений:

- результатов контроля ремонтируемых объектов во время их испытания и анализа выявленных дефектов;
- группирования дефектов, обнаруженных пользователем техники в гарантийный период;
- данных о послеремонтной наработке и отказах в подконтрольной эксплуатации;
- изучения повреждений ремонтного фонда, поступившего в ремонт.

Наибольший объем информации дают сведения первых трех групп.

Директивное требование к надежности отремонтированной техники заключается в обеспечении 80%-ной послеремонтной наработки этой техники по сравнению с новыми изделиями. В свою очередь, надежность отремонтированного агрегата в значительной мере зависит от долговечности составляющих сборочных единиц и деталей. Требование конкретизировано нормативной документацией в части значений параметров отремонтированных агрегатов, восстановленных деталей и их элементов.

Практика ремонта показывает, что в количественном отношении выполняется меньше половины указанных требований. Наиболее полно значения параметров выдерживаются при централизованном восстанов-

лении распределительных валов, поршней и шатунов, отличающемся наилучшей организацией. У блоков цилиндров, например, выдерживается 54 % параметров, у гильз цилиндров 66 %, у головок цилиндров 25 %, поршневых пальцев и толкателей по 50 %, коленчатых валов 31 %, клапанов 66 %, маховиков 20 %. Наиболее полно выполняются требования к размерам, форме и шероховатости при обработке шеек валов, но с нормативной точностью обрабатываются только 56 % отверстий. Часть геометрических параметров восстановленных деталей, влияющих на послеремонтную наработку агрегата, вообще осталась вне поля зрения разработчиков нормативной документации (например, отклонение от перпендикулярности и пересечения осей коренных опор блока цилиндров и отверстий под гильзы).

Остаточная загрязненность поверхностей превышает допустимую в 5 и более раз. Динамическая и смешанная неуравновешенность движущихся частей до 1,5...2 раз превосходит нормативную.

Отремонтированные сборочные единицы и агрегаты характеризуются: точностью замыкающих линейных и угловых размеров, определяющих фактические зазоры, натяги и перекосы в сопряжениях; сборочными моментами и усилиями; приработанностью поверхностей; динамической и смешанной уравновешенностью; функциональными выходными параметрами (показателями назначения). Если соблюдаются нормативные значения замыкающих размеров в сопряжениях гильза цилиндра – поршень, поршень – поршневой палец, шатун – поршневой палец, отверстия во вкладышах – шейки коленчатого вала, отверстие во втулках – шейка распределительного вала и отверстие – направляющая втулка клапана, то не выдерживаются нормативные зазоры в сопряжениях длина коренной шейки – ширина коренной опоры с упорными шайбами, шестерни коленчатого и распределительного валов, длина гильзы цилиндра – высота блока цилиндров, тепловой зазор в стыке поршневых колец, отверстие – толкатель, отверстие – стержень клапана и натяги в сопряжениях отверстие – седло клапана. Сборочные моменты при затяжке резьбовых соединений находятся в нормативных пределах только у 30...70 % сопряжений. Сборочные усилия, как правило, не контролируются.

Функциональные выходные параметры (показатели назначения) отремонтированных агрегатов (давление и расход сред, мощность, скорость и др.) соответствуют нормативам, однако эксплуатационный темп их изменения в худшую сторону превышает соответствующий темп изменения в машинах, введенных в эксплуатацию после их первичного изготовления.

Из-за отсутствия механизированных средств ударным способом снимают ступицы коленчатого вала, головки и гильзы цилиндров, крышки коренных подшипников и шатунов, клапаны и другие детали, что приводит к трещинам, отколам, забоинам и погнутости этих деталей.

Физико-механические свойства рабочих поверхностей зависят от состава и структуры восстановительного покрытия, его термической обработки и заключительных операций обработки. В ремонте, например, практически не решена проблема восстановления плоских торцев коренных опор блока цилиндров и шатунов и стыка гильзы цилиндра.

Ряд апробированных в производстве способов восстановления деталей до номинальных размеров в настоящее время не применяется по причине дороговизны используемых материалов.

Дефекты, не замеченные во время приемочных испытаний, но выявленные в эксплуатации, могли бы быть обнаружены более точным испытательным оборудованием. Необходима разработка принципиально нового оборудования для послеремонтного диагностирования, обеспечивающего безразборное объективное нахождение неисправностей и определение остаточного ресурса сопряжений. Это, в частности, относится и к определению течей в стенках и стыках корпусов, составляющих объемы водяной и масляной систем агрегатов.

Мероприятия, обеспечивающие нормативный уровень качества, сводятся к действию системы качества и совершенствованию средств ремонта.

Каждый завод, заинтересованный в качестве своей продукции, должен создать и реализовать программу обеспечения качества ремонта (восстановления), направленную на выявление причин недостаточной послеремонтной наработки продукции и выработку корректирующих воздействий. Программа разрабатывается на длительный период времени, части ее входят в годовые планы внедрения новой техники и организационно-технических мероприятий завода. Программа включает разделы по: совершенствованию разборочно-очистных процессов, определению технического состояния, восстановлению и комплектованию деталей, узловой и общей сборке, окрашиванию, обкатке и испытанию агрегатов и машин, организации ремонта. Форма программы применительно к совершенствованию основных ТП при ремонте агрегатов (восстановлении деталей) представлена в табл. 8.1. Реализация этих мероприятий с целью обеспечения каждого нормативного требования к качеству ремонта (восстановления) изделий связана с начальным (на стадии технологической подготовки производства) и текущим (в процессе самого производства) расходом ресурсов.

### 8.1. Программа обеспечения качества ремонта агрегатов (восстановления деталей) на \_\_\_\_\_

(название завода)

Параметры				Причина несоответствия значений фактических параметров нормативным значениям	Корректирующие действия	
Наименования	Размерность	Норматив	Фактическое значение		Содержание	Затраты, р.
1	2	3	4	5	6	7

Кривые изменения затрат на обеспечение отдельных точностных параметров имеют вид гипербол. Даже небольшое ужесточение точности восстанавливаемых параметров требует модернизации или замены средств технологического оснащения, что связано со значительными финансовыми затратами (рис. 8.1).

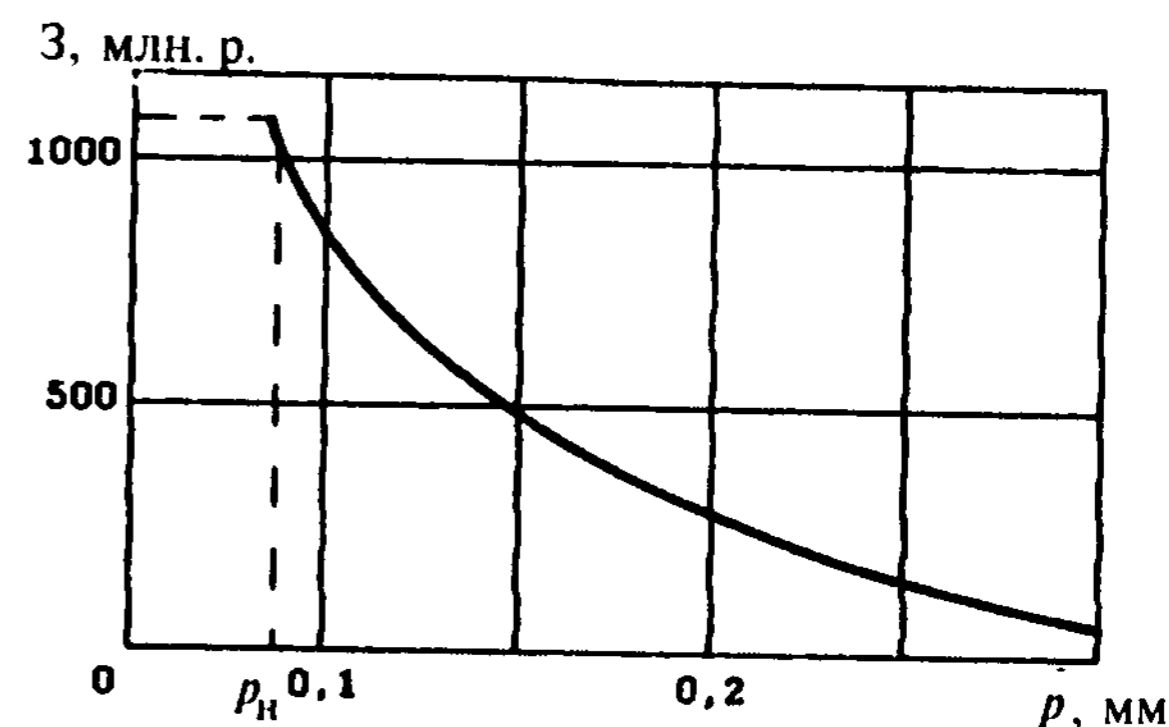


Рис. 8.1. Зависимость  $Z$  на обеспечение биения  $p$  поверхности отверстия в картере сцепления относительно поверхности коренных опор блока цилиндров (нормативное значение  $p_n = 0,08$  мм)

Таким образом, цена качества ремонта складывается из затрат на создание и функционирование системы обеспечения качества ремонта, подготовку производственного персонала, обеспечение средствами ремонта необходимой точности и средствами измерений и контроля. Наибольшие финансовые вложения связаны с совершенствованием материальной базы ремонта, в которую входят технологическое оборудование (созданное в собственном вспомогательном производстве и приобретенное), технологическая оснастка, испытательные и контрольные средства. Расчеты показывают, что достижение нормативной послеремонтной наработки требует вложений в действующее производство денежных средств в раз-

мере выручки от реализации товарной продукции, выпущенной в течение полугода-полтора лет.

*Технический уровень восстановительного производства* – это характеристика его технического совершенства. Этот показатель оценивают путем сопоставления достигнутых значений установленных показателей с их базовыми значениями. Высокого технического уровня добивается то производство, которое располагает разнообразными современными технологиями и оборудованием для их реализации.

Показатели технического уровня восстановительного производства: себестоимость продукции; годовой выпуск продукции на 1 р. основных производственных фондов, на одного работающего, рентабельность.

До 80...90 % трудоемкости ремонта приходится на участки разборки, очистки, определения технического состояния деталей, восстановления деталей, а также сборки и обкатки агрегатов, которые определяют специфику и технический уровень ремонтного производства.

Повышение технического уровня разборочно-очистных процессов представляет одну из ключевых проблем ремонта.

Необходим переход от стационарно-постовой к поточной организации разборки, что повысит качество и производительность труда и позволит использовать механизированные средства. В результате будет исключена ручная (посредством ударов) разборка прессовых соединений, повреждающая детали. Для сохранения остаточного ресурса деталей и сборочных единиц требуется внедрить маркирование и прослеживаемость деталей, элементы необезличенного ремонта и применения механизмов для узловой разборки со статическим приложением нагрузки к деталям разъединяемых сопряжений.

Чистота поверхностей деталей обеспечивается в результате надлежательного отделения эксплуатационных и технологических загрязнений с учетом разнообразия их свойств. Наименьший расход материалов и энергии обеспечивает применение системы оборудования погружного типа для очистки внутренних и наружных поверхностей деталей от масложировых и асфальтосмолистых загрязнений с непрерывной фильтрацией очистного раствора и машин ударно-диспергирующего типа для очистки поверхностей деталей от нагара и накипи. Очистные операции на ряде заводов являются самыми непривлекательными и тяжелыми, что объясняется тепловыделением от очистных машин, большой трудоемкостью загрузки, укладки и снятия детали и большой влажностью воздуха в помещении. На этих операциях требуется улучшение условий труда.

В производство следует внедрить эффективные средства для очистки и контроля герметичности каналов масляной системы.



Необходимы разработка и внедрение многошпиндельных гайковертов для разборки групп резьбовых соединений. Гайковерты должны проектироваться из унифицированных блоков. Разборка прессовых соединений должна быть полностью оснащена прессово-разборочными механизмами. Прессово-разборочные механизмы стационарного типа наиболее эффективны при поточной организации труда на постах узловой разборки. Технический уровень разборочного оборудования определяется давлением энергоносителей и частотой потребляемого тока. Нужны исследования по определению оптимального сочетания разборочных и очистных воздействий на предмет ремонта.

Запас остаточной долговечности деталей, необходимый для их повторного применения, определяют на стадии выявления их технического состояния. По причине отсутствия или несовершенства средств для измерения этого параметра на восстановление направляются и те детали, которые не имеют достаточного запаса долговечности, что приводит к увеличению количества изломов деталей в эксплуатации. Технический уровень контрольно-сортировочного оборудования недостаточен. Это относится главным образом к оборудованию для определения течей в стенках и стыках и усталостных трещин в поверхностном слое металла.

Применяемое оборудование для определения трещин в шейках валов и теле деталей типа шатуна не обеспечивает объективного контроля. Наиболее актуально создание средств для определения опасных усталостных трещин на шейках чугунных коленчатых валов. При определении трещин с помощью промышленных магнитно-люминесцентных или токовихревых средств невозможно обнаружить опасные трещины в основном металле детали среди наплавочных трещин в нанесенном покрытии. Оборудование для обнаружения течей сквозь стенки корпусных деталей устроено таким образом, что при создании замкнутого объема, в который вводят пробное вещество, стыковые поверхности детали соприкасаются с герметизируемыми плитами. Трещины, выходящие на стыковые поверхности, закрываются и не могут быть обнаружены.

В производстве по восстановлению деталей должны быть сконцентрированы прогрессивные процессы создания припусков на восстанавливаемых поверхностях.

Большая доля ремонтных работ связана с обработкой отверстий. В большинстве случаев поверхности отверстий должны быть обработаны с точностью до шестого квалитета и шероховатостью до  $Ra\ 0,32$  мкм. Кроме того, в корпусных деталях поверхности отверстий выполняют функции элементов, ориентирующих между собой сопрягаемые детали. Взаимное расположение поверхностей различных деталей определяет величину линейных и угловых замыкающих размеров, недопустимые значе-

ния которых приводят к нерасчетным режимам смазки, паразитным нагрузкам в сопряжениях и циркуляции мощности в кинематических контурах. Эти явления вызывают снижение послеремонтной наработки агрегатов и перерасход топлива и масла.

Точной обработке подлежат, например, отверстия: в коренных опорах, втулках распределительного вала, под гильзы и толкатели в блоках цилиндров двигателей, в верхней и нижней головках шатуна, под поршневой палец в поршне и др. Анализ применяемого в ремонтном производстве расточного оборудования, например станков 2Е78, РД-2, РД-53 и КИ-14574, показывает невозможность получения параметров отверстий, установленных нормативной документацией. Нормативную точность обработки обеспечивают расточные станки повышенной точности Одесского и Самарского станкозаводов.

Процессы механической обработки восстанавливаемых деталей в большинстве случаев копируют соответствующие процессы машиностроения. К механической обработке в ремонте должны быть иные подходы, чем в машиностроении, по причине различий исходных заготовок. Скорость резания при лезвийной обработке достигает 80 м/мин, а при абразивной 50 м/с, что в 1,5...2 раза меньше, чем в передовых отраслях машиностроения.

Для одних и тех же деталей рекомендуется много разных способов восстановления, в то время как каждому способу ставится в соответствие необоснованно большая номенклатура деталей. Рекомендации о применении различных способов восстановления не согласованы с объемами производства. Низкое качество восстановительных покрытий объясняется несоответствием действительных и расчетных значений технологических режимов протекающих процессов, что, в свою очередь, связано с отсутствием или большой погрешностью приборов, контролирующих значения технологических параметров, и несовершенством оборудования.

К снижению ресурса отремонтированной техники приводит статическая и динамическая неуравновешенность вращающихся и поступательно движущихся ее частей. Точность распространенных в ремонте балансировочных машин БМ-4У и КИ-4274 не отвечает современным требованиям. Нормативную точность балансировки обеспечивают станки МС-9715 и МС-9716, работающие в резонансном режиме. При ремонте агрегатов необходимо балансировать не только их валы, но и сами агрегаты в сборе.

Недостаточная точность замыкающих размеров при групповой сборке сопряжений объясняется отсутствием или малой точностью измерительных средств. К недостающим средствам относят индикаторы с делением 1...2 мкм и средства пневматического контроля. Наиболь-

шие трудности представляет обеспечение замыкающих размеров, которые устанавливаются подгонкой или подбором компенсирующих элементов. Необходимо организовать непрерывно восполняемый до сменного объема запас компенсирующих элементов и иметь индикаторные средства для определения размеров этих элементов.

Точность затяжки резьбовых соединений достигается внедрением предельных и динамометрических ключей и устройств к сборочным машинам для кинематического отключения привода при достижении установленного крутящего момента и стендов для контроля и поверки инструмента, используемого при сборке резьбовых соединений.

Разработка единого методологического подхода в ремонтном производстве к созданию системы СТО обеспечивает экономически обоснованное и технически оправданное количество типов технических устройств и их модулей. Это ведет к уменьшению времени на создание техники, упрощает ее обслуживание и ремонт. Необходим системный подход к проектированию функционально связанных СТО.

Средства, процессы и методы, предлагаемые для внедрения в ремонтное производство в результате его технологической подготовки, и их сравнение с действующими объектами и процессами приведены в табл. 8.2. Около половины эффекта от применения предлагаемых технических решений дают мероприятия по восстановлению деталей, а остальную долю – мероприятия по определению технического состояния деталей, совершенствованию разборочно-очистных, обкаточно-испытательных и комплектовочно-сборочных процессов.

#### 8.2. Действующие в ремонтном производстве средства, процессы и методы и предлагаемые для внедрения в результате технологической подготовки

Технические объекты и процессы, методы		Источник получения эффекта
базовые	предлагаемые	
1	2	4

##### *Разборочно-очистной участок*

Оборудование для струйной очистки	Оборудование для погружной очистки с активацией очистного раствора	Повышение качества и производительности очистки
Ручной сбор метизов	Ленточный конвейер для сбора и перемещения метизов	Уменьшение затрат живого труда

Продолжение табл. 8.2

1	2	4
Машины для барабанной очистки метизов с ручными загрузкой и выгрузкой	Барабанно-шнековая машина для очистки метизов с их автоматической разгрузкой	Повышение качества и производительности очистки
Разборка на стационарных стендах или эстакаде	Подразборка и общая разборка на линейном конвейере	Уменьшение затрат живого труда
	Оптимальное сочетание разборочных и очистных воздействий	Повышение качества и производительности воздействий
Гайковерты для ручной разборки	Гайковерты для одновременной разборки групп соединений	Уменьшение затрат живого труда
Ручная разборка посредством ударов	Средства блочно-модульного типа для узловой разборки прессовых соединений	
Машины для очистки в растворах лабомида и потоком косточковой крошки	Машины для отделения прочных загрязнений от поверхностей деталей в расплаве солей, потоком стеклянных шариков, в растворе кислот	Повышение качества и производительности очистки
Средства для очистки сред отстаиванием	Средства для регенерации очистных сред флотацией, коагуляцией, фильтрованием	

*Сортировочный участок*

Универсальные средства	Машины для полуавтоматической сортировки деталей – тел вращения; машины для пневмоконтроля отверстий в корпусных деталях и гильзах; машины для комплексных измерений параметров деталей; машины для полуавтоматической сортировки пружин по критерию их жесткости	Повышение производительности труда, использование остаточной долговечности деталей ремонтного фонда, уменьшение расхода запасных частей
------------------------	---	---

Продолжение табл. 8.2

1	2	4
<i>Участок восстановления деталей</i>		
Единичные машины индивидуального проектирования	Машины блочно-модульной компоновки для нанесения покрытий на поверхности основных и базовых деталей	Уменьшение времени и затрат на создание машин
	Машины с новыми схемами базирования деталей при механической обработке	Уменьшение трудоемкости механической обработки, повышение точности расположения поверхностей
Недостаточное количество используемых видов процессов создания ремонтных заготовок	Внедрение современных прогрессивных процессов и технологических машин по нанесению покрытий и пластическому деформированию материала	Повышение качества и производительности восстановления деталей
<i>Инженерные службы завода</i>		
Применение методов проектирования единичных машин и единичных и типовых процессов	Применение системы методов проектирования машин и процессов: структурно-параметрический метод синтеза исполнительных агрегатов (модулей) и их рядов, компоновка технологических машин и планировка производственных участков	Уменьшение объема проектных работ, уменьшение трудоемкости изготовления технологических машин и объема технологической подготовки ремонтного производства, повышение качества создаваемых машин

Использование СТО, ТП и форм организации, изложенных в справочнике, будет способствовать повышению технического уровня и эффективности восстановительного производства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батищев А.Н., Голубев И.Г., Лялякин В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники. М.: Информтехиздат, 1995. 296 с.
2. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. М.: Колос, 1981. 351 с.
3. Ворошнин Л.Г., Пантелеев Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. Минск: ФТИ, Новополоцк: ПТУ, 1999. 133 с.
4. Дорожкин Н.Н., Гимельфарб В.Н. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин. Минск: Ураджай, 1987. 140 с.
5. Есенберлин Р.Е. Восстановление автомобильных деталей сваркой, наплавкой и пайкой. М.: Транспорт, 1994. 320 с.
6. Газотермические покрытия из порошковых сплавов: Справочник / Ю.Н. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. Киев: Наукова думка, 1987. 544 с.
7. Иванов В.П. Разработка и обоснование технологического процесса восстановления деталей на специализированном предприятии // Технология металлов. 2001. № 9. С. 28–31.
8. Иванов В.П. Организация восстановления изношенных деталей машин // Восстановление, ремонт, модернизация. 2002. № 6. С. 2–7.
9. Ивашко В.С., Куприянов И.Л., Шевцов А.И. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий. Минск: Навука і тэхніка, 1996. 375 с.
10. Иващенко С.А., Фролов И.С., Мрочек Ж.А. Газотермические и вакуумно-плазменные покрытия со специальными физико-механическими свойствами. Минск: УП «Технопринт», 2001. 236 с.
11. Какуюевский В.А. Ресурсосберегающие технологии восстановления деталей автомобилей. М.: Транспорт, 1993. 176 с.
12. Лившиц Л.С., Гринберг Н.А., Куркумелли Э.Г. Основы легирования наплавленного металла: Абразивный износ. М.: Машиностроение, 1969. 188 с.
13. Лялякин В.П. Методы повышения ресурса деталей дизельных двигателей при их восстановлении: Дисс. д-ра техн. наук: 05.20.03. М.: ВНИИТУВИД, 1996. 54 с.
14. Молодык Н.В., Зекин А.С. Восстановление деталей машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1989. 480 с.
15. Наплавочные материалы стран – членов СЭВ: Каталог / Под ред. И.И. Фрумина, В.Б. Еремина. Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1979. 620 с.
16. Пантелеев Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них. Минск: УП «Технопринт», 2001. 300 с.
17. Поляк М.С. Технология упрочнения: Технол. методы упрочнения: В 2-х т. Т. 1. М.: Л.В.Т. – Скрипт, Машиностроение, 1995. 852 с.
18. Поляк М.С. Технология упрочнения: Технол. методы упрочнения: В 2-х т. Т. 2. М.: Л.В.Т. – Скрипт, Машиностроение, 1995. 688 с.
19. Рудик Ф.Я., Элькин С.Ю., Кузнецов В.Ф. Электромеханическая обработка клапанных пружин // Вестник машиностроения. 2001. № 1. С. 22–24.
20. Рыжов Э.В., Клименко С.А., Гуцаленко О.Г. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями. Киев: Наукова думка, 1994. 180 с.
21. Схиртладзе А. Г. Технология восстановления корпусных деталей // Технология металлов. 2001. № 12. С. 30 – 33.
22. Схиртладзе А.Г. Технология восстановления гладких и шлицевых валов // Ремонт, восстановление, модернизация. 2002. № 5. С. 18–21.
23. Тельнов Н.Ф. Технология очистки сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1983. 256 с.

24. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, А.Ф. Ильющенко и др. Минск: Беларуская навука, 1998. 583 с.
25. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахнебадба. М.: Машиностроение, 1980. 783 с.
26. Технологии размерно-чистовой и упрочняющей обработки: Учебн. пособие для студентов техн. спец. вузов / П.С. Чистосердов, Б.П. Чемисов, Л.М. Кожуро, Л.М. Акулович. Минск: Университетское, 1993. 188 с.
27. Точение износостойких защитных покрытий / С.А. Клименко, Ю.А. Муковоз, Л.Г. Полонский, П.П. Мельничук. Киев: Техніка, 1997. 146 с.
28. Точность и производственный контроль в машиностроении: Справочник / И.И. Балонкина, А.К. Кутай, Б.М. Сорочкин, Б.М. Тайц; Под общ. ред. А.К. Кутая, Б.М. Сорочкина. Л.: Машиностроение, 1983. 368 с.
29. Хромов В.Н., Сенченков И.К. Упрочнение и восстановление деталей машин термоупругопластическим деформированием. Орел: Изд-во ОГСХА, 1999. 221 с.
30. Черноиванов В.И. Организация и технология восстановления деталей. М.: Агропромиздат, 1989. 336 с.
31. Усков В.П. Справочник по ремонту базовых деталей двигателей. Брянск, 1998. 589 с.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Агрегат исполнительный технологической машины 51
- основной 51
  - вспомогательный 51
- Адсорбция ПАВ 94
- Азотирование 497
- Асфальтены 90
- Аттестация производства 637
- Базирование адаптивное 460
- Базы
- выбор 460
  - технологические 458
- Безошибочность контроля 478
- Бор 149
- Борирование 497
- Валы 581
- Вдавливание 398
- Вкладыши подшипников 587
- Восстановление деталей
- источники экономической эффективности 35
  - критерий оптимизации 557
  - определение 33
  - структура процесса 26
  - технические требования 26
  - централизованное 618
- Восстановление
- взаимного расположения 511
  - жесткости 542
  - формы 401
  - массы 546
- прочности 527
  - размеров 395, 512
  - уравновешенности 548
  - усталостной прочности 537
  - шероховатости 517
- Вставки спиральные 391
- Вставки фигурные 392
- Выглаживание 405
- Выпрямитель инверторные 261
- Вытяжка 398
- Выход по току 409
- Герметичность 126, 527
- Главная задача ремонтного производства 32
- Деталь
- определение 14
  - состояния 14
  - - исправное 14
  - - неисправное 14
  - - работоспособное 14
  - - неработоспособное 14
  - - предельное 14
- Детали корпусные 574
- Дефектоскоп ультразвуковой 121
- Деформация детали 117
- Деформирование материала пластическое 393
- виды 399
  - механическое 399
  - область применения 395
  - расчет значений технологических режимов 395
- Деформирование термопластическое 399

- Диски сошников и луцильников 603  
 Диспергирование 95  
 Диссоциация электролитическая 407  
 Дифференциация операций 613  
 Долговечность деталей остаточная 35  
 Дополнительные ремонтные детали 385
  - закрепление заклепками или винтами 389
  - - клеесварным способом 390
  - - натягом 386
  - - пастообразным припоем с приложением импульсов тока 390
  - - полудой 390
  - - раскатыванием 388
  - - сваркой 389
  - - снлами упругости и упорами 391
  - - электрозаклепками 390
 Дробление механическое 105  
 Дуга электрическая 233  
 Железнение 424  
 Жесткость детали 543  
 Жидкости смазывающе-охлаждающие 476  
**Заготовка**
  - исходная 26
  - ремонтная 26
  - - определение 136
  - - классификация способов создания 138
  - - анализ затрат 449
  - - структура затрат 448**Загрязнения деталей**
  - эксплуатационные 87
  - технологические 87
  - минеральные 88
  - органические 88**Закалка 488**  
**Измерение линейных размеров поверхностей**
  - наружных 480
  - внутренних 480**Изнашивание 520**
  - механическое 21
  - - абразивное 21
  - - кавитационное 23
  - - усталостное 22
  - - при заедании 23
  - коррозионно-механическое 24
  - - фреттинг-коррозия 24
  - - эрозийное 25**Износ 520**  
**Износостойкость 520**  
**Испытания продукции**
  - предварительные 633
  - приемочные 633
  - квалификационные 633
  - приемосдаточные 633
  - периодические 633**Источники питания 253**  
**Источники тепла**
  - тепловая мощность 231
  - газовое пламя 231
  - электрическая дуга 233
  - плазма 237
  - индукционный нагрев 239
  - искровой разряд 239
  - электронный луч 240
  - лазерное излучение 240
  - процессы трения 241
  - прохождение тока 241**Калибрование отверстий 405**  
**Карбены 90**  
**Карбонды 90**  
**Качество восстановления 656**  
**Клапаны 594**  
**Клеи 533**  
**Коагуляция 103**  
**Контроль линейных размеров 117**  
**Контроль магнитопорошковый 119**  
**Колеса зубчатые 595**  
**Комплект технологической документации 572**  
**Компонование технологических машин 74**  
**Композиции эпоксидные 527**  
**Концентрация операций 613**  
**Концепция качества 628**  
**Коромысла 590**  
**Коррозия поверхностей 117**  
**Кремний 158**  
**Лапы культиваторные 599**  
**Лемеха плужные 598**  
**Лента**
  - стальная наплавочная 169
  - порошковая 213
  - спеченная металлокерамическая 222**Лужение 443**  
**Марганец 159**  
**Маркетинг 643**  
**Маркирование продукции 633**  
**Масла 90**  
**Масса загрязнений допустимая остаточная 105**  
**Материал 90**
  - основной 143
  - вспомогательный 143**Машинна струйная 106**  
**Машина погружная 107**



- Мероприятие**  
 – предупреждающее 635  
 – корректирующее 635  
**Метод средних и размахов** 515  
**Модуль функциональный** 51  
**Нагар** 90  
**Накатка поверхности** 398  
**Накипь** 90  
**Наклеп материала**  
 – определение 402  
 – ротационным упрочнителем 404  
**Наплавка**  
 – определение 271  
 – аргонодуговая 297  
 – вибродуговая 298  
 – в среде защитных газов 293  
 – газопорошковая 324  
 – импульсно-дуговая 302  
 – индукционная 318  
 – лазерная 312  
 – лежащим электродом 286  
 – многоэлектродная 286  
 – намораживанием 322  
 – открытой дугой самозащитными ма-  
 териалами 297  
 – плазменная 302  
 – – с тепловым насыщением 307  
 – по слою порошка 287  
 – ручная электродуговая 279  
 – самозащитными материалами 297  
 – электродуговая под слоем флюса 280  
 – электромагнитная 311  
 – электроно-лучевая 316  
 – электрошлаковая 290  
**Напекание центробежное индукционное** 578  
**Наполнители** 529  
**Напыление**  
 – определение 337  
 – технологический процесс 341  
 – вакуумное конденсационное 372  
 – газопламенное 354  
 – – активированное 356  
 – детонационное 366  
 – индукционное 371  
 – микроплазменное 364  
 – плазменное 358  
 – последующая упрочняющая обра-  
 ботка 378  
 – с оплавлением 365  
 – электродуговое 347  
 – – активированное 352  
**Наследственность технологическая** 29  
**Настройка размерная**  
 – динамическая единичная 513  
 – динамическая на партию 514  
**Науглероживание** 495  
**Непрерывность производства** 614  
**Неуравновешенность детали**  
 – статическая 548  
 – динамическая 550  
 – смешанная 551  
**Никель** 158  
**Никелирование** 441  
**Обезвреживание отходов гальванического производства** 439  
**Обезуглероживание** 492  
**Обжатие** 397  
**Обкатывание** 402  
**Обнаружение поверхностных трещин** 118  
**Оборудование технологическое**  
 – универсальное 42  
 – специализированное 43  
 – специальное 43  
 – перестраиваемое 44  
 – переиспользуемое 44  
 – гибкое 44  
**Обработка механическая** 456  
 – абразивная 469  
 – лезвийная 465  
**Обработка дробеструйная** 404  
**Обработка термомеханическая** 494  
**Обработка электрохимическая** 406  
**Обработка электроискровая** 379  
**Объем здания** 608  
**Объем технологического потолка** 608  
**Обслуживание техническое** 32  
**Ограничения организационные** 606  
**Окисление** 492  
**Оксидирование**  
 – химическое 443  
 – электрохимическое 445  
 – микродуговое 430  
**Оксиды** 90  
**Оплавление покрытий** 365  
**Определение технического состояния ис-  
 ходных заготовок** 116  
**Организация контроля качества** 638  
**Организация процессов** 606  
**Осадка** 396  
**Оси** 581  
**Оснастка технологическая** 42  
**Отвердители** 528

- Ответственность за качество
  - рабочего 630
  - мастера 630
  - начальника цеха 631
  - начальника ОТК 631
  - главного бухгалтера 631
  - главного инженера 631
  - заместителя директора 631
  - директора 631
- Отжиг I рода 486
- Отжиг II рода 488
- Отклонения
  - от круглости 118
  - взаимного расположения поверхностей 118
- Отложения
  - асфальтосмолистые 90
  - лаковые 90
- Отставание 103
- Очистка потоком
  - косточковой крошки 111
  - стеклянных шариков 111
- Пасты герметизирующие 539
- Пламя газовое 231
- Планирование качества 625
- Пластичность материала 394
- Пластификаторы 528
- Плеики оксидно-фосфатные 445
- Повреждения деталей
  - внутренние 117
  - наружные 117
  - деформации 117
  - изломы 117
  - износы 117
  - коррозия 117
  - пробоины 117
  - усталостные 117
- Погрешности взаимного расположения 512
- Погрешности
  - систематические 512
  - случайные 512
- Подача электролита
  - газолитная 435
  - под напором 435
  - эжекторная 436
- Подвал технологический 610
- Показатели качества
  - единичные 81
  - комплексные 81
  - интегральный 81
  - назначения 79
- надежности 80
- экономические 81
- Покрытие
  - определение 137
  - толщина 456
  - гомогенное 145
  - композиционное 145, 429
  - электродиное 176
- Поликристаллические сверхтвердые материалы 466
- Полнирование 475
- Пористость 365, 522
- Порошки
  - диффузионно-легированные 203
  - композиционные 209
  - объемно-легированные 203
  - самофлюсующиеся 195
  - смеси механические 211
  - сплавов 190
  - тугоплавких соединений 203
  - чистых металлов 190
- Поршни 592
- Порядок заказа специального оборудования 78
- Правка
  - горячая 401
  - двойная 401
  - наклепом 402
  - поэлементная 402
  - холодная 401
- Предел выносимости остаточный 537
- Приварка электроконтактная металлического слоя 326
- Принципы компонования производственного корпуса 611
- Приспособления 42
- Притирка 475
- Проволока
  - для напыления 169
  - наплавочная 169
  - порошковая 213
  - стальная сварочная 168
- Прокладки жидкие уплотняющие 536
- Производство обслуживающее 40
- Производство вспомогательное 40
- Производство основное 39
- Производство по восстановлению деталей
  - виды 40
  - определение 36
  - особенности 37
  - признаки отличительные 37
  - состав 37

- структура 37
- цель 36
- Производство ремонтное 36
- Простукивание 117
- Профилографы 519
- Профилометры 519
- Процеживание 103
- Процесс электрохимический 406
- Прочность 527
- Прочность усталостная 539
- Прослеживаемость продукции 633
- Прутки наплавочные 187
- Работа сил трения 241
- Рабочие органы почворежущих машин 598
- Раздача 397
  - механическая 399
  - термопластическая 399
  - электрогидравлическая 400
- Разряд искровой 240
- Расплав солей и щелочей 105
- Расстановка оборудования
  - в порядке следования технологических операций 609
  - по типам 609
- Растворение 92
- Растворители органические 97
- Ремонт машин 32
- Ресурс остаточный 131
- Ритмичность производства 614
- Руководство качеством 625
- Рычаги 590
- Сварка
  - определение 241
  - классификация 241
  - газовая 244
  - левым способом 245
  - правым способом 246
  - электродуговая 248
  - трением 262
  - термитная 264
  - контактно-стыковая 264
  - ультразвуковая 264
  - в вакууме 264
  - деталей из углеродистых сталей 265
  - чугуиных деталей 265
  - медных сплавов 268
  - алюминиевых сплавов 268
  - свинца 271
- Свойства
  - технологические 143
  - эксплуатационные 145
- Система исполнительных агрегатов 69
- Система качества восстановления деталей
  - концепция 628
  - основные принципы 626
  - политика 629
  - цель 624
  - структура функциональная 624
  - структура организационная 624
- Система средства восстановления деталей
  - анализ 48
  - определение 47
  - синтез 48
  - структурный 49
  - параметрический 49
  - системный подход 50
- Слой поверхностный 137
- Смачивание 93, 115
- Смолы нейтральные 90
- Совместимость 526
- Специализация производства 615
- Способ контроля качества очистки деталей
  - смачиванием 115
  - весовой 115
  - протиранием 116
  - люминесцентный 116
- Способ
  - магнитографический 122
  - феррозоидовый 122
  - капиллярный 122
  - цветной 123
  - люминесцентный 123
- Способы магнитные 118
- Средства растворяюще-эмульгирующие 99
- Средства технические моющие 100
- Средства технологического оснащения 41
- Стабилизация 95
- Старение материала 26
- Стекла металлические 317
- Струя плазменная 237
- Суперфиниширование 475
- Тела вращения полые 577
- Технологическая подготовка восстановительного производства
  - контроль 655
  - организация 653
  - планирование 650
  - признаки 646
  - цель 646
- Технологические расчеты
  - плазменно-порошковой наплавки 310
  - электродуговой наплавки 275
- Технологический процесс восстановления деталей

- единичный 572
- операционный 572
- маршрутный 572
- типовой 569
- групповой 569
- модульный 570
- Технология
  - маршрутная 569
  - подефектная 569
- Технический уровень восстановительного производства 660
- Точность формы 511
- Трещины
  - опасные 538
  - неопасные 538
- Углерод 157
- Углеводороды хлорированные 97
- Улучшение качества 625
- Ультрафильтрация 103
- Управление качеством 625
- Управление процессами производства 632
- Уполномоченный по качеству 632
- Упрочнение деталей
  - определение 35
  - содержание 35, 402, 533
- Уравнивание производственной мощности 613
- Условия работы 149
- Фильтрование центробежное 103
- Финишная антифрикционная безабразивная обработка 523
- Фосфатирование 446
- Флюс
  - керамический 285
  - плавленный 283
- Химический способ нанесения покрытий 441
- Хонингование 475
- Хром 157
- Хромирование 426
- Цианирование 497
- Цинкование 428
- Чекайка 403
- Чертеж ремонтный 571
- Шатуны 590
- Шероховатость поверхностей 517
- Шнуры 212, 213
- Электроды
  - сварочные 169
  - наплавочные покрытия 177
- Электроконтактный способ нанесения гальванического покрытия 436
- Электролиз 408
- Элементы
  - легирующие 149
  - упругие 597
- Эмульгирование 95

## СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Паителеенко Федор Иванович, Ляляки Валентин Павлович,  
Иванов Владимир Петрович, Константинов Валерий Михайлович**

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Редактор *А.П. Лебедева*

Художественный редактор *Т.Н. Погорелова*

Корректор *С.В. Сидоренко*

Инженеры по компьютерному макетированию: *Т.В. Курохтина, О.В. Мочалина,  
Е.А. Плотникова, С.Н. Целуйко*

Лицензия ИД № 05672 от 22.08.2001

Сдано в набор 7.07.2003 г. Подписано в печать 5.09.03. Формат 60×88/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 41,16. Уч.-изд. л. 40,1. Тираж 2000 экз. Заказ 8642

Ордена Трудового Красного Знамени ФГУП «Издательство «Машиностроение»,  
107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Оригинал-макет изготовлен в издательско-полиграфическом центре  
Тамбовского государственного технического университета

Отпечатано в ГУП ППП «Типография «Наука» РАН, 121099, Москва, Шубинский пер., 6