

САМАРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
ДЕПАРТАМЕНТ КАДРОВ И УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Кафедра строительных, дорожных машин
и технологии машиностроения

ОТДЕЛОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ
СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ, ДОРОЖНЫХ ПУТЕВЫХ МАШИН И ПОДВИЖНОГО
СОСТАВА

Конспект лекций по курсу
“Технология конструкционных материалов”
для студентов специальности 170900
дневной и заочной формы обучения

Составители: Авдонин Г.Т.
Феоктистов В.С.

Самара 2002

УДК 621.9.047

Отделочные операции технической обработки деталей строительных, дорожных, дорожных путевых машин и подвижного состава. Конспект лекций по курсу “Технология конструкционных материалов” к выполнению дипломных и курсовых работ для студентов специальности 170900 дневной и заочной форм обучения.

Г.Т. Авдонин, В.С. Феоктистов. – Самара: СамГАПС, 2002.

Утвержден на заседании кафедры СДМ и ТМ 5.03.2002 г. Протокол №7.

Печатается по решению редакционно – издательского совета академии.

В конспекте лекций по курсу “Технология конструкционных материалов” для студентов специальности 170900 изложены основные виды отделочных операций механической обработки, применяемых при изготовлении точных и высокоточных деталей силовых гидравлических и пневматических управляющих систем. Приведены основные типы, марки и формы обрабатывающего инструмента, режимы обработки и характеристики оборудования, а также необходимый справочный и аналитический материал.

Составители: Геннадий Тимофеевич Авдонин
Василий Сергеевич Феоктистов

Рецензенты: Чернова Э.С., начальник бюро механической обработки отдела
главного технолога завода “Авиакор” г.Самара
Курилкин Б.В., к.т.н., доцент, СамГАПС

Редактор: И.М. Егорова

Компьютерная
верстка: Н.В. Чертыковцева

Подписано в печать 18.05.02. Формат 60×84 1/16

Бумага писчая. Печать оперативная. Усл.п.л.

Тираж 100. заказ №62.

ОТДЕЛОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Целью данной работы является проектирование оптимального технологического процесса отделочной обработки деталей при выполнении студентами курсовой работы и технологической части дипломного проекта по разделу "Обработка металлов резанием" курса "Технология конструкционных материалов".

Детали подвижного состава, строительных, дорожных, путевых и других машин часто требуют механической обработки для получения поверхностей с очень малой шероховатостью и точностью 5-6-го квалитетов. Для получения шероховатости $R_a = 1,25 \dots 0,16$ мкм и точности 5-7-го квалитетов применяются: тонкое точение, тонкое строгание, тонкое шлифование, отделочное протягивание, отделочное развёртывание, накатка роликами (шариками), пуансонирование, раскатка отверстий вальцовками. Для получения поверхности с очень малой шероховатостью $R_a = 0,16 \dots 0,02$ мкм и точностью 5-го квалитета и точнее применяются: хонингование и виброхонингование (доводка абразивными брусками), лаппингование (доводка) и суперфиниширование (доводка абразивными колеблющимися брусками), отделочно-упрочняющая обработка, электрохимическая обработка.

Для декоративной отделки поверхностей, а также подготовки поверхностей деталей под хромирование, никелирование и другие гальванические покрытия применяются полирование и гидрополирование (абразивно-жидкостный способ).

По мере совершенствования методов изготовления заготовок центр тяжести при механической обработке смещается на чистовые и отделочные операции.

1. Отделка поверхностей лезвийными инструментами

Тонкое точение производится при малых глубинах резания - до 0,5 мм, малых подачах - 0,01...0,25 мм/об и при возможно больших скоростях резания - 100 м/мин и больше. Тонкое точение применяется для обработки поверхностей из закалённой и незакалённой стали, серых, ковких и легированных чугунов, цветных металлов и сплавов, различных пластмасс вместо шлифования. Режущий инструмент при тонком точении оснащается пластинками кубического нитрида бора (эльбора, гексанита и др.), природного и синтетического алмаза, из металлокерамического твёрдого сплава металломинералокерамики, минералокеримики. При этом на обычных токарных и токарно-винторезных станках, находящихся в хорошем состоянии, можно получить шероховатость $R_a = 1,25 \dots 0,63$ мкм и точность по 7-8-му квалитетам, а на особо точных (прецизионных) станках - шероховатость $R_a = 0,32$ мкм и точность 5-го квалитета (данные по расчёту см. в [9]).

Тонкое фрезерование чаще всего производят при малой глубине резания, до 3 мм, небольших подачах 0,02...0,2 мм/об фрезы и возможно больших скоростях резания - 150 м/мин и выше. Фрезы оснащаются пластинками из эльбора-Р, гексанита-Р, естественных и синтетических алмазов, из металлокерамических твёрдых сплавов, металломинералокерамики и минералокерамики. На обычных фрезерных станках, находящихся в хорошем состоянии, возможно получение шероховатости поверхности

$R_a = 1,25 \dots 0,32$ мкм и точности обработки 6-8-го квалитетов, а на особо точных (прецизионных) станках - шероховатости $R_a = 0,32$ мкм и точности 5-6-го квалитетов. Плоское фрезерование применяется для обработки плоскостей и тел вращения.

Разновидностями тонкого фрезерования являются "бреющее" фрезерование тел вращения и фрезерование плоскостей однозубыми фрезами с широким лезвием. "Бреющее" фрезерование тел вращения осуществляется чаще всего мелкозубыми быстрорежущими фрезами, при обработке незакаленной стали вместо шлифования, производительность труда при этом в 2-3 раза выше, чем при шлифовании. В этом случае заготовка устанавливается в центрах и вращается (круговая подача), а режущий инструмент (фреза с мелкими зубьями) вращается с большой встречной скоростью и с периодически осуществляемой поперечной подачей на заготовку.

Фрезерование плоскостей возможно однозубыми торцевыми фрезами с широким лезвием, оснащённым пластинкой из металлокерамического твёрдого сплава. Ширина лезвия (длина главной режущей кромки) равна трём подачам ($L = 3S$). Глубина резания $t = 0,05 \dots 0,10$ мм, подача на оборот фрезы – $S_o = 2$ мм/об и скорость резания $v = 250 \dots 300$ м/мин.

2. Доводка поверхностей абразивными инструментами.

Хонингование внутренних (рис. 1) и наружных поверхностей производится с помощью головки (хона) с абразивными брусками. При этом заготовка закрепляется на столе хонинговального станка, а хон устанавливается на шпиндель станка, вращается со скоростью v и одновременно совершает поступательно-возвратное движение со скоростью v_1 , а радиальное перемещение S_p - за счёт пружин H .

Чаще всего хонингованием обрабатываются цилиндрические отверстия как гладкие, так и прерывистые, сравнительно редко - конусные и эллипсные отверстия. Хонингование применяют также для обработки наружных цилиндрических поверхностей. Разновидностью хонингования поверхностей является охватывающее алмазное хонингование при обработке наружных цилиндрических поверхностей, поршней, поршневых колец. Используют хонингование и для обработки зубчатых колёс. При этом хон представляет собой абразивное зубчатое колесо соответствующего модуля, косозубое - для зубохонингования прямозубых колёс и прямозубое - для косозубых.

Хонингованием обрабатываются заготовки из различных материалов: серого, легированного и закалённого чугуна; незакалённой и закалённой углеродистой и легированной сталей; медных, алюминиевых, магниевых и других сплавов и т.д. На ремонтных предприятиях железнодорожного транспорта хонингуются внутренние поверхности цилиндрических втулок двигателей тепловозов.

Хонингованием достигается повышение точности формы, размеров и снижение шероховатости поверхностей различных заготовок. Применяется хонингование после тонкого растачивания и обтачивания, шлифования, зенкерования, развёртывания, протягивания. Хонингованием поверхностей абразивными брусками можно получить точность размеров отверстия в пределах 5-7-го квалитетов и шероховатость $R_a = 0,32 \dots 0,04$ мкм. При хонинговании используются алмазные, эльборовые и абразивные бруски [2].

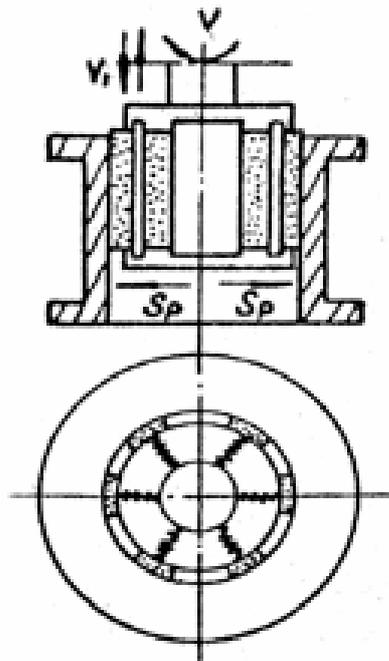


Рис. 1. Схема хонингования поверхности отверстия

Алмазные бруски применяют из натуральных (А) и синтетических (АС) алмазных порошков различных марок (АСР, АСВ, АСК, САМ, АСМ) на металлической, чаще всего керамической и реже органической связках (см. табл. 1). Брусок (ГОСТ 16606-71) состоит из алмазосодержащего слоя и корпуса, изготовленного из мягких сталей или металлокерамики, скрепленных пайкой или склеенных эпоксидной смолой с отвердителями, очень редко с механическим креплением. Суммарная ширина брусков берётся от 0,15 до 0,35 длины окружности обрабатываемого отверстия, возможно большей ширины, так как при этом получается более интенсивный съём металла и устраняется исходная погрешность детали. Длина бруска принимается равной 0,7...1 длины обрабатываемого отверстия, а если отверстие очень длинное ($L/d > 3$), то длину брусков не связывают с длиной обрабатываемого отверстия. Концентрация алмазов в бруске 100-150 %.

Эльборовые хонинговальные бруски (ЛБХ) применяются для обработки закалённых деталей (табл. 1). При этом себестоимость операции, по сравнению с применением алмазных брусков, можно снизить примерно вдвое.

Таблица 1

| Тип бруска | Эскиз | Предельные основные размеры, мм | | | | |
|----------------|-------|---------------------------------|------|------|-----|-------|
| | | L* | B | H | h | R |
| Алмазный АБХ | | 25-100 | 2-6 | 2-16 | 1-3 | 3-150 |
| Эльборовый ЛБХ | | 35-125 | 3-5 | 3-8 | - | 5-50 |
| Абразивный АБХ | | 15-150 | 2-15 | 3-14 | - | - |

L* – длина бруска.

В зависимости от припуска и обрабатываемого материала зернистость алмазных брусков определяется по табл. 2, аналогично выбирается и зернистость эльборовых брусков, а характеристика абразивных хонинговальных брусков - по табл. 3, с учётом требуемой шероховатости поверхности.

Таблица 2

| Материал обрабатываемой детали | Припуск, мм | Шероховатость R_a , мкм | | Характеристика абразивных брусков |
|--------------------------------|---------------|---------------------------|-------------|--|
| | | исходная | достигаемая | |
| Закалённая сталь | 0,08...0,14 | 2,5 | 1,25 | 24A10CT1...CT2K |
| | 0,04...0,08 | 2,5 | 0,63 | 24A6C2...CT2K |
| | 0,03...0,04 | 1,25 | 0,32 | 24A5C2...CT2K |
| | 0,01...0,03 | 1,25 | 0,32 | 63C3...5C1...CT1K 243...5C1...CT1K |
| Незакалённая сталь | 0,04...0,07 | 2,5 | 0,63 | 63C10CT2...T1K 24A0C2...CT2K |
| | 0,02...0,04 | 1,25 | 0,63 | 63CM40CT2...T2K |
| | 0,03...0,005 | 0,63 | 0,16 | 63CM14...M28 CT1...CT2K |
| Закалённый серый чугун | 0,08...0,16 | 2,5 | 1,25 | 63C16T1...T2K(баке-литизированные) |
| | 0,04...0,08 | 1,25 | 0,63 | 63C10...12T1..T2K(баке-литизированные) |
| | 0,01...0,03 | 0,63 | 1,32 | 63CM40CM2...C2K 63CM4CM2...C2K |
| серый чугун | 0,08...0,16 | 5,0 | 2,5 | 63C12...16T1...T2K |
| | 0,05...0,08 | 2,5 | 1,25 | 63C10...T1...T2K |
| | 0,03...0,05 | 2,5 | 1,25 | 63C10CT2...T2K |
| | 0,02...0,03 | 1,25 | 0,63 | 63C6CT2...T2K |
| | 0,005...0,008 | 0,63 | 0,32 | 63CM20...M28CT2...T2K |
| | 0,005...0,008 | 0,63 | 0,16 | 63CM14...M20CT2...T2K |
| бронза, алюминий, латунь | 0,09...0,15 | 2,5 | 0,63 | 24A10CT1...CT2K 63C12C1...CT1K |
| | 0,05...0,10 | 2,5 | 0,63 | 63C8...12C1...CT1K |
| | 0,03...0,07 | 2,5 | 0,63 | 63C5...8CM2...C2K |
| | 0,01...0,025 | 1,25 | 0,32 | 63CM20...M40M3..CM1K |

При хонинговании сталей и ковких чугунов преимущественно применяют бруски из электрокорунда, а для серых чугунов, алюминиевых сплавов, латуней, бронз - из карбида кремния.

Чаще всего применяют керамическую связку, и только для обработки медных и алюминиевых сплавов наряду с керамической используют и бакелитовую связку.

К режимам хонингования относятся: 1) окружная скорость хона v , м/мин; 2) скорость поступательно-возвратного движения хона или детали вдоль оси шпинделя - v_1 , м/мин; 3) удельное давление, с которым абразивные бруски прижимаются к обрабатываемой поверхности детали, P . В зависимости от материала хонинговальных брусков, материала обрабатываемой детали и её типа для достижения наибольшей производительности окружную скорость хона, скорость поступательно-возвратного движения хона или детали вдоль оси шпинделя принимают по табл. 3 и 4

Таблица 3

| Обрабатываемый материал | Операция | Режимы хонингования | | | |
|-------------------------|-----------------|------------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| | | Окружная скорость хона v , м/мин | Скорость хона поступательно-возвратная v_1 , м/мин | Рабочее давление $\sigma_p, \times 10^{-2}$ кг/мм ² | Радиальная подача S_p , мм/дв.ход |
| Серый закалённый Чугун | Предварительная | 50...80 | 16...18 | 0,13...0,15 | - |
| | Получистовая | 45...70 | 16...18 | 0,13...0,15 | - |
| | Окончательная | 40...50 | 12...18 | 0,05...0,09 | - |
| Серый чугун | Предварительная | 50...80 | 15...18 | 0,08...0,12 | 2...3 |
| | Окончательная | 40...70 | 8...12 | 0,04...0,06 | 0,6...0,8 |
| Незакалённая Сталь | Предварительная | 25...35 | 6...12 | 0,04...0,06 | 1...2 |
| | Окончательная | 25...35 | 3...8 | 0,02...0,04 | 0,4...0,6 |
| Закалённая сталь | Предварительная | 40...50 | 5...8 | 0,08...0,14 | 1...3 |
| | Окончательная | 40...55 | 4...6 | 0,04...0,08 | 0,4...0,6 |
| Анодированный Алюминий | Окончательная | 20...35 | 10...12 | 0,03...0,04 | - |

Хонинговальные станки обычно имеют скорости не больше 20 м/мин. На окончательных операциях скорость v_1 назначается на 20-50 % меньше чем на предварительных.

Оптимальное соотношение между скоростями $v/v_1 = 2...4$ - при хонинговании стали, и $v/v_1 = 3...5$ - при хонинговании чугуна.

Большое влияние на производительность процесса хонингования оказывает величина удельного давления абразивных брусков на обрабатываемую поверхность заготовки, и

принимается она в соответствии с табл. 3 и 4 в зависимости от материалов брусков и обрабатываемой заготовки, а также типа операции.

При больших припусках на хонингование удельное давление должно назначаться наибольшим, а для получения малой шероховатости - наименьшим.

Поддерживать требуемые удельные давления позволяет регулировка радиальной подачи абразивных брусков хона от 0,4 до 3 мкм/дв.ход (см. табл.3).

Таблица 4

| Обрабатываемый Материал | Операция | Режимы хонингования | | |
|----------------------------|-----------------|---|---|---|
| | | Окружная скорость хона v , м/мин | Скорость хо- на поступате- льно-возврат- ная v_1 , м/мин | Рабочее давление $\sigma_p, \times 10^{-2}$ кг/мм ² |
| Серый закалённый Чугун | Предварительная | 50...80 | 15...20 | 0,08...0,14 |
| | Получистовая | 50...60 | 12...16 | 0,08...0,12 |
| | Окончательная | 40...50 | 8...12 | 0,06...0,08 |
| Серый чугун | Предварительная | 40...80 | 17...22 | 0,08...0,10 |
| | Окончательная | 30...50 | 8...15 | 0,03...0,05 |
| Незакалённая сталь | Предварительная | 15...30 | 8...12 | 0,04...0,08 |
| | Окончательная | 10...30 | 5...7 | 0,02...0,04 |
| Закалённая сталь | Предварительная | 20...20 | 5...8 | 0,10...0,15 |
| | Окончательная | 20...30 | 4...7 | 0,06...0,10 |
| Бронза | Окончательная | 40...70 | 4...8 | 0,03...0,05 |

С у п е р ф и н и ш и р о в а н и е - доводка поверхностей абразивными мелкозернистыми колеблющимися брусками с малыми удельными давлениями - производится при обработке наружных и внутренних поверхностей (рис.2) для достижения высокой точности и очень малой шероховатости.

При суперфинишировании обрабатываемая деталь вращается со скоростью v , а суперфинишная головка совершает колебательное движение со средней скоростью v_1 и получает продольную подачу S вдоль детали или относительно головки. Абразивные бруски пружинами прижимаются к поверхности детали с определённым удельным давлением P .

Короткие поверхности (ступени, буртики) обрабатываются методом врезания (рис. 2, б). При обработке плоских торцевых и сферических поверхностей применяются вместо абразивных брусков шлифовальные мелкозернистые круги чашечной формы, которые вращаются со скоростью v_2 и получают колебательное (рис.2, ж) или планетарное (рис.2, а) движение.

Зёрна абразивных брусков производят микрорезание со снятием тончайших стружек (0,1...0,5 мкм) и трение с пластическим оттеснением металлов. При микрорезании исправляется погрешность формы обрабатываемой поверхности и удаляется дефектный слой. При трении брусок выглаживает, полирует обрабатываемую поверхность, придавая ей

зеркальный блеск. Суперфиниширование - эффективный вид отделочной обработки поверхности различных деталей: коленчатых и распределительных валов, клапанов поршневых пальцев, поршней двигателей внутреннего сгорания, плунжерных пар топливных насосов, шпинделей станков, калибров и др.

Перед суперфинишированием термообрабатываемые поверхности деталей обрабатываются тонким шлифованием, а незакалённые - тонким точением или тонким фрезерованием.

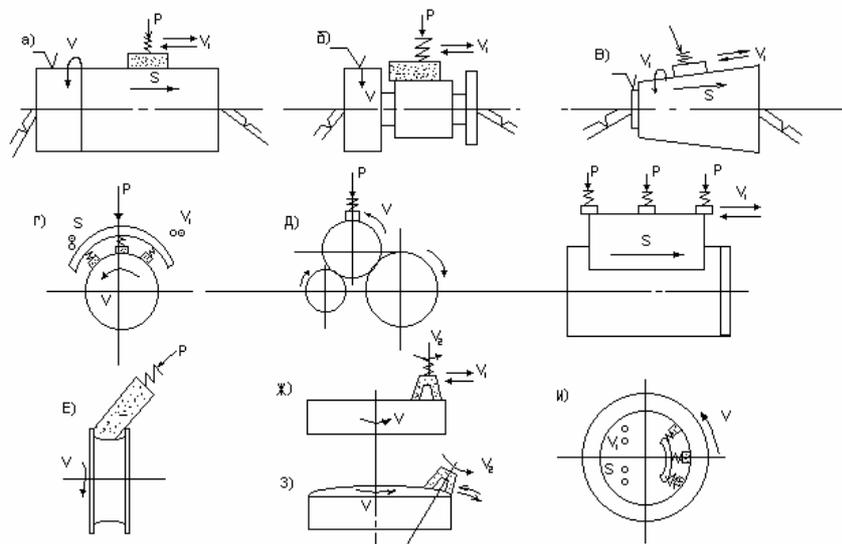


Рис. 2. Схемы суперфиниширования различных поверхностей:

А -цилиндрических с продольной подачей; Б - цилиндрических с врезанием; В - конических с продольной подачей;Г - цилиндрических с продольной подачей(вид сбоку); Д - цилиндрических - бесцентровое;Е - тороидальных поверхностей(желоб кольца подшипника); Ж - торцевых плоских; З - торцевых сферических; И - цилиндрических внутренних с продольной подачей

Для суперфиниширования применяются как специальные суперфинишные станки в массовом и серийном производстве, так и универсальные станки, оборудованные суперфинишными головками - вибраторами, в условиях мелкосерийного и индивидуального производства.

Абразивный материал зёрен и материал связки для суперфинишных брусков выбирается согласно табл. 5[2].

Таблица 5

| Рекомендуемая область применения | Абразивный материал | Связка |
|---|-------------------------|--------------|
| Суперфиниширование стальных деталей | Электрокорунд белый | Керамическая |
| Окончательное суперфиниширование стальных деталей | Электрокорунд хромистый | Керамическая |
| Суперфиниширование чугуна и стали | Карбид кремния зелёный | Керамическая |

Продолжение табл.5

| | | |
|--|------------------------|-------------------------------|
| Предварительное суперфиниширование цветных металлов и сплавов, незакалённой стали, нержавеющей стали | Карбид кремния зелёный | Керамическая Металлическая |
| Окончательное суперфиниширование металлов и сплавов небольшой твёрдости | Карбид кремния | Бакелитовая с графитом |
| Суперфиниширование высокой твёрдости легированных инструментальных сталей | Эльбор | Керамическая |
| Суперфиниширование твёрдых сплавов и технической керамики | Алмаз | Бакелитовая Вулканитовая |

При обработке легированных сталей высокой твёрдости эльборовые бруски обеспечивают большую производительность, чем бруски из карбида кремния, и имеют значительно более высокую стойкость.

Выбор зернистости абразивных брусков для суперфиниширования производится в зависимости от шероховатости поверхности, полученной перед суперфинишированием, требуемой шероховатости и числа применяемых переходов по табл. 6[2].

Таблица 6

| Исходная шероховатость R_a , мкм | Требуемая шероховатость, мкм | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------------------------|-------------|------------|-------------|-------------|---------------------|------------------|----------------------------|
| | $R_a=0,16$ | | $R_a=0,08$ | | $R_a=0,04$ | | $R_a=0,02$ | |
| | Переход | Зернистость | Переход | Зернистость | Переход | Зернистость | Переход | Зернистость |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1,25 | 1 | M20;M14 | 1 2 | M14 M7 | - | - | - | - |
| 0,63 | 1 | M14;M10 | 1 2 | M14 M7 | 1 2 3 | M20;M14 M7 M3 | | |
| 0,32 | 1 | M14;M10 | 1 | M10;M7 | 1 | M14;M10 | 1 | M14;M10 |
| 0,16 | - | - | - | - | 1 2 | M3 M7 M3 | 2 3 1 2 | M7;M5 M1 M7;M5 M1 |

Твердость брусков так же, как и при абразивном шлифовании зависит от твердости обрабатываемого материала, и выбирается по правилу: чем тверже обрабатываемый

материал, тем мягче брусок и наоборот. При суперфинишировании стали твердость прессованных брусков выбирается из следующих данных:

твердость стали HRC - 0...20; 25...35; 40...50; 55...60; 60...65;

твердость эльборовых брусков - СМІ; МЗ...СМІ; МЗ; МІ...М2; ВМ2...МІ.

Если бруски литые, то они для одинаковых условий принимаются на две-три степени тверже прессованных. Так, для мягких и вязких сталей и цветных сплавов бруски принимаются твердостью ВМ...М2, а чугуна – С ...СТ; твердость эльборовых брусков на керамической связке - СТ2...Т2.

Все вышеприведенные данные справедливы для обработки поверхностей с исходной шероховатостью $R_a = 0,32...0,63$ мкм. Если же исходная шероховатость больше, то твердость брусков необходимо увеличивать. Критерием правильности выбора бруска по твердости являются его быстрая прирабатываемость к обрабатываемой поверхности и равномерный $\alpha = 80...85^\circ$ практически прекращается.

Размеры и форма абразивных брусков влияют на эффективность суперфиниширования. Виды, типы и размеры брусков приведены в табл. 7 и 8.

Таблица 7

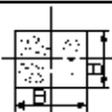
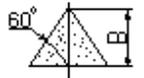
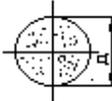
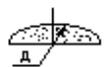
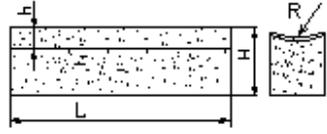
| Вид бруска | Тип | Эскиз | Предельные размеры, мм | Связка |
|-------------|------------------|---|--|------------------------------|
| Квадратный | БК _в |  | B = 3...90 L = 20...200 | Керамическая или бакелитовая |
| Плоский | БП |  | B = 8...40 H = 4...20 L = 25...200 | Керамическая или бакелитовая |
| Трёхгранный | БТ |  | B = 6...16 L = 150 | Керамическая |
| Круглый | БК _р |  | D = 6...16 L = 100...150 | Керамическая |
| Полукруглый | БК _{кр} |  | D = 13...20 L = 150...200 | Керамическая |

Таблица 8

| Тип бруска | Эскиз | Предельные размеры, мм | | | | | |
|------------|---|------------------------|----------|--------|--------|---|-------|
| | | L | B | H | l | h | R |
| ЛБП |  | 15...50 | 2,5...25 | 2...20 | 3...15 | - | - |
| ЛБС | | 70 | 8...16 | 16 | - | 6 | 5...1 |

В зависимости от диаметра обрабатываемой поверхности D и коэффициента K определяется ширина B рабочей поверхности бруска: $B = KD$, мм.

Значение коэффициента K приводится в табл. 9[2].

Таблица 9

| Диаметр обрабатываемой поверхности D , мм | Коэффициент K | Количество брусков | Диаметр обрабатываемой поверхности D , мм | Коэффициент K | Количество брусков |
|---|-----------------|--------------------|---|-----------------|--------------------|
| 3...10 | 0,7...0,6 | 1 | Св.60...100 | 0,4...0,25 | 2 |
| Св.10...20 | 0,5...0,5 | 1 | Св.100...150 | 0,25...0,15 | 2;3 |
| Св.20...40 | 0,6...0,5 | 1 | Св.150 | 0,15 и менее | 3;4 |
| Св.40...60 | 0,5...0,4 | 1 | | | |

Если на обрабатываемой поверхности имеются канавки, пазы, окна, то ширина бруска принимается не меньше двойной ширины паза, окна или канавки.

Как правило, длина абразивного и эльборового бруска равна длине обрабатываемой поверхности или меньше ее на величину амплитуды колебаний. Чаще всего длина бруска не превышает 70 мм и только при суперфинишировании очень длинных поверхностей принимается 120 мм.

Для уменьшения седлообразности обрабатываемой поверхности при врезном суперфинишировании применяют бруски с переменной по длине рабочей поверхностью.

Применение многобрусковых накладок при суперфинишировании позволяет увеличить производительность процесса.

В процессе суперфиниширования используют смазочно-охлаждающие жидкости, подаваемые обильной струёй на входную кромку бруска, с учетом направления движения детали. Так, при суперфинишировании закаленных сталей применяется смесь керосина (85-90 %) и машинного или индустриального масла (15-10%) с добавлением олеиновой кислоты (3-5 %) при обработке незакаленных сталей и пластичных сплавов содержание масла в СОЖ увеличивается до 70-80 % или даже используется только масло или смесь легких масел с добавлением олеиновой кислоты. Чтобы работать при суперфинишировании с высокой производительностью и получать требуемую точность и качество обработанных поверхностей, необходимо правильно предусмотреть величины припусков, которые зависят от исходной и требуемой шероховатости обработанной поверхности детали (табл.10) [2].

Таблица 10

| Шероховатость R_{α} , мкм | | Припуск, мкм | Шероховатость R_{α} , мкм | | Припуск, мкм |
|----------------------------------|--------------|------------------|----------------------------------|--------------|----------------|
| Требуемая по чертежу | исходная | | Требуемая по чертежу | исходная | |
| 0,16 | 1,25 0,63 | 10...12 5...7 | 0,04 | 0,32 | 4...5 |
| 0,8 | 0,63 0,32 | 5...7 4...5 | 0,02 | 0,32 0,16 | 4...5 2...3 |

На производительность процесса суперфиниширования, износ брусков, точность и качество обработанных поверхностей значительно влияет угол сетки α , отношение скоростей вращения обрабатываемой заготовки v к скорости колебательного движения суперфинишной головки v_1 . Размах колебаний рекомендуется 2...3 мм; частота колебаний суперфинишной головки на современных станках $n_1 = 1500...2500$ дв.ход/мин; скорость колебательных движений суперфинишных брусков $v_1 = 6..15$ м/мин.

При суперфинишировании в начале обработки для высокопроизводительного исправления погрешностей формы обрабатываемой поверхности, удаления шероховатости, полученной на предыдущей операции, и дефектного слоя работают с $\alpha = 45^\circ$, а затем увеличивают α за счет повышения скорости вращения обрабатываемой заготовки в 2-10 раз и более. При этом происходит сглаживание обрабатываемой поверхности, и в результате трения с пластическим оттеснением металла поверхность приобретает зеркальный блеск. Для достижения наибольшего эффекта при суперфинишировании необходимо увеличивать до максимально возможного значения скорости v и v_1 . Чтобы получить заданную шероховатость обработанной поверхности, выбирают из табл. 11 число ступеней цикла, угол сетки и соотношение между v_1 и v . [2].

Таблица 11

| Шероховатость после обработки R_α , мкм | Число ступеней цикла | Угол сетки α^0 | Отношение v/v_1 | Время обработки на каждой ступени от времени цикла, % |
|--|----------------------------|-----------------------------|----------------------|---|
| 0,16 | 1 | 40...150 | 0,8...1,2 | 100 |
| 0,08 | 1 | 40...50 | 0,8...1,2 | 50...60 |
| | 2 | 60...70 | 1,7...2,7 | 50...40 |
| 0,04 | 1 | 40...50 | 0,8...1,2 | 50...60 |
| | 2 | 60...70 | 1,7...2,7 | 40...25 |
| | 1 | 75...85 | 1,7...11,4 | 10...15 |
| 0,02 | 1 | 40...50 | 0,8...1,2 | 40...50 |
| | 2 | 60...70 | 1,7...2,7 | 40...20 |
| | 1 | 75...80 | 1,7...5,7 | 10...15 |
| | 4 | 85...88 | 11,4...28,6 | 10...15 |

Учитывая хорошие режущие свойства зерен эльбора, для увеличения съема материала работают при скорости $v = 30...40$ м/мин.

При увеличении удельного давления бруска при суперфинишировании повышается относительная величина съема металла в следующих величинах:

удельное давление, кг/мм² – 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6;

относительная величина съема металла, мкм - I; 1,4; 1,9; 2,3; 2,5;

При суперфинишировании закаленной стали для брусков зернистостью M40...M20 удельное давление принимается 0,03...0,04 кг/мм², для брусков зернистостью M14 ... M5 – 0,02...0,03 кг/мм² и зернистостью M3...M1 – 0,015...0,02 кг/мм².

Продольная подача S : при обработке в центрах $S=0,5...1,2$ м/мин, а при бесцентровом суперфинишировании $S = 0,3...0,5$ м/мин.

При суперфинишировании исправляется некруглость (огранка) обрабатываемых поверхностей до 0,3...0,007 мкм, овальность - до 0,2...0,6 мкм, повышается точность до 0,3...0,7 мкм и уменьшается шероховатость поверхности до $R_\alpha = 0,05...1,00$ мкм.

Д о в о д к а (лаппингование) - технологический процесс отделочной обработки до высокой точности и очень малой шероховатости различных поверхностей (плоских, фасонных отверстий небольшого диаметра, цилиндрических наружных поверхностей

шариков и роликов для подшипников и др.), используется для притирки деталей, работающих в паре (плунжеров и гильз топливных насосов, корпусов и игл форсунок, клапанов двигателей внутреннего сгорания, деталей гидроаппаратуры и др.).

При доводке точность геометрических форм и размеров достигает десятых долей микрона (0,1...0,5 мкм), а среднее арифметическое отклонение $R_\alpha = 0,01$ мкм.

Сущность доводки заключается на первом этапе в микрорезании (резании, царапании), когда исправляется форма и изменяются размеры обрабатываемой поверхности, а на втором этапе происходит трение с пластическим оттеснением материала, при котором уменьшается высота неровностей, "выглаживается" обрабатываемая поверхность.

В процессе доводки на обрабатываемой поверхности образуются окисные пленки и адсорбированные слои, которые снижают прочность поверхностного слоя и уменьшают их сопротивляемость разрушению. Если при этом вводить в абразивные пасты или суспензии, применяемые при доводке, химически активные жидкости (олеиновая кислота, стеарин и др.), то процесс доводки ускорится.

Следует избегать при доводке разрыва граничного слоя смазки, чтобы не допустить схватывания на отдельных участках контакта притира с обрабатываемой поверхностью и, следовательно, ухудшения качества обработанной поверхности. Поэтому в доводочные смеси вводят масла или жиры животного происхождения с тем, чтобы получить оптимальную вязкость их. Доводку производят как свободными абразивами (пастами, суспензиями), так и закрепленными абразивными (шаржированными притирами) кругами.

При применении свободного абразива много вспомогательного времени затрачивается на промывку поверхностей и нанесение паст, а поверхность детали интенсивно шаржируется абразивными зёрнами, что при эксплуатации приводит к задирам поверхности и снижению износостойкости.

При доводке предварительно шаржированными притирами поверхностный слой инструмента насыщается закрепленными абразивными зёрнами, а в процессе работы на поверхность наносят слой смазки. Этот метод в сочетании с мелкозернистыми микропорошками (М7...М1) применяется при окончательных операциях доводки и обеспечивает наивысшую точность (0,1...0,3 мкм) и минимальную шероховатость ($R_\alpha = 0,01...0,04$ мкм) обработанной поверхности.

Наиболее совершенной и экономичной является доводка абразивными кругами с нанесенной смазкой. В зависимости от зернистости абразивных материалов и кругов можно производить грубую, чистовую и тонкую доводку.

Для доводки используют микропорошки (М40...М1) из различных абразивных материалов: электрокорунда (25А, 24А, 23А, 22А, 16А, 15А, 14А, 13А, 12А), карбида кремния зеленого (КЗ), карбида бора (В4С), окиси алюминия (глинозем Al_2O_3), прокалённой при различных температурах, окиси хрома, алмазов (А, АС), эльбора (Л).

Кроме абразивных порошков в доводочные пасты включают олеиновую кислоту, парафин, стеарин, говяжий жир, керосин, различные масла (вазелиновое, касторовое, костное и др.). Пасты ГОИ бывают: на основе окиси хрома с добавлением олеиновой кислоты, стеарина или парафина, селикагеля, жира.

В абразивных суспензиях абразив (не более 10 % по массе) находится в жидкой среде во взвешенном состоянии.

Области применения различных абразивных материалов указаны в табл.12.

Таблица 12

| Доводочные операции | Обрабатываемые материалы | Требуемая по чертежу | | Абразивный материал |
|------------------------------|--|----------------------|--------------------|--|
| | | Точность, мкм | Шероховатость, мкм | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Грубые Чистовые | Закалённые стали | 3...5 | 0,16...0,32 | Электрокорунд |
| | | 1...2 | 0,08...0,16 | |
| Грубые Чистовые | Закалённые стали резьбовые Калибры | 3...5 | 0,16...0,32 | Карбид бора |
| | | 1...2 | 0,08...0,16 | |
| Грубые Чистовые | Полупроводники, стекло, керамика | 3...5 | 0,16...0,32 | Карбид кремния |
| | | 1...2 | 0,08...0,16 | |
| Грубые Чистовые Тонкие | незакалённые стали, серый, ковкий чугуны, цветные металлы и сплавы | 3...5 | 0,16...0,32 | Оксид алюминия (глинозём), оксид хрома, ест. Корунд |
| | | 1...2 | 0,08...0,16 | |
| Тонкие | Все материалы (стали, чугуны, цветные металлы и т.д.) | 0,1...0,5 | 0,01...0,04 | -“- |
| | | 0,1...0,5 | 0,01...0,04 | |

Большое распространение при доводочных работах получили пасты из алмазных микропорошков, которые выпускаются нормальной и повышенной абразивной способности. Алмазные пасты и микропорошки применяют при доводке металлокерамических твёрдых сплавов, закалённых инструментальных сталей, неметаллических материалов высокой твёрдости.

Изготавливаются микропорошки и пасты из эльбора зернистостью М40...М3, с концентрацией эльбора в пастах 10, 20 и 36 %, по мере уменьшения зернистости.

Применяются эльбровые микропорошки и пасты для доводки инструментальных и быстрорежущих сталей, легированных и закалённых чугунов. При использовании микропорошка и паст из алмазов и эльбора увеличивается производительность доводки, снижается их расход и улучшается качество обработанных поверхностей.

Расход алмазов на съём 1 мкм припуска с 100 мм² поверхности приведён в табл. 13.

Таблица 13

| Обрабатываемый материал | Алмазные пасты | | | |
|-----------------------------------|----------------|--------|-------|-------|
| | АСМ 40 | АСМ 20 | АСМ3 | АСМ2 |
| Инструментальная сталь | 0,02 | 0,018 | 0,021 | 0,020 |
| Быстрорежущая сталь | 0,028 | 0,024 | 0,026 | 0,026 |
| Металлокерамический твёрдый сплав | 0,024 | 0,022 | 0,025 | 0,025 |

Пасты эльборовые аналогичны алмазным по интенсивности съёма металла и шероховатости доведённых поверхностей.

В качестве притиров при доводке чаще всего применяют чугуны, так как они хорошо сохраняют точность формы, а структура позволяет шаржировать их абразивными зёрнами. Для притиров применяется перлитный чугун и реже ферритный с повышенным содержанием фосфора твёрдостью НВ = 150...200 кг/мм².

Доводку цветных металлов, сплавов и им подобных мягких материалов производят притирами, изготовляемыми из олова, свинца и других материалов, а точных отверстий небольшого диаметра (например, гильз топливных насосов дизелей) – разрезными притирами из мягкой стали.

Перед применением притиров для доводочных работ их обрабатывают тонким точением, тонким фрезерованием или шлифованием (чистовым и тонким), а затем прирабатывают друг к другу по методу трёх плоскостей (для плоских) или по контрпритирам – втулкам с применением абразивных порошков убывающей зернистости (до микропорошков).

На доводку должен оставаться минимальный припуск с учётом высоты неровностей и погрешностей формы, оставшихся от предыдущей операции, и, если необходимо, удаления дефектного слоя материала[2].

Количество доводочных операций и величина припуска на доводку приведены в табл. 14.

Таблица 14

| Требуемая | | Количество доводочных операций | Припуск на доводку, мм |
|---------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------|
| Точность, мкм | Шероховатость R_a , мкм | | |
| 1,0...5,0 | 0,16 | 1 | 0,03...0,05 |
| 0,2...2,0 | 0,08 | 1 | 0,03...0,05 |
| | | 2 | 0,005...0,010 |
| 0,2 | 0,04 | 1 | 0,03...0,05 |
| | | 2 | 0,005...0,010 |
| | | 3 | 0,002...0,003 |
| 0,1...0,3 | 0,01...0,02 | 1 | 0,03...0,05 |
| | | 2 | 0,005...0,010 |
| | | 1 | 0,002...0,003 |
| | | 4 | 0,0005...0,0010 |

С тем, чтобы обеспечить эффективную и стабильную доводку, рассеяние размеров партии деталей не должно превышать 0,2...0,3 величины припуска. Для этого детали обмеряются и подбираются партиями по величине припуска.

Полирование применяют для декоративной отделки поверхностей и подготовки деталей под гальванические покрытия (хромирование, никелирование и др.). Производят ручную и механически на токарных, сверлильных и других станках с помощью абразивных шкурок и мягких кругов из войлока, ткани, прессованной бумаги и др. Размерное полирование выполняют абразивными шкурками и лентами, на которые наклеивается или наносится в виде паст абразивный порошок (алмазный, эльборовый, корундовый, карборундовый и др.).

Шероховатость поверхности при полировании достигает $R_a = 1,6...0,1$ мкм. Точность детали не изменяется и остается такой же, какая была до полирования.

На металлообрабатывающих предприятиях находит применение гидрополирование, заключающееся в том, что струя рабочей жидкости (чаще воды) вместе с абразивным порошком под давлением 4...6 кг/мм² с большой скоростью (50...70 м/с) направляется на обрабатываемую поверхность и полирует ее. Размеры детали почти не меняются, а поверхность получается матовой с шероховатостью $R_a = 2,5...0,32$ мкм и наклепанной, благодаря чему деталь становится более надежной и долговечной в эксплуатации.

Рекомендуемые окружные скорости полировальных кругов [3] приведены в табл.15.

Таблица 15

| Полируемый материал | Скорость, м/с | Полируемый материал | Скорость, м/с |
|------------------------|---------------|----------------------|---------------|
| Сталь | | Медь, её сплавы | 20...30 |
| Детали несложной формы | 30...25 | Алюминий, его сплавы | 18...25 |
| Детали сложной формы | 20...25 | Цинк, кадмий, свинец | 18...20 |
| Чугун | 30...35 | | |
| Никель, нейзильбер | 30...35 | | |

По да

ча поперечная на врезание берется от 0,025 до 0,050 мм на двойной ход суппорта (каретки) станка, число двойных ходов суппорта (каретки) - от 30 до 200 дв.ход /мин. Чем тверже обрабатываемый материал и более сложная форма детали, тем меньше двойных ходов суппорта (каретки) в минуту и наоборот по отношению к более мягким материалам и простым по форме деталям.

3. Электрохимическая обработка

Электрохимическая обработка основана на законе электролиза и явлении поляризации, сопровождающей процесс электролиза. При повышении плотности тока увеличивается поляризация анода. В результате на аноде образуется хрупкая пленка, и он перестает растворяться.

Анодом является обрабатываемая заготовка, а катодом - инструмент. Для продолжения процесса электролиза электрохимическое анодное растворение металла - хрупкая плёнка - удаляется различными методами. Пленка удаляется с выступов обрабатываемой заготовки, и после этого на них вновь образуется пленка, в то же время во впадинах она сохраняется. В результате выступающие неровности постепенно понижаются, и обрабатываемая поверхность становится менее шероховатой.

В зависимости от метода удаления хрупкой пленки с анода (заготовки) применяют электрохимикомеханический или электрохимический методы обработки [4].

Пленку с анода при электрохимикомеханическом методе удаляют:

- 1) токопроводящим абразивным кругом - электроабразивная обработка;
- 2) токопроводящим алмазным или эльборовым кругом - электроабразивная обработка;
- 3) токопроводящим алмазным кругом с наложением ультразвуковых колебаний;
- 4) токонепроводящими вставками из дерева, пластмассы, полотна с абразивными, эльборовыми или алмазными зёрнами, вмонтированными в доводочную стальную головку;
- 5) металлической щеткой, скребком, резцом, фрезой и т.п.

При электрохимическом методе анодная плёнка с вершин неровностей обрабатываемой поверхности удаляется силами электрического поля.

Электрохимическую обработку применяют для отделки поверхностей жаропрочных и твердых сплавов, закаленных сталей и других труднообрабатываемых материалов. При

этом, по сравнению с обычными методами обработки материалов резанием, значительно увеличивается производительность труда, улучшаются качество обработанных поверхностей и точность размеров и форм обрабатываемых заготовок.

Большое значение для электрохимической обработки имеет подбор электролита, который должен обеспечить высокую скорость анодного растворения, быть антикоррозийным, не токсичным, дешевым и универсальным.

Рекомендуемые составы электролитов приведены в табл. 16.

Таблица 16

| Водные растворы в составе | Обрабатываемый материал |
|---|--|
| 9,6% NaNO ₃ ; 0,3 % NaNO ₂ ; BK15, 0,1% NaHCO ₃ ; 3,0 % Na ₃ PO ₄ ; | BK20, TT7K12 |
| 5-10%NaNO ₃ ;1%NaNO ₂ 0,1-0,3%Cu(NO ₃) ₂ ; | BK8, T5K10, T15K6 |
| 1,5%CuSO ₄ | Все марки твёрдого сплава |
| 1,5%Na ₂ BO ₂ *10H ₂ O | 12X18H9T,12X18H9,CT.45 |
| 15%NaCl;10%KNO ₃ | 12X18H9T, X15H5D2T,Л-62,ЛС59-1 |
| 5%KNO ₃ ;5%NaCl;1%KNO ₃ | Заточка резцов с пластинками из твёрдого сплава и стальными державками |
| 10%NaNO ₃ ;0,3%NaNO ₂ ; | Инструментальные углеродистые и легированные стали |

Электролит необходимо очищать от шлама и других элементов методом осаждения (в поле гравитации и магнитном поле), фильтрацией, другими способами.

Большое влияние на производительность электрохимической обработки оказывают электрические параметры процесса.

Напряжение принимается от 6 до 14 В в зависимости от обрабатываемого материала, характеристики режущего инструмента, механических режимов процесса. Снижение напряжения уменьшает производительность, превышение приводит к электроискровому процессу и ухудшению качества обработанной поверхности. Плотность тока зависит от многих факторов (удельной электропроводности, характеристики режущего инструмента, механических режимов процесса и т.д.) и находится в пределах от 30 до 300 А/см². При малых плотностях тока выше качество, но ниже производительность, а при больших - наоборот.

В зависимости от характеристики режущего инструмента устанавливается сопротивление межэлектродного зазора. Так, увеличение зернистости режущего инструмента ведет к повышению сопротивления в зазоре и уменьшает электрохимическое растворение поверхностного слоя, снижает производительность процесса при обработке материалов большой твердости. При обработке менее твердых материалов применяются режущие инструменты с большими размерами зерен.

Силу тока, проходящего через межэлектродный зазор, можно определить по формуле

$$I = U \cdot F \cdot H \cdot A / \Delta,$$

где – U напряжение тока в цепи В; F – площадь анода, мм²;

H – удельная электропроводность электролита, Ом⁻¹·мм (в зависимости от состава электролитов и их концентрации принимается от 0,0021 до 0,3120) [2, табл.4.1, с. 259]; Δ – межэлектродный зазор, см (расстояние от связки круга до обрабатываемой поверхности [2]).

По данным различных исследователей рекомендуемые характеристики шлифовальных кругов и режимы шлифования при электроабразивном и электроалмазном процессах [2] приведены в табл. 17.

Таблица 17

| Метод электрохимического шлифования | Характеристика абразивных кругов | | | Режимы электрохимической обработки | | | |
|---|----------------------------------|-------------|-----------------|------------------------------------|---|--------------------|---------------|
| | Зернистость | Связка | Концентрация, % | Скорость круга, м/с | Вертикальная или поперечная подача, мм/д в.х. | Сила резания, Р кг | Напряжение, В |
| Заточка твёрдосплавных режущих инструментов | 88/63 100/80 | M013 MB1 | 100 | 20...25 | 0,1...0,5 | 0,2...3 | 6...8 |
| Плоское шлифование торцем круга | 80/60 | M15 | 100 | 20 | - | 1...5 | 8 |
| Плоское шлифование периферией круга | 125/100 | MB1 | 100 | 10...30 | 0,1...0,3 | - | 10 |
| Круглое шлифование наружное | 100/80 | M013 | 100 | 25...30 | 0,1...0,5 | - | 6 |
| Круглое шлифование внутреннее | - | - | 150 | 10...25 | 0,1...0,05 | - | 8 |
| Электроалмазное хонингование | 100/80 | MC1 | 150 | 1,6...1,2 | - | 5...12 | 6...12 |
| Электроалмазная отрезка и прорезка | 63/50 | M1 | 100 | 15...20 | 0,05 | - | 4...6 |

При круглом шлифовании скорость вращения детали $v_8 = 10...15$ м/мин.

Производительность электроалмазного и электроабразивного шлифования твердых и магнитных сплавов равна $68...600$ мм³/мин [2].

Более подробные сведения по электрохимической обработке даны в технической литературе [2,9,10 и др]. При электрохимической обработке используются как специальные станки, выпускаемые нашей промышленностью, так и модернизированные станки общего

назначения [2,4,5 и др]. В качестве отделочных операций (подготовка поверхностей под гальванические и лакокрасочные покрытия, декоративное и технологическое шлифование, полирование и отделку поверхностей) применяют виброабразивную и магнитно-абразивную обработку и ленточное шлифование [2].

4. Отделочная обработка металлов давлением

Обработка давлением заключается в пластическом деформировании поверхностного слоя. При этом появляются наклеп и остаточные сжимающие напряжения, уменьшается шероховатость обработанной поверхности до $R_a = 0,63...0,04$ мкм, повышается точность до 5-8-го квалитетов,увеличивается прочность и прежде всего - усталостная износостойкость, коррозионная стойкость. Применяется большое разнообразие методов отделочно-упрочняющей обработки. На предприятиях железнодорожного транспорта находят применение накатка роликами и шариками и др. Одним роликом (для жестких деталей), двумя или тремя роликами (для деталей малой жесткости) производят накатку наружных поверхностей, галтелей (шеек осей подвижного состава и валов), радиусных канавок (валов, поршней), плоских поверхностей (деталей со сварными швами, клиньев, направляющих и т.д.), раскатывание цилиндрических, конусных и фасонных отверстий (отверстий цилиндров, маховиков,шестерен, гильз и др.). Шариковыми накатками обрабатывают торцовые поверхности вращения различных корпусных деталей, плоскости (ползуны, направляющие станков), наружные цилиндрические, конусные и криволинейные поверхности (валы, оси, коленчатые валы, цапфы и т.д.), радиусные канавки и галтели цилиндрических поверхностей (валы, оси, цапфы), цилиндрические, конические и фасонные отверстия, радиусные канавки в отверстиях (гидравлические и пневматические цилиндры, гильзы двигателей внутреннего сгорания). При этом достигаются 7-8-й квалитеты точности и шероховатость $R_a = 0,63...0,16$ мкм.

При накатке применяются разные по форме рабочего профиля ролики. Рабочий профиль всех накатных роликов отделяется до малой шероховатости $R_a = 0,08...0,04$ мкм. Для обкатки поверхностей применяются чаще всего однороликовые обкатки и шариковые с диаметром шариков от 1,6 до 40 мм от стандартных подшипников качения, в зависимости от радиусов галтелей.При обработке отверстий диаметром от 20 мм и больше применяются преимущественно двух-, трехшариковые раскатки.

К элементам режима резания при накатывании роликом или шариком относятся: усилие накатывания (давление на ролик или шарик),подача, скорость накатывания, число проходов, смазка.

Усилие накатывания в зависимости от схем деформирования поверхности определяется по формулам.

Ориентировочно рабочее напряжение накатывания при обработке деталей из стали средней твердости можно определить по формуле

$$\sigma_p = (50 + D^2/6), \text{ кг/мм}^2,$$

где D - диаметр обрабатываемой поверхности, мм, равный диаметру накатного ролика.

Из опыта передовых станочников железнодорожного транспорта усилие накатывания при обработке шеек вагонных осей принимается $24...25$ кг/мм². Подача ролика при накатывании применяется не более $0,5...0,6$ мм/об, а шарика $0,1...0,2$ мм/об.

Применяют скорости накатывания до 200 м/мин, а на железнодорожном транспорте – 50...20 м/мин (частота вращения колесной пары 138...300 об/мин). Чтобы не вызывать перенаклепа накатываемой поверхности (шелушения), обработку производят в большинстве случаев за один проход и очень редко - за два. При обработке галтелей валов, нежестких валов, тонкостенных труб накатывание может производиться за несколько проходов. Для увеличения стойкости накатных роликов, улучшения качества обработанной поверхности, снижения мощности применяют смазку (трансформаторное масло с олеиновой кислотой, индустриальное масло и т.п.). При отделочной обработке металлов давлением применяют дорнование отверстий, обработку наружных и внутренних поверхностей центробежными (ротационными) шариковыми упрочнителями, дробеструйной обработкой, обработкой вращающимися щетками, накатыванием резьб, шлицев, зубьев.

5. Отделочная обработка поверхностей выглаживающим инструментом

В металлообработке получает все большее распространение процесс отделочно-упрочняющей обработки с помощью кристаллов алмаза или других сверхтвердых материалов [2,6,7]. При этом производится пластическое деформирование обрабатываемой поверхности на глубину 0,20...0,30 мм.

Выглаживающий инструмент, имеющий рабочую часть в виде выпуклой криволинейной поверхности (цилиндрической, сферической, конусной, тороидальной) скользит по обрабатываемой поверхности и снимает неровности, уменьшая шероховатость поверхности и упрочняя поверхностный слой металла.

При отделочно-упрочняющей обработке значительно уменьшается шероховатость поверхности (для незакаленной стали с $R_{\alpha} = 2,5$ мкм до $R_{\alpha} = 0,32$ мкм, а закаленной – с $R_{\alpha} = 0,32$ мкм до $R_{\alpha} = 0,08$ мкм, а для некоторых сталей до $R_{\alpha} = 0,04$ мкм), изменяется микроструктура (зерна дробятся и вытягиваются в направлении деформации), упрочняется на 20-35 % поверхностный слой (микротвердость для закаленной подшипниковой стали достигает 1300 кг/мм²), возникают в поверхностном слое, как правило, сжимающие остаточные напряжения до 140 кг/мм².

В качестве выглаживающего инструмента применяют натуральные, синтетические алмазы (баллас, карбонадо), синтетический корунд (рубин, лейкосапфир), минералокерамику и твердые сплавы (Т15К6, Т3ОК4). Возможно применение также кубического нитрида бора (эльбор-Р, гексанит-Р, исмит).

Наибольшую износостойкость при выглаживании имеет инструмент из натуральных алмазов. Так, при работе по закаленной стали 45 (HRC 45...50) стойкость природного алмаза составляет 25... 30 часов основного технологического времени.

В результате выглаживания уменьшается шероховатость, упрочняется поверхностный слой, повышаются износостойкость, контактная выносливость, усталостная прочность и долговечность обработанной детали по сравнению с другими методами обработки.

Точность размеров деталей при выглаживании с упругим закреплением инструмента не изменяется, и ее обеспечивают согласно чертежу на предыдущей операции, а при выглаживании с жестким закреплением инструмента точность геометрической формы несколько улучшается. Исправление некруглости и непрямолинейности происходит при

выглаживании частично (примерно на 50 %), а овальности и конусности только на 15-25% [1].

Перед отделочно-упрочняющей обработкой производят чистовое или тонкое точение, чистовое или тонкое шлифование, развертывание, хонингование и другие методы обработки, которые обеспечивают требуемую шероховатость и точность размеров и формы. При износе рабочей поверхности выглаживающего алмазного инструмента образуется площадка износа, на которой наблюдаются риски или отдельные сколы и микровыглаживания. Критерием затупления алмазного инструмента является шероховатость обработанной поверхности.

Стойкость алмазного инструмента может быть увеличена в десятки раз, если в процессе выглаживания вращать его вокруг оси державки. Кроме того, можно значительно увеличить стойкость инструмента за счет применения смазочно-охлаждающей жидкости (масла индустриального при обработке сталей и керосина - цветных металлов и их сплавов).

Как и наружные, внутренние поверхности выглаживаются на универсальных сверлильных и расточных станках.

Большое значение для работы выглаживающего инструмента имеет радиус его рабочей поверхности. Чтобы получить определенное удельное давление в зоне деформации, необходимо для более твёрдого обрабатываемого материала принимать меньший радиус рабочей поверхности выглаживающего инструмента, а для более мягкого – больший. Для практического применения рекомендуются следующие радиусы рабочей поверхности выглаживающего инструмента в зависимости от обрабатываемого материала и его твердости [6]:

| Обрабатываемый материал | Радиус инструмента, мм |
|------------------------------------|------------------------|
| Закаленные стали HRC 60...64 | 1,0...1,5 |
| Закаленные стали HRC 35...60 | 1,5...2,5 |
| Конструкционные стали незакаленные | 2,0...3,5 |
| Цветные металлы и сплавы | 3,0...4,0 |

Для получения поверхности требуемого чертежом качества выбирают подачи в пределах 0,02...0,08 мм/об в зависимости от обрабатываемого материала и его твердости (табл.1.20).С уменьшением величины подачи улучшается качество обработанной поверхности, а при увеличении - ухудшается. Чаще всего выглаживание производят за один проход. Но нужно учитывать, что очень малые подачи (менее 0,01 мм/об) и большое число проходов могут ухудшить качество поверхности вследствие ее перенаклепа. Скорость обработки при выглаживании можно изменять в значительных пределах 25...185 м/мин и даже больше. При увеличении скорости выглаживания более 300...350 м/мин на поверхности появляются цвета побежалости, что говорит о высоких контактных температурах. При этом в поверхностном слое возникают растягивающие напряжения и структурные превращения. Поэтому при назначении скорости обработки необходимо сделать проверочный температурный расчет по формуле Резникова А.Н., Бараца Я.И.[7].

Режимы отделочно -упрочняющей обработки при выглаживании поверхности алмазным инструментом приведены в табл. 18

| Марка обрабатываемого материала | Твёрдость обрабатываемого материала | Радиус участка площади контакта R0, мм | Высота шероховатости Ra, мкм | | Режимы обработки | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | | Исходная | После обработки | Радиальная сила Ру, кг | Подача S, мм/об | Скорость обработки V, м/мин |
| | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 15X | HRC 58...64 | 1,2 | 0,32 | 0,08 | 16...18 | 0,05 | 90 |
| 20(центровая) | Незакалённая | 2...5 | 2,5 | 0,16...0,32 | 10...15 | 0,05 | 80...150 |
| | Закалённая HRC50 | 3 | 0,63...1,25 | 0,16...0,32 | 15 | 0,07 | 140 |
| 40X | HRC35 HRC48 HRC58 | 1 | 1,25 1,25 0,63 | 0,32 | 10 | 0,05 | 100 |
| 30 | HB17 | 1,2...2 | 2,5 | 0,16...0,32 | 12...15 | 0,05 | 30...90 |
| 45 | HB190 | 1,4 | 1,25 | 0,08 | 14 | 0,02 | 25...185 |
| | HRC35 | 2,5 | 1,25 | 0,16 | 10...15 | 0,05 | 80...150 |
| | HRC40 | 2 | 2,5 | 0,08 | 20 | 0,05 | 80...150 |
| | HRC45 | 1,4 | 0,32 | 0,08 | 15 | 0,04 | 25...185 |
| | HRC61 | 1,2 | 1,25 | 0,16 | 14 | 0,02 | 25...185 |
| 40X13 | HRC45 | 1,4 | 1,25 | 0,08 | 14 | 0,08 | 25...185 |
| ШХ15 | HRC60..62 | 1,2 | 1,25 | 0,32 | 15 | 0,04 | 100...120 |
| P18 | HRC60..64 | 1,2 | 0,63 | 0,16 | 14 | 0,04 | 100...120 |
| 12X18M8T | HRC200 | 1,2 | 1,25 | 0,32 | 13 | 0,02 | 100...120 |
| X18H2AT | HB230 | 1,2...2 | 1,25 | 0,16 | 18...23 | 0,05 | 30...90 |
| 12XH3A | HRC61 | 1,5 | 0,63 | 0,16 | 15 | 0,04 | 100...120 |
| 18XГТ | HRC62 | 1,5 | 0,63 | 0,16 | 15 | 0,04 | 100...120 |
| 38XM10A | HB210 | 1,2...2 | 1,25 | 0,16 | 12...20 | 0,05 | 30...90 |
| | HRC65..66 | 2 | 0,16 | 0,04 | 20 | 0,02 | 94 |
| 30XГСА | HRC30..35 | 2 | 0,63 | 0,16 | 6 | 0,06 | 72 |
| 50XФА | HRC37..44 | 1,2 | 0,63 | 0,04 | 7 | 0,05 | 38 |
| СЧ21-40 | HB220 | 1,5..2,5 | 1,25 | 0,32 | 15 | 0,07 | 100 |
| ЛС59-1 | HB168 | 1,5 | 2,5 | 0,32 | 10 | 0,05 | 200 |
| БрАЖ-9-4 | HB238 | 1,5 | 2,5 | 0,32 | 11 | 0,05 | 200 |

6. Расчет времени обработки при отделочных операциях .

Время обработки при отделочных операциях приводится для единичного и мелкосерийного производства, т.е. применительно к предприятиям железнодорожного транспорта[9].

Штучное время включает сумму времени: на установку и снятие детали- $T_{уст}$, и неполное штучное время на обработку поверхностей (одной или нескольких) - $T_{н.шт}$.

$T_{шт} = T_{уст} + T_{н.шт1} + T_{н.шт2} + \dots + T_{н.штn}$, мин, при установке на станке одной детали, где $T_{н.шт1}$, $T_{н.шт2}$ и т.д. - соответственно для различных поверхностей одной детали, и $T_{шт} = (T_{уст} + T_{н.шт1} + T_{н.шт2} + \dots + T_{н.штn}) \cdot n_{\partial}$ мин, при установке на станке одновременно нескольких обрабатываемых деталей - n_{∂} (при лаппинговании и др.).

Время на установку и снятие детали (деталей) принимается в зависимости от типа станка с учетом способа установки и выверки по табл. [9].

Неполное штучное время на обработку поверхности (поверхностей) зависит от группы обрабатываемости материалов, состоит из основного технологического времени – T_o , вспомогательного времени, связанного с переходами - $T_{всп}$, времени на обслуживание рабочего места, личных надобностей и отдыха станочника – $T_{обсл}$.

$T_{н.шт} = T_o + T_{всп} + T_{обсл}$, мин принимается по табл. из [9].

Основное технологическое время определяется по нормативам на режимы резания при отделочных операциях с учетом размеров детали, припуска на обработку, точности и шероховатости обработанной поверхности для условий единичного и мелкосерийного производства.

Время обработки заготовок при тонком точении, тонком строгании, тонком фрезеровании, отделочном развертывании, полировании, отделочно-упрочнящей обработке кристаллами алмаза определяются из [1], при отделочном протягивании из [9].

Штучно-калькуляционное время определяется на операцию по формуле

$$T_{шк} = T_{шт} + T_{пз} / n_{\partial}, \text{ мин,}$$

где n_{∂} – количество деталей в партии.

В подготовительно-заключительное время включается время на получение и сдачу работы, чертежей, инструмента и приспособлений, на ознакомление с чертежом (включая инструктаж по работе), на наладку и настройку станка для выполнения данной работы [9].

Подготовительно-заключительное время зависит от сложности работы, наладки и настройки и принимается на партию деталей, независимо от их количества в партии. Поэтому чем больше деталей в партии, тем меньше величина штучно-калькуляционного времени и тем выше производительность труда.

Библиографический список

1. Шишкин А.А. Механическая обработка деталей подвижного состава, строительных, дорожных и путевых машин. Ч. I . Скоростные методы резания: Уч. пособие. - Ростов - на - Дону: РИИЖГ, 1976.
2. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник /Под ред. А.Н. Резникова. - М.: Машиностроение, 1977.
3. Справочная книга по отделочным операциям в машиностроении. - Л.: Лениздат, 1966.
4. Электрическое шлифование инструментальных сталей. - Информ. листок Сев.-Кав. ЦНТИ, № 466-74.
5. Шишкин Д.А. Электрофизические и электрохимические способы обработки материалов: Лекция. - Ростов н/Д: РИИЖТ, 1972.
6. Гурин Ф.В., Силянский В.М. Шероховатость и отклонение формы при алмазном выглаживании инструментом. - В кн.: Размерно-чистовая и упрочняющая обработка поверхностным деформированием.- Минск: АН БССР, 1968.
7. Резников Д.Н., Барац Я.И. Применение алмазного выглаживания для отделочно-упрочняющей обработки. - Вестник машиностроения, 1970, № I.
8. Общемашиностроительные нормативы времени для технического нормирования работ на шлифовальных и доводочных станках (укрупненные). Серийное, мелкосерийное и единичное производство. - Машиностроение, 1974.
9. Хачкинов Д.М, Шишкин А.А., Шпика Н.К. Механическая обработка деталей подвижного состава, строительных, дорожных и путевых машин. Ч. II. Резание быстрорежущими инструментами: Уч. Пособие.-Ростов- на - Дону: РИИЖТ, 1980.
10. Абразивные материалы и инструменты: Каталог-справочник. -М.: НИИМАШ, 1976.
11. Материаловедение и технология металлов. Под ред. Г.П. Фетисов. – М.: Высш.шк., 2001. – 638 с.
12. Колесов И. М. Основы технологии машиностроения. - М.: Высш.шк., 1999. - 591 с.