Лекція 12. Чистові, оздоблюючи та контрольні засоби розмірної обробки. Технологічні особливості та засоби шліфування деталей літака та вертольоту. Види круглого шліфування. Технологічні особливості оздоблюючих засобів обробки деталей на прикладі хонінгування та суперфінішу.

Абразивні методи оброблення, що базуються на використанні абразивних інструментів, широко використовуються в авіаційній технології. Сфера їх застосування значна: у ливарних, зварювальних і заготівельних цехах – відрізання ливників, очищення відливків, зачищення зварних швів, розрізання високоміцних матеріалів; у механічних цехах – заточування лезових різальних інструментів, шліфування, хонінгування, суперфінішування, полірування.

Існують спеціальні методи абразивного оброблення – рідинно-абразивний, віброабразивний.

Абразиви – дрібнозернисті матеріали у вигляді монокристалів, полікристалів або їх осколків з гострими гранями, що мають високу твердість і здатні різати. Абразивні інструменти бувають із зв'язаними зернами (шліфувальні круги, головки, бруски, сегменти, стрічки) та у вигляді вільних зерен (пасти, суспензії, порошки).

12.1. Шліфування й абразивний інструмент

Шліфування є одним із продуктивних методів чистового й довідного оброблення різних поверхонь. Особливістю шліфування є одночасне мікрорізання декількома зернами, кожне з яких має декілька різальних лез. Радіус скруглення різальних кромок абразивних інструментів на відміну від лезових близький до нуля.

Абразивні інструменти характеризуються видом матеріалу, формою й розміром зерен, видом зв'язки, твердістю і структурою (рис. 8.1).

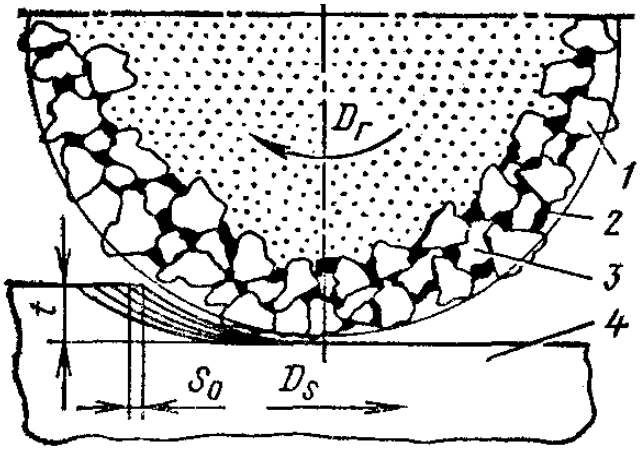


Рис. 8.1. Конструкція шліфувального круга й схема зрізання припуску: 1 – зерна; 2 – зв'язка; 3 – пори; 4 – заготовка

Абразивні матеріали. Абразивні матеріали поділяють на штучні (синтетичні) і природні. Для виготовлення абразивних інструментів

використовують переважно штучні абразивні матеріали: електрокорунд, карбіди кремнію і бору, синтетичні алмази, кубічний нітрид бору.

Понад 70 % абразивних інструментів виготовляють з *електрокорунду*, який отримують шляхом плавлення глинозему в електричних печах. Основна складова електрокорунду – кристалічний оксид алюмінію. Залежно від його вмісту й домішок електрокорунд має різні колір, структуру й властивості. Існують декілька різновидів електрокорунду: нормальний – марок від 12А до 16А; білий – марок від 22А до 25А, хромистий – марок від 32А до 34А; титанистий – марки 37А. Зерна монокорунду – марок від 43А до 45А – є окремими кристалами з великою кількістю різальних граней. Міцніші зерна хромистого й титанистого електрокорунду, а також монокорунду мають високі різальні властивості й застосовуються для шліфування виробів з високоміцних сплавів.

Карбід кремнію – хімічна сполука кремнію з вуглецем, яку отримують плавленням кварцового піску й коксу. Зерна карбіду кремнію мають вищу твердість, ніж зерна електрокорунду. Застосовуються два різновиди карбіду кремнію: чорний і зелений. Недоліками карбіду кремнію є висока крихкість і низька міцність. Для оброблення заготовок із сталей карбід кремнію непридатний, його застосовують для абразивного оброблення деталей з чавуну, бронзи, титанових і тугоплавких сплавів, для заточування твердосплавних інструментів.

Карбід бору – хімічна сполука бору з вуглецем, яку отримують плавленням борного ангідриду з нафтовим коксом. Карбід бору має високі твердість й крихкість і застосовується у вигляді порошку для довідних процесів і під час ультразвукового оброблення крихкого матеріалу.

Синтетичні алмази отримують у вигляді дрібних кристалів розміром зазвичай не більше 1 мм. Синтез алмазів відбувається під впливом на графіт високих тисків і температур. Синтетичні алмази залежно від міцності поділяють на п'ять марок: звичайної міцності – АС2, підвищеної міцності – АС4, високої міцності – АС6, монокристальні – АС15 і АС20.

Кубічний нітрид бору (КНБ), або ельбор, – абразивний матеріал, твердість якого близька до твердості алмазу, а теплостійкість удвічі вища – до 1600 °С. Ельбор буває звичайної (ЛЗ) і підвищеної (ЛП) міцності. Ельбор, як і алмаз, має виключно високі абразивні властивості й за зносостійкістю набагато перевищує всі відомі абразивні матеріали.

Зернистість абразивів. Абразивні матеріали за розміром зерен поділяються на чотири групи: шліфзерна – номери від 200 до 16 (мають зерна основної фракції розміром 2000...160 мкм); шліфпорошки – номери від 12 до 3 (зерна розміром 125...28 мкм); мікропорошки – від М63 до М14 (зерна розміром 63...10 мкм); тонкі мікропорошки – від М10 до М1 (зерна розміром менше 10 мкм). Зернистість алмазів та ельбору позначають дробом, у чисельнику якого наводять найбільший, розмір зерна основної фракції в мікрометрах, а в знаменнику – найменший.

Алмазні абризиви поділяють на дві групи: шліфпорошки – від 630/500 до 50/40, мікропорошки – від 60/40 до 1/0. Порошки ельбору

залежно від розміру зерен, методів їх контролю й отримання поділяють на три групи: шліфзерна зернистістю від ЛЗ 315/250 до ЛЗ 200/160, шліфпорошки – від ЛЗ 160/125 до ЛО 50/40, мікропорошки – від ЛМ 40/28 до ЛМ 5/3.

Зв'язувальні речовини (зв'язки). Зв'язка значно впливає на ефективність роботи абразивних зерен. Застосовують зв'язки трьох типів: неорганічні, органічні й металеві.

Неорганічні зв'язки – керамічна, магнезіальна, силікатна. Найбільш поширеною є керамічна зв'язка, яка складається з вогнетривкої глини, польового шпату, тальку. З неї виготовляють близько 60 % усіх абразивних інструментів. Ці інструменти теплостійкі, міцні, стійкі до хімічної дії і до дії вологи.

Органічні зв'язки – бакелітова (Б), гліфталева (Г) і вулканітова (В). Бакелітову зв'язку виготовляють із фенолформальдегідної смоли. Шліфувальні інструменти на такій зв'язці міцні, еластичні й можуть працювати на великих колових швидкостях, проте їхня хімічна й теплова стійкість невисока.

Круги на гліфталевій зв'язці мають підвищену пружність, їх застосовують для чистових операцій. Вулканітова зв'язка має високу міцність та еластичність, її використовують для виготовлення тонких відрізних кругів.

Металеві зв'язки МІ і МК, які складаються з металевої основи (порошків міді, олова, алюмінію) і наповнювача, застосовуються в алмазних кругах. Ці зв'язки забезпечують високу продуктивність та ефективне використання алмазних кругів.

Структура абразивного інструменту характеризується процентним вмістом абразивних зерен і визначається співвідношенням об'ємів шліфувального матеріалу, зв'язки й пор у ньому.

Розрізняють чотири групи абразивних інструментів за структурою: щільної структури – номери від 0 до 3, середньощільної – від 4 до 6, відкритої – від 7 до 12, високопористої – від 13 до 18. Нульова структура має найбільший об'єм зерен. Вибір інструменту за структурою залежить від його призначення, властивостей оброблюваного матеріалу та інших умов оброблення. Найчастіше застосовуються інструменти середньощільної структури.

Твердість є важливою характеристикою абразивних інструментів. Під твердістю абразивного інструменту розуміють здатність зв'язки чинити опір проникненню в неї іншого тіла. Установлено сім класів твердості, які наведено в табл. 8.1. Вибираючи абразивний інструмент за твердістю, враховують фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу й вимоги до точності обробки та якості поверхні.

Таблиця 8.1

Класи твердості абразивних інструментів

Клас твердості	Позначення	Ступінь твердості

М'який	М	Ml, М2, М3
Середньом'який	СМ	СМ1, СМ2
Середній	С	С1, С2
Середньотвердий	СТ	СТ1, СТ2, СТ3
Твердий	Т	Т1, Т2
Дуже твердий	ДТ	ВТ1, ВТ2
Надзвичайно твердий	НТ	НТ1, НТ2

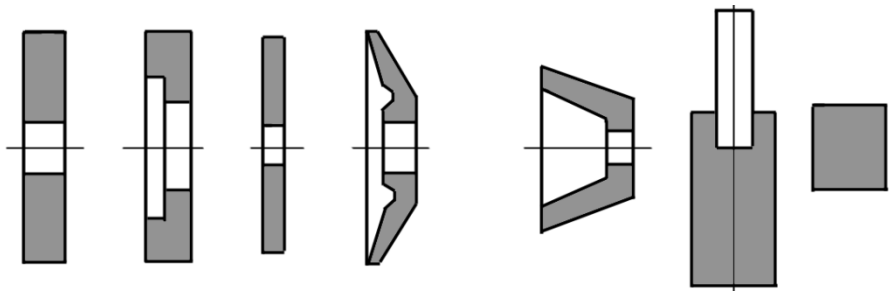
Класи точності й незрівноваженості кругів. Під час виготовлення абразивних інструментів неминучими є відхилення різних параметрів: розмірів, форми, розташування поверхонь тощо.

Залежно від цих відхилень установлено три класи точності абразивних інструментів: АА, А, Б.

Для абразивних кругів передбачено чотири класи незрівноваженості: 1, 2, 3, 4-й. У маркуванні інструменту клас незрівноваженості круга вказують після класу точності.

Типаж абразивних інструментів. Цілісні й збірні інструменти, що застосовуються для абразивного оброблення, залежно від форми поділяють на шліфувальні круги плоскі прямого профілю (ПП) і з виточкою (ПВ), диски (Д), тарілки (Т), чашки конічні (ЧК), головки циліндричні (ГЦ), бруски хонінгувальні (БХ), форми яких зображено на рис. 8.2, та абразивні стрічки.

Наведемо конкретний приклад маркування шліфувального круга: *ПП 500х60х305 34А 40 СТ2 6 К5 35 м/с А 1 кл.* Тут указано тип круга (ПП) і його розмір (500х60х305), марку абразивного матеріалу (34А), зернистість та індекс зернистості (40), твердість (СТ2), структуру (6), вид зв'язки (К5), допустиму колову швидкість (35 м/с), клас точності (А), клас незрівноваженості (1 кл).



а б в г д е ж

Рис. 8.2. Форми абразивних інструментів: а – ПП; б – ПВ; в – Д; г – Т; д – ЧК; е – ГЦ; ж – БХ

Маркування алмазних та ельборових кругів відрізняється від маркування абразивних. Після позначення геометричних розмірів круга йде його характеристика, наприклад *АС4 100/80 150 М15*, де АС4 – матеріал

зерен (алмаз синтетичний); 100/80 – інтервал зернистості, мкм; 150 – умовна концентрація алмазів; М15 – матеріал зв'язки (М – металева).

12.2. Види шліфування

У разі *обдирного* шліфування економічна точність оброблення відповідає 6 – 9-му квалітетам, шорсткість R_a = 1,2...2,5 мкм.

Чистове шліфування забезпечує економічну точність за 5 – 6-м квалітетом і шорсткість R_a = 0,2...1,2 мкм.

Залежно від виду оброблюваної поверхні (зовнішня або внутрішня) та її форми розрізняють кінематичні схеми шліфування – оброблення тіл обертання, плоских, нарізних, зубчастих, шліцьових і фасонних поверхонь.

Головний рух під час шліфування – обертання шліфувального круга з коловою швидкістю v_k, м/с:

$$v_k = \frac{\pi D_k n_k}{6 \cdot 10^4}. \qquad (8.1)$$

За технологічними умовами розрізняють такі види шліфування: звичайне ($v_k \le 35$ м/с), швидкісне (v_k = 40 ... 55 м/с), високошвидкісне ($v_k \ge$ 60 м/с).

Безперервність процесу різання й багатоходове оброблення під час шліфування забезпечують головний рух різання, зумовлений обертанням круга, і рух подачі.

Існує три види подач у процесі шліфування:

1. Подача в тангенціальному напрямі відносно обводу круга. У разі круглого шліфування цей вид подачі визначається коловою швидкістю обертання деталі $v_д$, м/хв.

2. Подача в напрямі, що збігається з віссю обертання шліфувального круга. При круглому шліфуванні цю подачу називають поздовжньою $S_{пз}$ і вимірюють у частках від ширини B шліфувального круга на один оберт деталі, мм/об.

3. Подача в напрямі, перпендикулярному до оброблюваної поверхні. Її називають поперечною $S_{пп}$ (S_t) і задають величиною переміщення за один хід круга (мм/хід) або подвійний хід стола (мм/подв. хід). Для круглого шліфування за відсутності поздовжньої подачі цю подачу задають на один оберт деталі (мм/об).

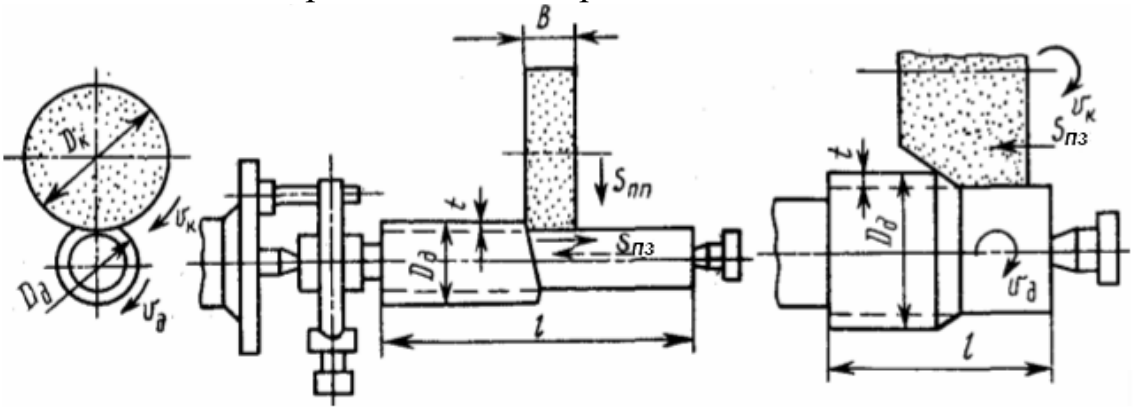
Основні види шліфування абразивними кругами: зовнішнє й внутрішнє кругле; безцентрове; плоске. Спеціальні види шліфування: зубошліфування, різешліфування, шліцешліфування, шліфування робочих частин різальних інструментів. Шліфування в центрах застосовують для оброблення зовнішніх циліндричних, конічних і фасонних поверхонь.

Зовнішнє кругле шліфування має три різновиди:

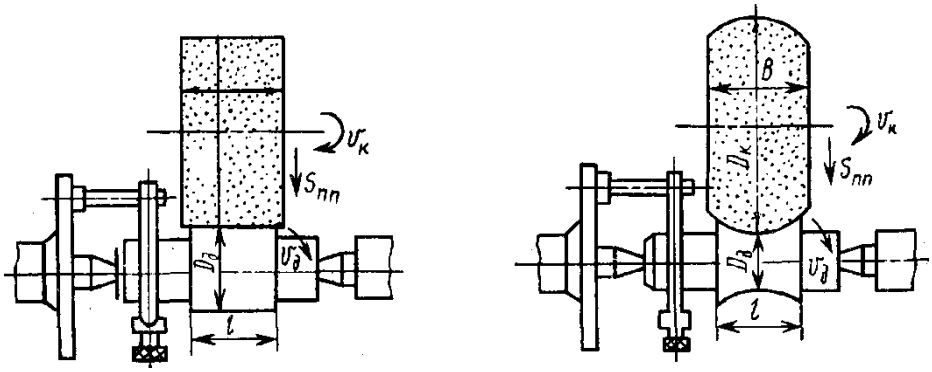
– поздовжнє (або багатоходове) плоским кругом (рис. 8.3, а, б);

– глибинне плоским кругом з конічною фаскою (рис. 8.3, в);

– врізне (рис. 8.3, г, д) плоским або фасонним кругом для деталей з прямолінійною або криволінійною твірною.



а б в



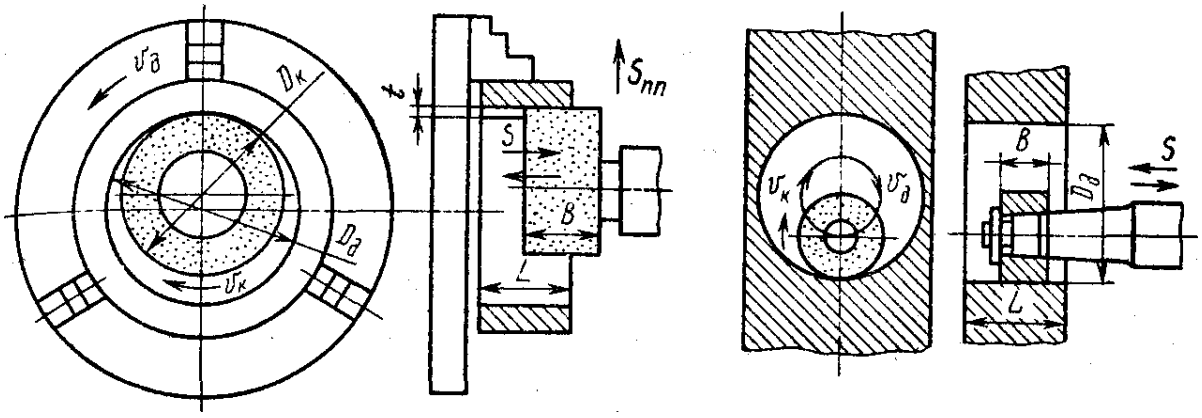
г д

Рис. 8.3. Схеми зовнішнього круглого шліфування в центрах

*Внутрішнє кругле шліфування ма*є два різновиди – патронне (рис. 8.4, а) і планетарне (рис. 8.4, б).

Внутрішнє кругле патронне шліфування застосовують для оброблення невеликих заготовок, а внутрішнє кругле планетарне – для оброблення важких і громіздких заготовок.

В обох випадках здійснюється поздовжня подача шліфувального круга вздовж осі шліфованого отвору: у першому випадку – рухом шпиндельної головки, у другому – рухом стола. Зазвичай діаметр круга в разі внутрішнього шліфування становить 0,7...0,9 від діаметра отвору заготовки. Залежно від діаметра отвору в разі попереднього шліфування глибина різання становить 0,005...0,02 мм, у разі чистового – 0,002...0,01 мм.



а б

Рис. 8.4. Схеми внутрішнього круглого шліфування

Під час *безцентрового зовнішнього шліфування* (рис. 8.5) заготовку 1 установлюють між шліфувальним 3 і ведучим 4 кругами, а знизу її підтримує підпірка (ніж) 2. Поздовжнє переміщення заготовки забезпечується таким розташуванням кругів, коли їхні осі утворюють невеликий кут ν.

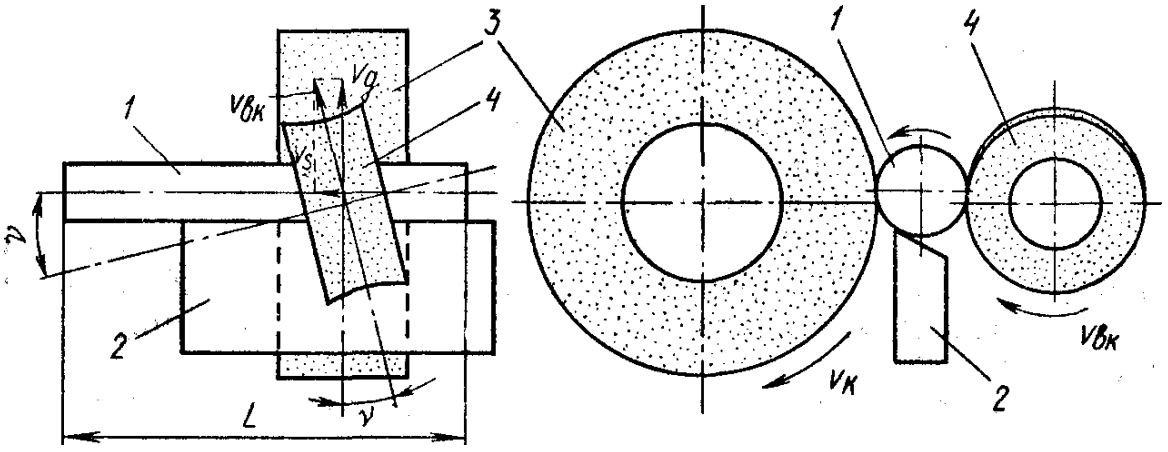
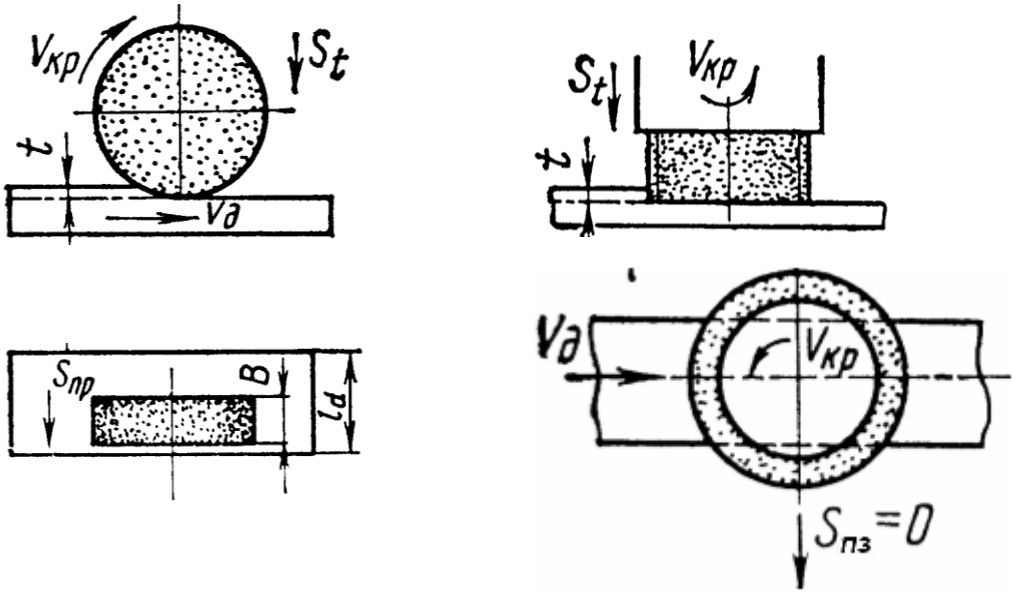


Рис. 8.5. Схема безцентрового зовнішнього шліфування

Плоске шліфування (рис. 8.6) застосовують зазвичай для обробки плоских поверхонь. Заготовки встановлюють і закріплюють найчастіше на магнітній плиті. У разі шліфування немагнітних заготовок застосовують також вакуумні столи.

Процес плоского шліфування можна здійснювати як периферією, так і торцем круга. Порівняно зі шліфуванням торцем круга шліфування його периферією має такі переваги: точніше оброблення, кращі показники якості обробленої поверхні, можливість оброблення заготовок малої твердості.

Під час плоского шліфування зворотно-поступальний рух поздовжньої подачі й переривчастий рух поперечної подачі $S_{пп}$ здійснює або заготовка, або шліфувальний круг. Рух подачі круга на глибину різання S_t відбувається в крайньому положенні стола у міру оброблення всієї площини.



а б

Рис. 8.6. Схеми плоского шліфування: а – периферією круга; б – торцем круга

Якщо заготовка вужча за круг, то вертикальний рух подачі здійснюється на кожний подвійний хід заготовки.

12.4. Методи абразивного оброблення

Методи абразивного оброблення поділяють на дві групи:

– оброблення вільним абразивом – притирання, полірування, гідроабразивне, віброабразивне й ультразвукове оброблення;

– оброблення інструментом зі зв'язаним абразивом – хонінгування, суперфінішування, притирання абразивними брусками.

Метод притирання забезпечує найвищі показники точності та якості поверхневого шару. Процес зазвичай складається з декількох переходів: попереднього, проміжного й остаточного.

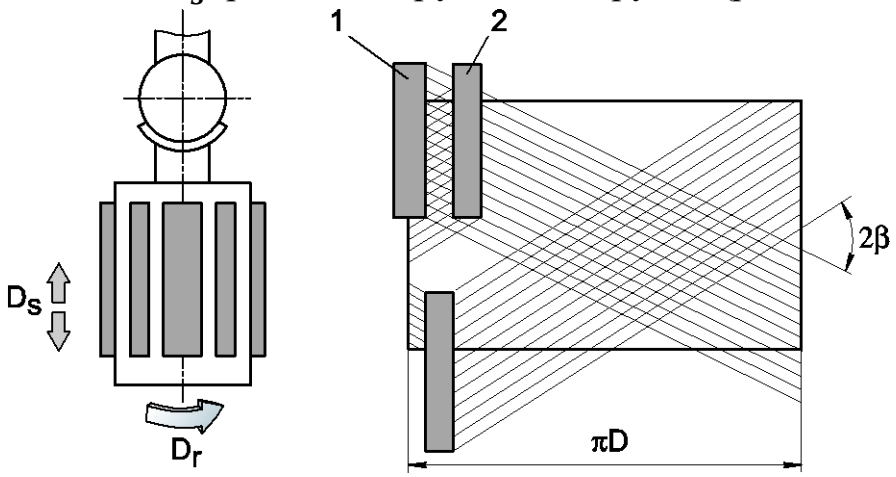
Притиральні суміші, які наносяться на диск-притир, застосовують у вигляді паст і суспензій з концентрацією абразивів (дрібних шліфпорошків і мікропорошків) від 3 до 30 %. Тиск на деталь невеликий – до 0,05 МПа. Під час відносного руху притира й деталі відбувається знімання тонкого шару матеріалу. На попередніх операціях застосовують м'які пористі притири, а на остаточних – тверді, зазвичай скляні. Щоб отримати параметр шорсткості поверхні R_a = 0,02...0,04 мкм, використовують алмазну пасту в суміші з гасом, олеїновою й стеариновою кислотами.

12.4.1. Хонінгування

Хонінгування є обробною операцією, яка дає можливість отримати високу точність отворів (до 7-го квалітету), малий параметр шорсткості поверхні (R_a = 0,3...0,08 мкм), спеціальну сітку мікропрофілю оброблюваної поверхні для утримання мастила. Хонінгування застосовують для оброблення отворів діаметрами 2...1000 мм.

Оброблення здійснюється дрібнозернистими абразивними брусками, закріпленими в хонінгувальній головці – хоні. Хонінгуванням виправляються відхилення форми, які з'являються внаслідок попереднього оброблення в межах припуску, що знімається, але відхилення розташування осі отвору хонінгуванням не виправляються, оскільки інструмент установлено шарнірно.

У процесі оброблення хону передаються рух обертання D_r, рух осьової подачі D_s, радіальний рух подачі брусків (рис. 8.11, а).



а б

Рис. 8.11. Схема процесу хонінгування:

а – хонінгувальна головка; б – сітка, нанесена брусками;

1, 2 – положення бруска на початку й наприкінці подвійного ходу; β – кут між траєкторіями руху бруска

Сукупність цих трьох рухів створює умови для різання й самозаточування.

На рис. 8.11, б показано розгортку внутрішнього циліндра поверхні заготовки. Щоб забезпечити прямолінійність осі отвору, бруски встановлюють у крайні верхнє й нижнє положення з перебігом. Сліди траєкторії оброблення мають характер сітчастого рисунка. Абразивні бруски завжди працюють із зсувом, оскільки шлях повороту утворюється за час реверсування осьового руху хонінгувальної головки. Тиск брусків на оброблювану поверхню створюється гідравлічними, пневматичними або механічними пристроями.

Розрізняють два види хонінгування: попереднє й остаточне. Для остаточного хонінгування залишають 20 – 30 % загального припуску на обробку.

Швидкість різання під час хонінгування є геометричною сумою колової швидкості хона v і швидкості його поступального руху v_n:

$$v = \sqrt{v^2 + v_n^2} = v\sqrt{1 + (tg\,\beta)^2}\,, \qquad (8.2)$$

де $\beta = arctg(v_n / v)$ – кут нахилу вектора швидкості різання.

Продуктивність хонінгування залежить від характеристик абразивних брусків і тиску на бруски. Оптимальні режими оброблення: тиск на бруски – 40...60 МПа, для сталі швидкість різання v = 45...60 м/хв, для алюмінієвих сплавів швидкість різання вдвічі більша. Слід також збільшувати швидкість шліфування зі збільшенням твердості оброблюваної заготовки.

Температура в зоні різання під час хонінгування не перевищує 150 °С і не впливає на структурні змінення оброблюваної поверхні. Хонінгування супроводжується охолодженням з великою витратою МОР (50...60 л/хв) для своєчасного видалення шламу й стружки із зони оброблення. Як МОР найбільшого поширення набула суміш гасу й веретенного мастила.

Разом з абразивними брусками з електрокорунду й карбіду кремнію значного поширення набули алмазні бруски, стійкість яких у багато разів вища. При цьому різко зростає й продуктивність хонінгування, оскільки тиск на бруски при алмазному хонінгуванні вищий – 120...250 МПа.

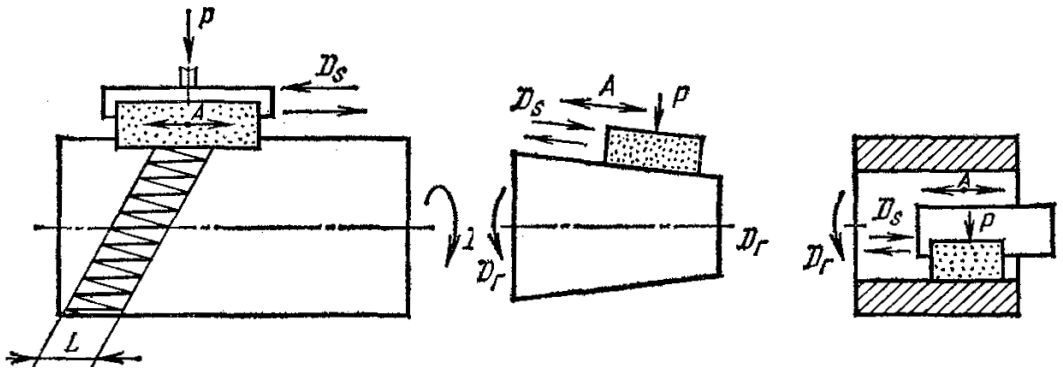
12.4.2. Суперфінішування

Суперфінішування є процесом тонкого довідного оброблення поверхні заготовки брусками з різних абразивних матеріалів.

Під час суперфінішування заготовка здійснює обертальний рух D_r, а бруски, закріплені пружно, – зворотно-поступальний рух D_s уздовж твірної оброблюваної поверхні (рис. 8.12). При цьому бруски ще й вібрують з частотою коливань до 50 Гц та амплітудою L = 2...5 мм. На державку з брусками діє тиск P = 50...300 МПа. Для видалення продуктів оброблення й отримання тонкої плівки мастила застосовують різні МОР малої в'язкості.

Кількість брусків для суперфінішування становить від одного до чотирьох залежно від діаметра оброблюваної заготовки. Бруски мають квадратний переріз, перед обробленням їм надають кривизни, що відповідає кривизні оброблюваної поверхні. Принцип вибору характеристик абразивних брусків такий самий, що й для шліфувальних кругів і брусків для хонінгування.

Для оброблення сталевих та алюмінієвих заготовок застосовують такий режим різання: швидкість обертання заготовки $v_з$ – від 30 до 45 м/хв; швидкість руху абразивних брусків уздовж твірної – до 0,5 м/хв; тиск на бруски P – 50...150 МПа; амплітуда коливань L – до 5 мм.



а б в

Рис. 8.12. Схеми суперфінішування поверхонь:
а – зовнішньої циліндричної; б – зовнішньої конічної; в – внутрішньої

Унаслідок суперфінішування знімається дуже невеликий припуск (5...10 мкм) і водночас досягається високий параметр шорсткості поверхні $\boldsymbol{R_a}$ = 0,16...0,02 мкм. У міру зрізання гребінців на поверхні настає момент, коли тиск буде недостатнім для того, щоб бруски могли подолати тонку плівку мастила, і оброблення завершується.