6 ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ

6.1 Характеристика методу фрезерування

Фрезерування - це високопродуктивний і розповсюджений у машинобудуванні метод обробки поверхонь заготовок багатолезовим різальним інструментом - фрезою.

На фрезерних верстатах обробляють горизонтальні, вертикальні та похилі поверхні, фасонні поверхні, пази різного профілю.

Технологічний метод формоутворення поверхонь фрезеруванням визначається головним обертальним рухом інструмента і, зазвичай, поступальним рухом подачі заготовки. Подачею може бути і обертальний рух заготовки навкруги осі стола, який обертається.

До режимів різання при фрезеруванні відносять швидкість різання ν, подачу s, глибину різання t *ї,* ширину фрезерування *B.*

При фрезеруванні розрізняють три розмірності подачі: 1) подача на один зуб фрези s_z , мм/зуб, - переміщення заготовки при повороті фрези на кут між двома сусідніми зубами; 2) подача на один оберт фрези s_o, мм/об; подача за хвилину $s_{хв}$, мм/хв. Вони зв'язані між собою такими залежностями:

$$s_{хв} = s_o \cdot n = s_z \cdot z \cdot n,$$

де *n* і *z* - відповідно частота обертання фрези і число зубів.

.

6.2 Типи фрез

В залежності від призначення та виду оброблюваних поверхонь розрізняють такі типи фрез: циліндричні (рис. 23, а), торцеві (рис.23, *б,* ж), дискові (рис. 23, в), кінцеві (рис. 23, г), кутові (рис.23, д), шпонкові (рис.23, е), фасонні (рис. 23, *є).*

Фрези виготовляють суцільними (рис. 23, *б - є)* або збірними зі вставними зубами - ножами (рис. 23, *а,* ж). Різальні кромки можуть бути прямі (рис. 23, д) або гвинтові (рис. 23, а). Фрези можуть мати гострозаточені (рис. 23, з) або затиловані (рис. 23, *и)* зуби. У фрез з гострозаточеними зубами передня і задня поверхні зубів плоскі. Такі фрези заточують по задній поверхні. У фрез із затилованими зубами передня поверхня зубів плоска, а задня виконана за спіраллю Архімеда. В таких фрезах при переточуванні по передній поверхні зберігається незмінним профіль зуба фрези.

Суцільні фрези виготовляють з інструментальних сталей. У збірних фрез зуби (ножі) виготовляють з швидкорізальних сталей або твердих сплавів і закріплюють у корпусі фрези механічно або паянням.

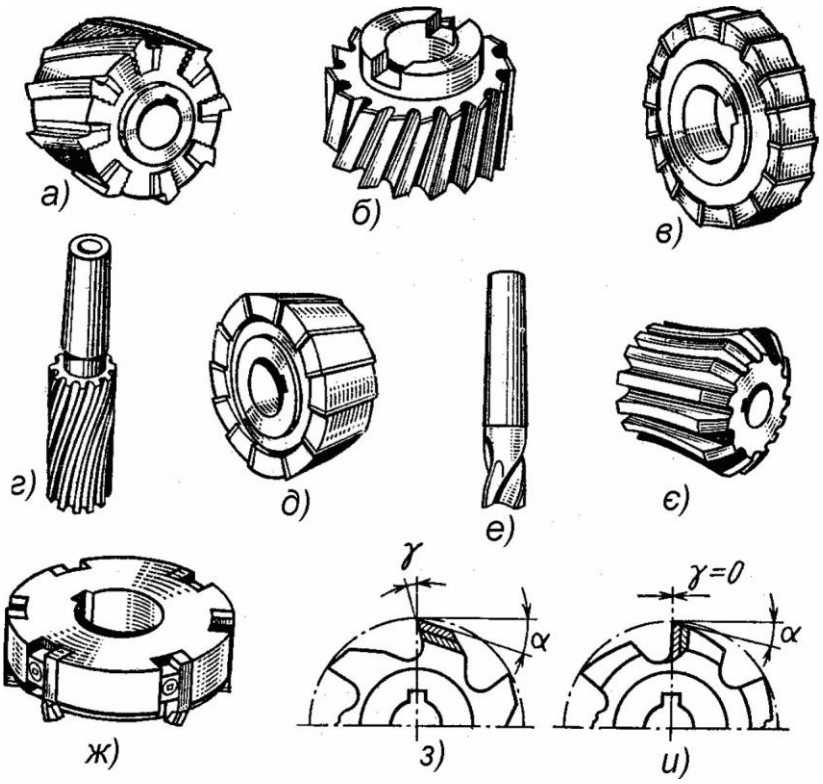


Рисунок 23 *- Типи фрез*

6.3 Фрезерні верстати

За розповсюдженням у металообробці фрезерні верстати після верстатів токарної групи є найпоширенішими. До фрезерної групи належать такі типи верстатів: консольно-фрезерні вертикальні та горизонтальні, вертикальні безконсольні, фрезерні верстати безперервної дії, поздовжньо- фрезерні, копіювальні, гравірувальні та ін.

Найбільш поширеними серед названих верстатів є консольні вертикальні та горизонтальні. На рис. 24 показано горизонтально-консольний (а) та вертикально-консольний (б) фрезерні верстати. Консольними верстати названі так тому, що їх стіл *4* розміщено на консольній балці (консолі) 7, яка може переміщатися по вертикальних напрямних станини. В станині *1* розміщена коробка швидкостей 2. Заготовка, яка встановлюється на столі *4* в лещатах або в пристрої, отримує подачу в трьох напрямах: поздовжньому (переміщення стола по напрямних полозків 6), поперечному (переміщення полозків по напрямних консолі) і вертикальному (переміщення консолі по напрямних станини). Коробка подач *8* розташована всередині консолі.

Вертикально-фрезерний верстат побудований аналогічно горизонтально-фрезерному, тільки вісь шпинделя у нього розташована вертикально в шпиндельній головці, яка може повертатися навкруги горизонтальної осі, що дає змогу встановлювати торцеві фрези під кутом і фрезерувати похилі площини.

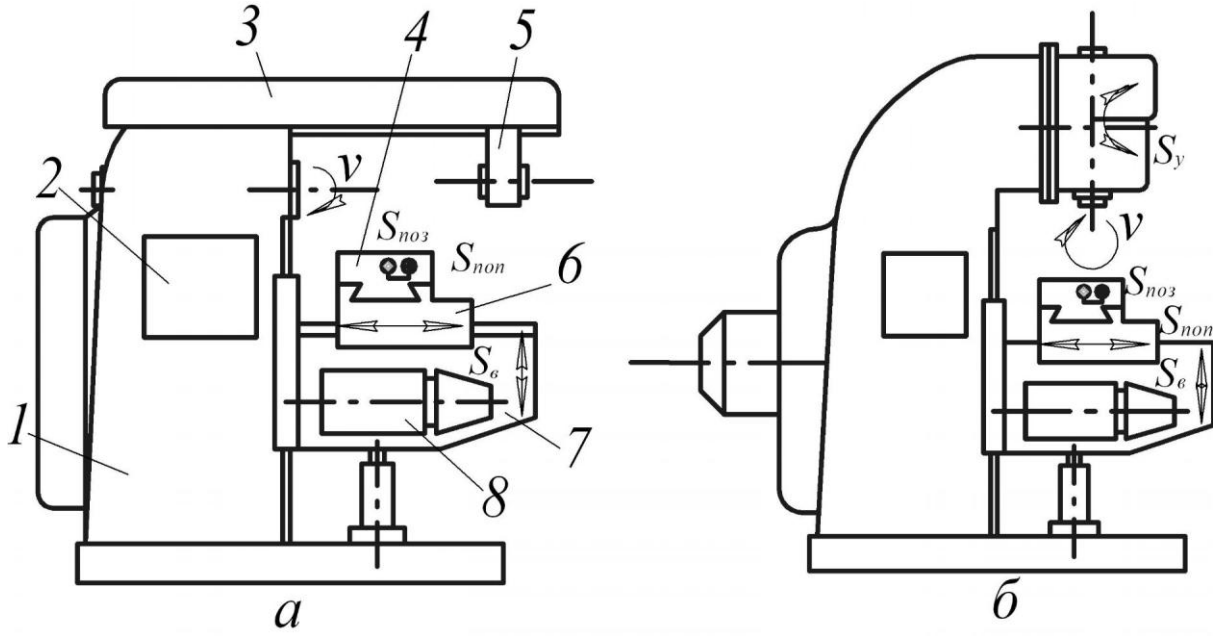


Рисунок 24 *- Консольні горизонтально-фрезерний (а) і вертикально-фрезерний (б) верстати*

Карусельно фрезерний поуавтомат 623М

6.4 Основні види фрезерних робіт

На рис. 25 показані схеми фрезерування поверхонь на горизонтально- і вертикально-фрезерних верстатах.

Горизонтальні поверхні фрезерують на горизонтально-фрезерних верстатах циліндричними фрезами (рис. 25, *а)* і на вертикально-фрезерних верстатах торцовими фрезами (рис.25, б), що більш продуктивно внаслідок більшої кількості одночасно працюючих зубів.

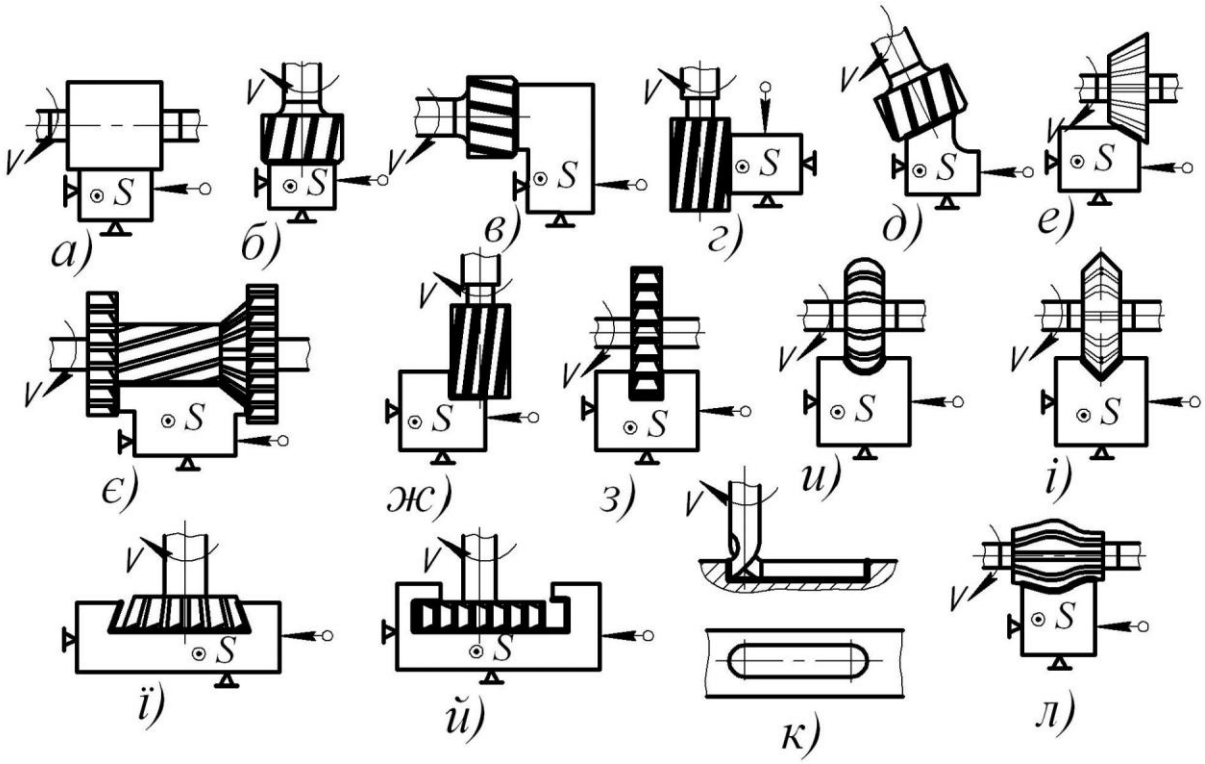


Рисунок 25 — *Схеми обробки заготовок на горизонтально- і вертикально-фрезерних верстатах*

Вертикальні площини фрезерують на горизонтально-фрезерних верстатах торцевими фрезами (рис. 25, *в)* і на вертикально-фрезерних верстатах кінцевими фрезами (рис. 25, г).

Похилі площини фрезерують торцевими (рис. 25, д і кінцевими фрезами на вертикально-фрезерних верстатах з поворотною фрезерною головкою і горизонтально-фрезерних верстатах кутовими фрезами (рис. 25, *е)*.

Комбіновані поверхні фрезерують набором фрез (рис. 25, є) на горизонтально-фрезерних верстатах.

Уступи й прямокутні пази фрезерують кінцевими (рис. 25, ж) й дисковими (рис. 25, з) фрезами на вертикально- і горизонтально-фрезерних верстатах.

Фасонні пази фрезерують фасонною дисковою фрезою (рис. 25, и), *кутові пази* - кутовою фрезою (рис. 25, *і)* на горизонтально-фрезерних верстатах.

Клиновий паз („ластівчин хвіст") фрезерують на вертикально- фрезерному верстаті за два проходи: прямокутний паз - кінцевою фрезою, потім скоси паза - кінцевою однокутовою фрезою (рис. 25, ї).

Т-подібні пази (рис. 25, й), які мають велике розповсюдження в машинобудуванні як верстатні пази, наприклад, на столах свердлильних, фрезерних верстатах, фрезерують зазвичай за два проходи: спочатку паз прямокутного профілю кінцевою фрезою, потім нижню частину пазу *Т*- подібною фрезою.

Шпонкові пази фрезерують шпонковими фрезами (рис. 25, к) на вертикально-фрезерних верстатах.

Фасонні поверхні фрезерують на горизонтально- або вертикально- фрезерних верстатах фасонними фрезами (рис. 25, л).

6.5 Ділильні головки

Важливим приладдям фрезерних верстатів є ділильні головки, які використовуються при виконанні багатьох фрезерних робіт, пов'язаних з періодичним поворотом заготовки на потрібний кут - нарізанні зубів зубчастих коліс, розверток, фрез а також для неперервного обертання заготовки при фрезеруванні спіральних канавок, кулачків тощо.

Найпоширенішими серед ділильних головок є універсальні лімбові ділильні головки.

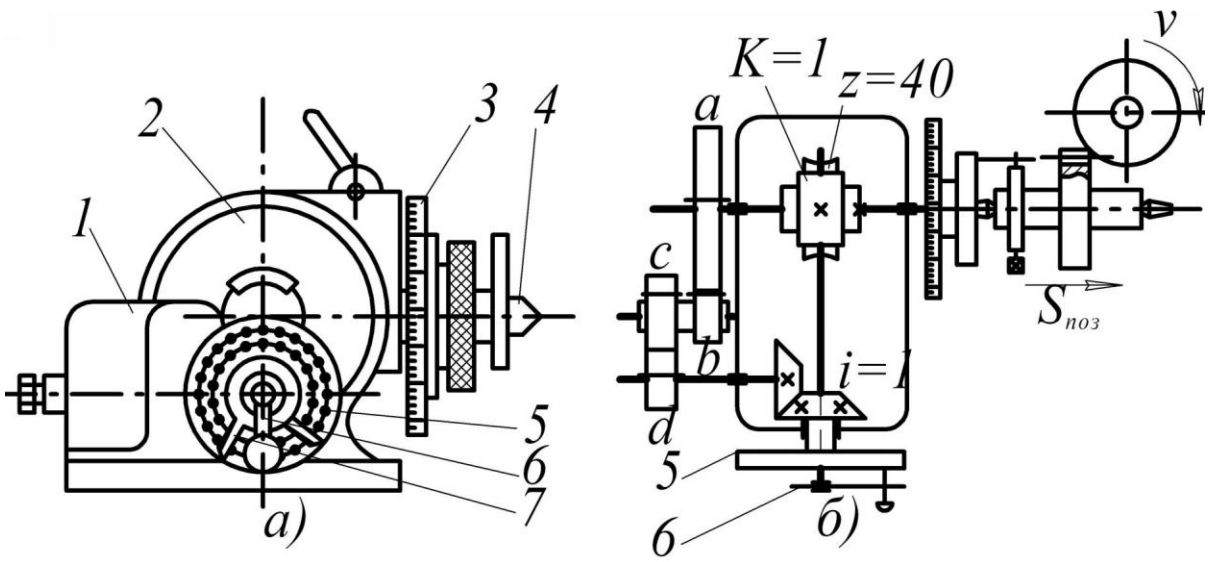


Рисунок 26 *– Універсальна ділильна головка*

На рис. 26 показано таку головку. Вона складається з корпусу 1, поворотного барабана 2, шпинделя *4* з центром (або патроном), ділильного диска (лімба) *5*. На лімбі з обох його боків є по вісім концентричних кіл з різним числом глухих отворів, розташованих по цих колах. Так, з одного боку лімба розташовані кола, у яких кількість отворів дорівнює 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30, 31 і з другого 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49, 54. В корпусі на шпинделі жорстко закріплене зубчасте черв'ячне колесо (зазвичай, з числом зубів 40), яке одержує обертання від однозахідного черв'яка. Черв'як може бути введеним в зачеплення з черв'ячним колесом або виведеним з нього поворотом спеціальної рукоятки (на схемі не показана). Обертання шпинделю надають рукояткою *6*. На шпинделі *4* закріплено ділильний диск *3*, поділений на 360° (в деяких конструкціях головок на 24 частини). Цей диск використовують для безпосереднього ділення заготовки на певне число. В цьому випадку черв'як виводять із зачеплення з черв'ячним колесом і шпиндель вручну повертають на потрібне число поділок по диску 3. Безпосереднє ділення заготовки не має високої точності і його використовують у тих випадках, коли точне ділення не потрібне.

У відповідальних же випадках, коли заготовку потрібно повернути з високою точністю на певний кут, наприклад, при нарізанні зубчастих коліс, розверток, зенкерів тощо використовують *простий і диференціальний* методи ділення.

Просте ділення. При цьому способі лімб нерухомо з'єднують з корпусом головки. Змінні зубчасті колеса гітари *a, b, c, d* (рис. 26, б) не встановлюють. Шпиндель із заготовкою повертають обертанням рукоятки *6* через включену черв'ячну передачу.

Число обертів *n* рукоятки 6, потрібне для повороту шпинделя на $1/z$ частини кола визначається так:

$$n = \frac{N}{z} = A + \frac{a}{b} = A + \frac{a \cdot m}{b \cdot m},$$

де *N* - характеристика ділильної головки - число, обернене передаточному відношенню черв'ячної пари;
A - число цілих обертів рукоятки;
z - число частин, на яке потрібно поділити заготовку;
a і *b* чисельник і знаменник правильного простого нескоротного дробу; *m* - спільний множник для *a* і *b*.

Якщо передаточне відношення для більшості ділильних головок дорівнює 1/40, то *N = 40*. Спільний множник *m* для *a* і *b*, обирається таким чином, щоб добуток дорівнював одному з чисел отворів, що є на лімбі *5;* тоді добуток *am* буде дорівнювати числу кроків, на яке треба повернути рукоятку по колу, що має *mb* отворів. Просте ділення застосовують тоді, коли можна на лімбі підібрати число отворів.

Приклад 1. Настроїти ділильну головку для поділу заготовки на 56 частин (z=56), якщо характеристика головки *N* = 40.

Число обертів рукоятки $n = \frac{N}{z} = \frac{40}{56} = \frac{5}{7} = \frac{15}{21}$. На лімбі знаходимо коло з 21 отвором, встановлюємо вістря рукоятки в перший-ліпший отвір, відраховуємо від нього 15 проміжків і для ділильного повороту заготовки на 1/56 повертаємо рукоятку на 16-тий отвір. Так робимо 56 разів. Для зручності відрахунків використовують розсувний сектор *7*.

Якщо на лімбі підібрати число отворів неможливо, то застосовують диференціальний метод настроювання.

Диференціальний метод ділення

Суть цього методу полягає в тому, що потрібний поворот заготовки здійснюється як результат двох рухів:

- обертання рукоятки відносно лімба;
- додаткового обертання самого лімба.

Отже, поворот рукоятки здійснюється відносно лімба, який обертається.

Обертання лімбу передається від шпинделя через змінні зубчасті колеса гітари *a, b, c, d* і конічну передачу з передаточним відношенням 1 (рис. 26, *б)*. Лімб при цьому вивільняється від стопора, що з'єднує його з корпусом головки.

При диференціальному діленні потрібно настроювати два елементи ділильної головки - рукоятку на певний поворот і гітару.

Число обертів рукоятки *n* , необхідне для повороту заготовки на

частини кола, визначається за такою ж формулою, що і при простому діленні:

$$n = \frac{N}{Znаб},$$

де $Z_{наб}$ - наближене до необхідного числа ділень заготовки. Вибирається таким, щоб задовольняло умови простого ділення. При цьому помилка в ділильному повороті шпинделя, яка дорівнює *1^ - I^наб,* компенсується поворотом самого лімба, який і повинен повернутися саме на цю частину кола через гітару.

Передаточне відношення змінних коліс гітари визначається за формулою:

$$i_г = \frac{a}{b}\cdot\frac{c}{d} = \frac{40}{68} = \frac{5}{4}\cdot\frac{8}{17} = \frac{25}{20}\cdot\frac{40}{85}.$$

$$i_г = \frac{a}{b}\cdot\frac{c}{d} = \frac{N}{Znаб\cdot(Znаб - Z)} = \frac{40}{68\cdot(68-67)} = \frac{40}{68}.$$

$$i_г = \frac{N}{Znаб\cdot(Znаб - Z)}$$

Якщо *Znаб < Z,* то $i_г$ має від'ємне значення. При цьому лімб повинен обертатися в бік, протилежний обертанню рукоятки, що досягається встановленням проміжного (паразитного) колеса між колесами *а* і *Ь* або *с* і *d.*

Для настроювання гітари, тобто для визначення числа зубів коліс *а,Ь,с* і *d* до ділильних головок зазвичай надається „п'ятковий" набір коліс з числами зубів від 20 до 100.

Приклад 2. Настроїти ділильну головку для фрезерування зубчастого колеса з 67 зубами ^=67). Характеристика головки *N* = 40. В даному випадку просте ділення неможливе тому, що у формулі *n* = ^ дріб нескоротний, а на лімбі немає 67 отворів. Застосовуємо диференціальний метод ділення. Приймаємо *Znаб* = 68. Тоді:

Цей дріб потрібно перетворити так, щоб із „п'яткового" набору можна було підібрати зубчасті колеса *а, Ь,с* і *d,* маючи на увазі, що в наборі є тільки по одному колесу з певним числом зубів.

При підборі зубчастих коліс потрібно також враховувати умову зчіплюваності коліс в гітарі: *а + Ь > с* на 10...15 зубів і *с + d > Ь* на 10...15 зубів. У

нашому прикладі *а = 25, Ь = 20, с = 40, d = 85. а + Ь > с* але всього на 5 зубів, що не задовольняє умову зчіплюваності коліс. Тому приймаємо *а = 75, Ь = 60.* Передаточне відношення від такої заміни не зміниться, а умова зчіплюваності буде виконана.

Число обертів рукоятки для здійснення ділильного повороту заготовки на 1/67 повинно бути таким: *n* = = — = —. Тобто рукоятку по-

Znаб 68 17

трібно повернути на 5 поділок кола, що має 17 отворів.

Налагодження ділильних головок для фрезерування спіральних канавок

В металообробці на фрезерних верстатах нерідко приходиться фрезерувати спіральні канавки (виготовлення свердел, косозубих зубчастих коліс тощо). Для цих робіт використовують універсальні горизонтально- чи вертикально-фрезерні верстати і ділильні головки. При цьому ділильну головку встановлюють на столі верстата, а заготовку - в центрах ділильної головки і задньої бабки.

Гвинтові канавки фрезерують при поздовжньому переміщенні стола фрезерного верстата й одночасному обертанні заготовки. Для цього шпиндель ділильної головки з'єднують змінними зубчастими колесами *а, Ь, с, й* гітари з ходовим гвинтом поздовжньої подачі стола верстата (рис. 27).

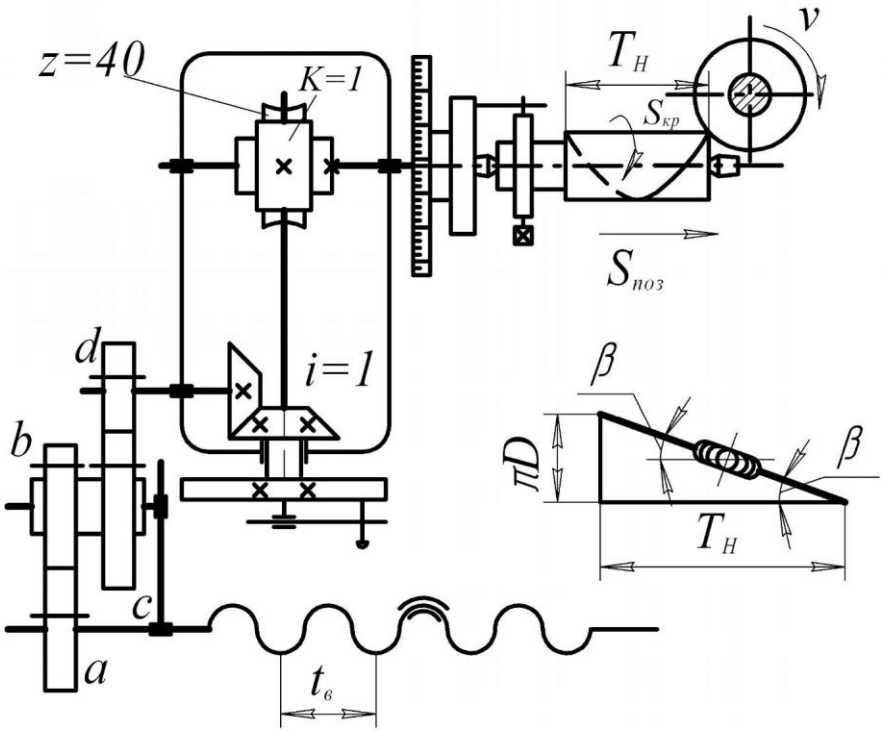


Рисунок 27 — *Схема налагодження ділильної головки на фрезерування спіральних канавок*

Обидва рухи - обертання заготовки і її поздовжнє переміщення - узгоджені так, що при переміщенні заготовки на крок спіральної канавки, яка нарізається, заготовка робить один повний оберт. Рівняння кінематичного балансу ланцюга має вигляд

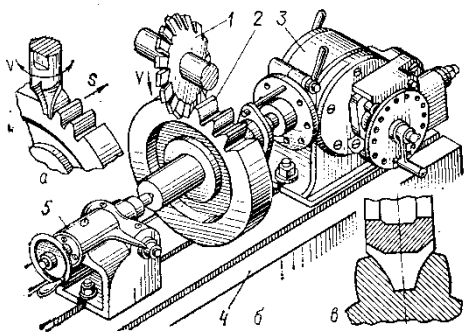
$$Тк = 1 \text{ об.заг.} \cdot \frac{40}{1} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{d}{c} \cdot \frac{b}{a} \cdot tв,$$

де $t_в$ - крок ходового гвинта поздовжньої подачі стола; $Тк$ - крок гвинтової канавки.

З цього рівняння отримуємо формулу передаточного відношення гі тари:

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{40 \cdot tв}{Тк}.$$

Стіл верстата повертають на кут нахилу гвинтової канавки Р для отримання гвинтової канавки потрібного профілю.



Контрольні питання

1. Які поверхні оброблюють на фрезерних верстатах?
2. Основні типи фрез.
3. Типи фрезерних верстатів.
4. Методи поділу на універсальних ділильних головках.
5. Налагодження ділильної головки на фрезерування спіральних канавок.
6. Основні роботи, які виконують на фрезерних верстатах. Схеми обробки.

7 ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА ПРОТЯЖНИХ ВЕРСТАТАХ

7.1 Характеристика методу обробки протяганням

Протягання - високопродуктивний метод обробки внутрішніх і зовнішніх поверхонь різного профілю, який забезпечує високу точність форми і розмірів оброблюваної поверхні. Протягають багатолезовим різальним інструментом - протяжкою - при його поступальному русі відносно нерухомої заготовки. Це - головний рух при протяганні. Його швидкість і є *швидкістю різання* V. Подача при протяганні як самостійний рух інструмента чи заготовки відсутня. За величину подачі s_z, що визначається товщиною зрізуваного шару металу окремим зубом протяжки, приймають різницю розмірів по висоті двох сусідніх зубів протяжки; s_z є одночасно і глибиною різання. Ця величина складає 0,01...0,2 мм/зуб.

7.2 Протяжки

За характером оброблюваних поверхонь розрізняють протяжки для внутрішнього і зовнішнього протягання.

За формою розрізняють круглі, шліцьові, шпонкові, багатогранні та плоскі протяжки.

За конструкцією зуби протяжки бувають з різальними кромками та скругленими, тобто працюючими за методом пластичного деформування.

На рис. 28 зображена кругла протяжка. Основні її частини: 1) *хвостовик (замкова частина) l_1*, призначений для закріплення протяжки в патроні верстата; 2) *шийка l_2* - для з'єднання хвостовика з передньою напрямною частиною; 3) *передня напрямна частина l_3* з напрямним конусом призначена для центрування заготовки відносно протяжки в початковий момент різання; 4) *різальна частина l_4* знімає різальними зубами, висота яких послідовно збільшується, припуск на обробку; 5) *калібрувальна частина l_5* призначена для надання обробленій поверхні остаточних розмірів, необхідної точності і шорсткості; форма і розміри зубів калібрувальної частини однакові і відповідають формі і розмірам останнього різального зуба; 6) *задня напрямна частина l_6* призначена для спрямування протяжки і підтримання її від прогинання до виходу останніх калібрувальних зубів з отвору.

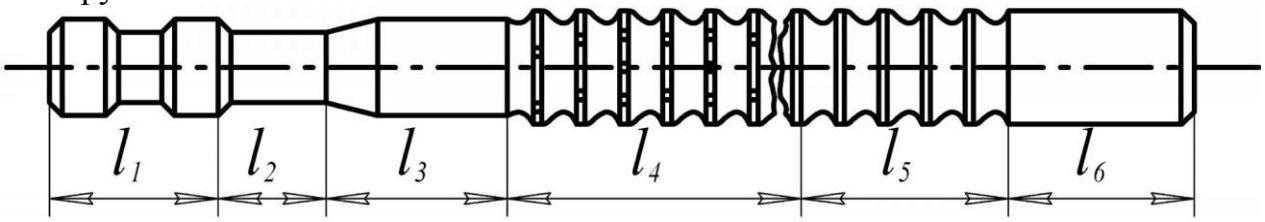


Рисунок 28 *- Елементи круглої протяжки*

Різновидом протяжки є ***прошивка,*** яка при обробці проштовхується крізь отвір заготовки. В прошивці відсутні хвостовик і шийка. Вона працює на стиснення, а протяжка - на розтягання.

На рис. 29 показані приклади робіт, які виконують на протяжних верстатах.

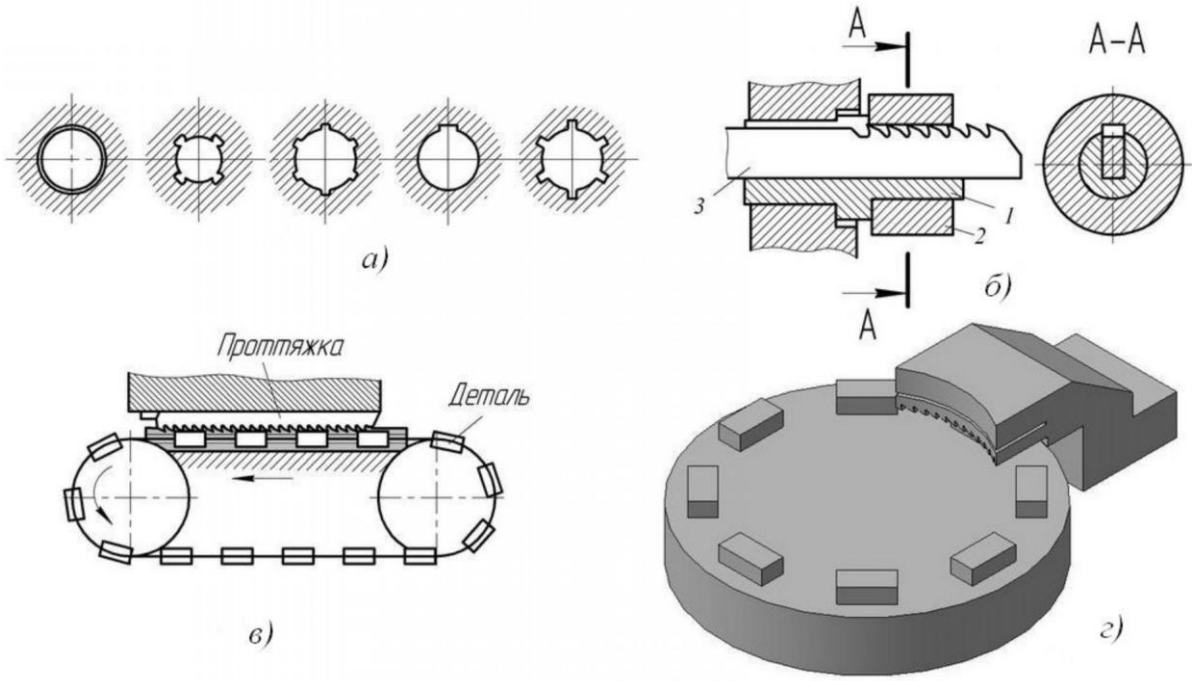


Рисунок 29 — *Роботи, які виконують на протяжних верстатах*

Отвір під протягання (рис. 29, *а)* свердлять або розточують, залишаючи припуск 0,4...0,6 мм для чорнового протягання та 0,2...1,0 мм - для чистового. Довжина протягуваного отвору не повинна перевищувати трикратної довжини його діаметра.

Шпонковий паз в деталі *2* (рис. 29, б) протягають плоскою шпонковою протяжкою *3* через напрямну втулку *2* з пазом для напрямлення протяжки.

При зовнішньому протяганні широко використовують верстати ланцюгового(рис. 29, в,) або карусельного типу (рис. 29, г).

Контрольні питання

1. Особливості обробки протяганням.
2. Конструкція круглої протяжки.
3. Схеми обробки при протяганні.

8 ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА СТРУГАЛЬНИХ І ДОВБАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

8.1 Характеристика процесу обробки струганням і довбанням

Стругальні і довбальні верстати призначені, головним чином, для обробки плоских і фасонних поверхонь з прямолінійною твірною, розташованих у

горизонтальних, вертикальних, похилих площинах, а також для обробки пазів таких як, наприклад, ластівчин хвіст, верстатних 7-подібних, прямокутних тощо.

При *струганні* інструмент (в поперечно-стругальних верстатах) або заготовка (в поздовжньо-стругальних верстатах) здійснюють зворотнопоступальний головний рух в горизонтальній площині.

При *довбанні* головний рух - зворотно-поступальне переміщення інструмента - здійснюється у вертикальній площині.

Інструментом для обробки струганням чи довбанням є різці. За своєю формою стругальні різці подібні до токарних, але оскільки вони працюють у більш важких умовах (в момент врізання різця відбувається удар), державки їх роблять більш масивними. Стругальні різці, так як і токарні, за розташуванням різальної кромки поділяються на праві *1* і ліві *2;* за призна-

ченням - на прохідні *1* і 2, підрізні 3, відрізні 4, фасонні 5; за характером обробки - на чорнові *1* та чистові *6* (рис. 30, *а)*.

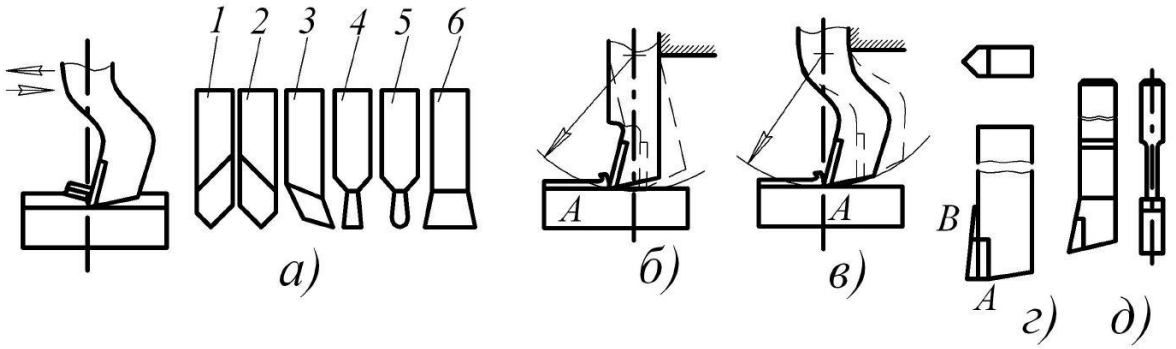


Рисунок 30 - *Стругальні і довбальні різці*

Під час обробки стругальний різець згинається і вершина прямого різця, описуючи дугу навколо точки А (рис. 30, б), заглиблюється в тіло заготовки, що призводить до пошкодження обробленої поверхні. Тому стругальні різці зазвичай роблять відігнутими так, щоб вісь державки різця проходила через його вершину (рис. 30, в).

Довбальні прохідний і прорізний різці показані на рис. 30, г і д. Поверхня *А* цих різців є передньою, по якій сходить стружка, а поверхня *Б* - задньою поверхнею.

8.2 Роботи, які виконують на стругальних верстатах

Струганням отримують точність обробки 8...13 квалітетів при шорсткості поверхні Rz = 80...20, а при чистовому струганні - R_a = 2,5...1,5.

На рис. 31 наведені приклади робіт, виконуваних на стругальних верстатах. Горизонтальні площини обробляють прохідними різцями (рис. 31, *а,* б), вертикальні площини (рис. 31, *в)* - прохідними або підрізними різцями, закріпленими в різцетримачі, який можна повертати на деякий кут до оброблюваної поверхні. Похилі площини обробляють прохідними або підрізними різцями (рис. 31, *г,д).* Пази і канавки обробляють відігнутими і прорізними різцями. Наприклад, для обробки верстатних Г-подібних пазів послідовно застосовують прорізний (рис. 31, е), правий і лівий відігнуті різці (рис. 31, є), і фасковий різець (рис. 31, ж).

Для чистового стругання напрямних станин, плит, столів використовують широкі різці *6* (рис. 30). Глибина різання при цьому становить 0,05...0,1 мм і таке стругання може бути остаточною обробкою.

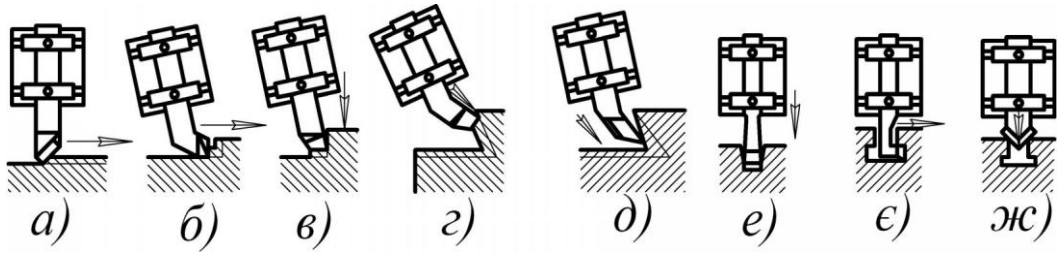


Рисунок 31 *- Приклади стругальних робіт*

Потрібно зазначити, що всі такі поверхні можуть бути оброблені і фрезеруванням, яке є більш продуктивним процесом, але в тих випадках, коли остаточною обробкою є шабрування, наприклад при обробці напрямних станин металорізальних верстатів, перевагу слід надавати струганню, після якого процес шабрування здійснювати набагато легше, ніж після фрезерування.

Контрольні питання

1. Який рух є головним при струганні та довбанні?
2. Який інструмент застосовується для стругання та довбання?
3. Які роботи можна виконувати на стругальних і довбальних верстатах?

9 НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

9.1 Методи нарізання зубчастих коліс

В машинобудуванні є два основних методи нарізання зубів зубчастих коліс: метод копіювання і метод обкатки (огинання).

Метод ***копіювання*** полягає в тому, що профілювання зубів зубчастого колеса здійснюється фасонним інструментом, профіль різальної частини якого відповідає профілю впадини зубчастого колеса. Інструментом може бути модульна дискова фреза *1* (рис. 32, а) або модульна кінцева фреза (рис. 32, б). В першому випадку процес нарізання зубчастих коліс здійснюється на горизонтально- або універсально-фрезерних верстатах, у другому - на вертикально-фрезерних послідовно по одній впадині із застосуванням ділильної головки.

Теоретично для кожного числа зубів зубчастого колеса певного модуля потрібна окрема дискова чи кінцева модульна фреза. Практично ж користуються наборами з вісьми, п'ятнадцяти чи двадцяти шести модульних фрез, кожна з яких призначена для нарізання кількох зубчастих коліс з різним числом зубів. Тому профілі зубів таких коліс будуть дещо відрізнятися від теоретичних і, таким чином, метод копіювання не забезпечує високої точності, має порівняно низьку продуктивність і застосовується переважно в ремонтному виробництві.

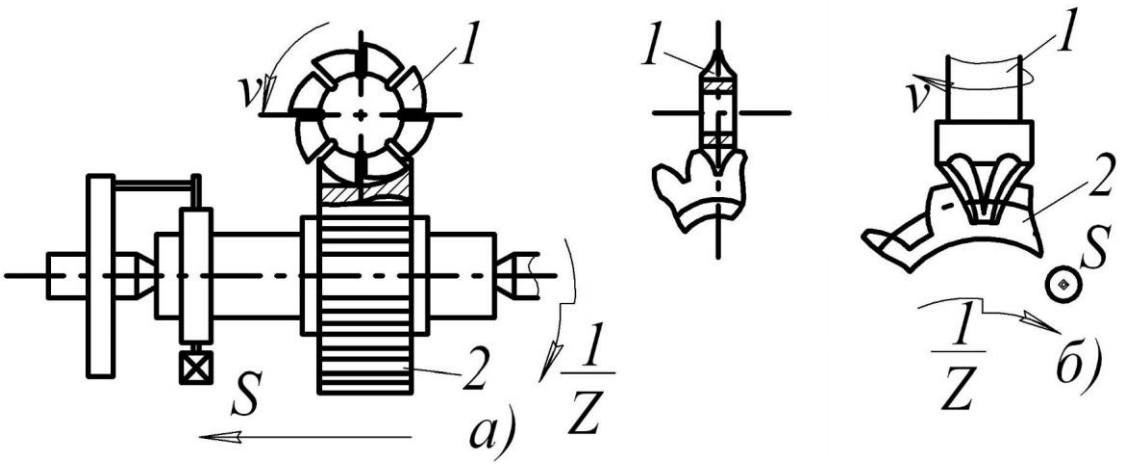


Рисунок 32 *- Схеми фрезерування зубів за методом копіювання 1 - фреза; 2 - оброблюване колесо*

Метод ***обкатки*** грунтується на відтворенні зачеплення зубчастої, черв'ячної або рейкової передачі, одним з елементів якої є різальний інструмент, виконаний у вигляді відповідно зубчастого колеса *(довбача),* черв'яка *(черв'ячної фрези),* рейки *(інструментальної рейки).* Другим елементом такої передачі є заготовка. Різальні кромки інструмента в процесі взаємного обкатування із заготовкою займають у просторі ряд послідовних положень, вирізаючи метал у тих місцях, де повинні бути впадини на заготовці.

Різні положення різальних кромок інструмента відносно формованого профілю зубів на заготовці отримують внаслідок кінематично узгоджених обертальних рухів інструмента і заготовки на зуборізному верстаті.

Метод обкатки забезпечує безперервне формоутворення зубів колеса. Нарізання зубчастих коліс цим методом знайшло переважне розповсюдження завдяки високій продуктивності та значній точності обробки.

Найпоширенішими способами в машинобудуванні є зубофрезеру- вання на зубофрезерних верстатах, зубодовбання на зубодовбальних верстатах та зубострyгання на зубострyгальних верстатах при обробці конічних коліс.

9.2 Нарізання зубчастих коліс на зубофрезерних верстатах

На зубофрезерних верстатах нарізають зубчасті колеса зовнішнього зачеплення з прямими та гвинтовими зубами а також черв'ячні колеса черв'ячними модульними фрезами методом обкатки.

В основі методу лежить принцип відтворення зачеплення черв'ячої передачі, в якій роль черв'яка виконує черв'ячна фреза, а роль черв'ячного колеса - заготовка.

На рис. 33, *а* наведена схема формоутворення зубів циліндричного колеса черв'ячною фрезою, а на рис. 33, *б* показано, що бічна поверхня зуба на заготовці утворюється як крива огинання послідовних положень різальних кромок зубів черв'ячної фрези в їх відносному узгодженому русі.

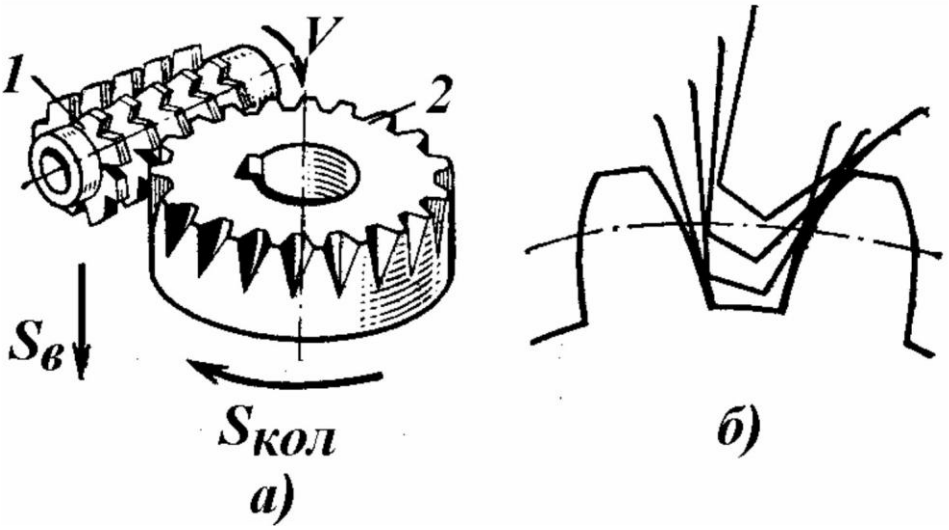


Рисунок 33 — *Схема формоутворення зубів циліндричного колеса черв'ячною фрезою:* 1 - черв'ячна фреза; 2 - заготовка

Узгодження рухів черв'ячної фрези і заготовки здійснюється за допомогою гітари обкатки зубофрезерного верстата, яка настроюється так, щоб за один оберт фрези заготовка повернулась на стільки зубів, скільки заходів має черв'ячна фреза, тобто зробила k/z обертів, де *к* - число заходів фрези, а z - число зубів на колесі, що нарізається.

Головним рухом при зубофрезеруванні є обертання фрези. Швидкість різання, м/хв,

$$V = \frac{\pi D_ф n_ф}{1000}$$

де *D*ф - діаметр фрези, мм;
$n_ф$ - частота обертання фрези, об/хв.

Рухом подачі є вертикальне переміщення фрези. Подачу $S_в$ вимірюють в мм за один оберт заготовки.

9.3 Нарізання зубчастих коліс на зубодовбальних верстатах

На зубодовбальних верстатах нарізають циліндричні зубчасті колеса зовнішнього та внутрішнього зачеплення з прямими та гвинтовими зубами. На цих же верстатах можна нарізати блоки зубчастих коліс з невеликими відстанями між вінцями коліс, а також шевронні колеса. Інструментом є довбач - загартоване і шліфоване зубчасте колесо, кожен зуб якого має різальні кромки.

Зубчасті колеса на зубодовбальних верстатах нарізають за методом обкатки, в основі якого лежить відтворення зачеплення двох циліндричних зубчастих коліс (рис. 34). Бічна поверхня зуба на заготовці утворюється як крива огинання послідовних положень різальних кромок інструмента при відносних рухах заготовки та інструмента (рис. 34, б). Ці рухи узгоджені так, щоб при повороті довбача на один зуб заготовка також повернулась на один зуб, тобто,

довбач і заготовка, перебуваючи у зачепленні , обертаються зі швидкістю обернено пропорційною числу їх зубів:

$$n_{заг}/n_{дов} = z_{дов}/z_{заг},$$

де $n_{заг}$ - частота обертання заготовки, об/хв;

$n_{дов}$ - частота обертання довбача, об/хв;

$z_{дов}$ - число зубів довбача;

$z_{заг}$ - число зубів заготовки.

Це досягається налагодженням гітари обкатки зубодовбального верстата. Головним рухом при зубодовбанні є зворотно-поступальний рух довбача, який складається з його робочого руху вниз і холостого ходу вверх. Обидва ці рухи складають один подвійний хід довбача.

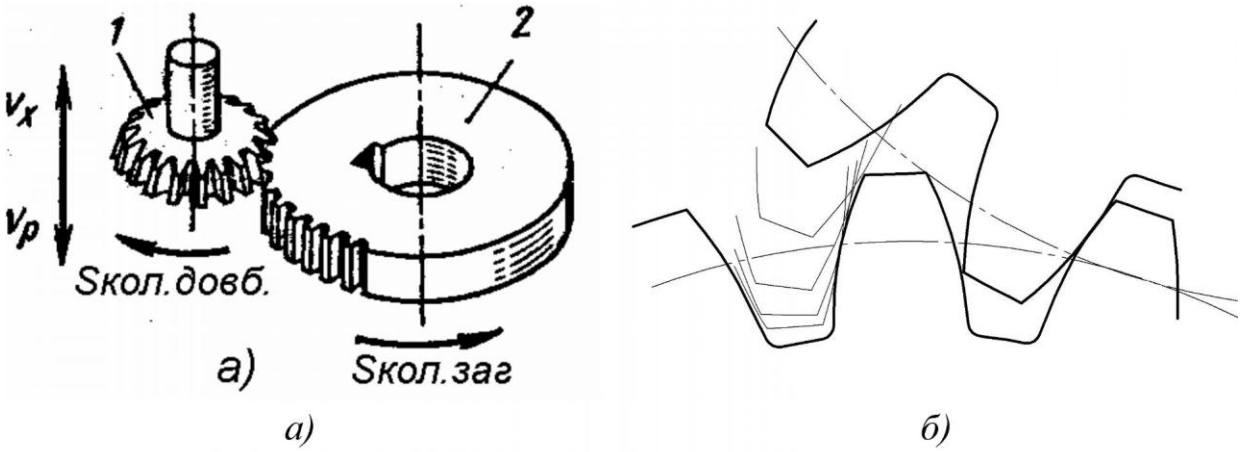


Рисунок 34 *- Схемаформоутворення зубів циліндричного колеса*

1 - довбач; 2 - заготовка

Швидкість різання при зубодовбанні, м/хв,

$$v = 2Lm/1000,$$

де L - довжина ходу довбача, мм; m - число подвійних ходів довбача за хвилину.

Рухами подачі є обертання довбача (колова подача, яка вимірюється довжиною дуги ділильного кола довбача, на яку він повертається за один подвійний хід, мм/подв.хід) і радіальна подача врізання довбача в заготовку (s_p, мм/об.заг). Радіальна подача надається довбачу до досягнення повної глибини впадини між зубами. Надалі процес нарізання відбувається при постійній міжцентровій відстані протягом одного повного оберту заготовки.

9.4 Нарізання конічних зубчастих коліс

Конічні зубчасті колеса нарізають методом обкатки на зубострогаль- них верстатах. Цей метод грунтується на відтворенні зачеплення двох конічних коліс, одним з яких є заготовка, а другим - конічне плоске колесо, в якого половина кута при вершині початкового конуса дорівнює 90°, а профіль зуба прямолінійний, тобто плоске конічне колесо являє собою кільцеву рейку (рис. 35, *а)*.

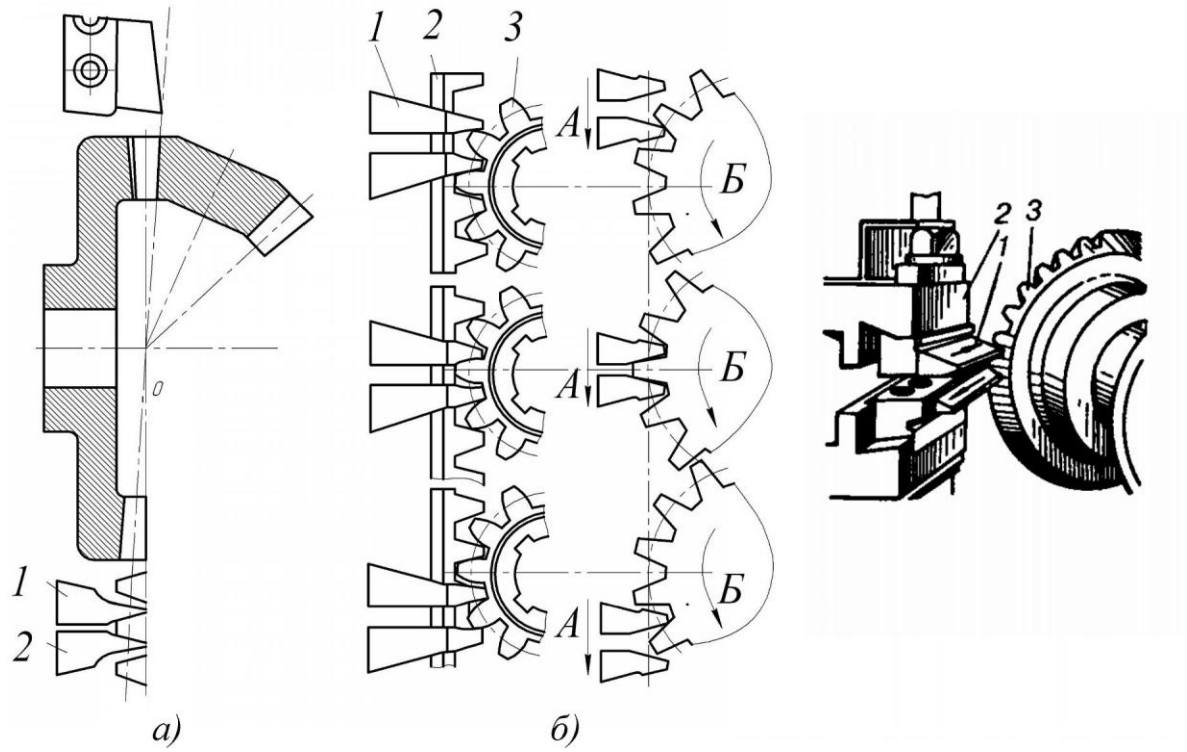


Рисунок 35 — *Схема нарізання зубів конічних коліс*

Реального плоского колеса не існує, воно відтворюється на верстаті при обертанні планшайби, на торці якої змонтовано два різцевих супорти з різцями *1* і 2. Бічні поверхні цих різців, обернені одна до одної, виконують роль впадини зуба плоского колеса *2* (рис. 35, б), яке прийнято називати виробним колесом. Зуб нарізуваного колеса *3* обробляється з обох боків двома різцями 1, які здійснюють рух різання - зворотно-поступальний в протилежних напрямах. Узгоджене обертання планшайби з різцями (рух за стрілкою А) і заготовки (за стрілкою Б) є рухом обкатки і забезпечує формування потрібного профілю зуба на заготовці. Нарізання зубів відбувається послідовно, кожен наступний зубець обробляється після повної обробки попереднього.

При нарізанні конічних зубчастих коліс з круговими зубами роль зуба плоского колеса виконує різцева головка, що обертається на торці планшайби верстата і послідовно прорізує впадину за впадиною на заготовці.

Контрольні питання

1. Методи нарізання зубчастих коліс.
2. Суть і схеми нарізання коліс методом копіювання.
3. Суть методу обкатки нарізання зубчастих коліс.
4. Способи нарізання коліс методом обкатки.

10 ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА ШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

10.1 Загальні відомості

Шліфуванням називається процес обробки поверхонь деталей машин абразивним (шліфувальним) інструментом - головним чином шліфувальними кругами. Для шліфування використовуються також бруски, шкурки, пасти.

При обертанні шліфувального круга в зоні його контакту із заготовкою абразивні зерна зрізують матеріал у вигляді величезної кількості тонких стружок (до 10^8 за хвилину). Процес різання здійснюється на дуже великих швидкостях - більше ніж 30 м/с. Оброблена поверхня являє собою сукупність мікрослідів абразивних зерен і має низьку шорсткість. Частина абразивних зерен гострих кромок, здатних різати, не мають, тому такі зерна виконують роботу тертя по поверхні різання, внаслідок чого оброблювана поверхня заготовки дуже нагрівається з утворенням дефектного поверхневого шару деталі. Для зменшення теплової дії процес шліфування виконують із значною подачею в зону різання змащувально-охолодних рідин.

Застосовується шліфування головним чином для остаточної чистової обробки і є основним методом одержання високої точності (5...6 кваліте- тів) і незначної шорсткості оброблюваних поверхонь (Rz = *0,63...0,16).* Шліфуванням можна обробляти різні - як дуже м'які, так і найбільш тверді матеріали, включаючи загартовані сталі і тверді сплави для яких шліфування є переважним методом обробки. Шліфувати можна поверхні різної форми: плоскі, циліндричні, конічні, фасонні. Відповідно до цього застосовують різні способи шліфування, найбільш поширеними з яких є кругле і плоске шліфування.

10.2 Абразивний інструмент

Абразивним називається інструмент, що складається із зерен абразивного (шліфувального) матеріалу, скріпленого між собою спеціальною зв'язкою. Найчастіше використовуються для шліфування шліфувальні круги.

За формою шліфувальні круги бувають плоскі прямі (для круглого зовнішнього, внутрішнього та плоского шліфування), чашкові циліндричні та конічні (для плоского шліфування).

Для виготовлення шліфувальних кругів переважно застосовують електрокорунд (кристалічний оксид алюмінію $Al_2 0_3$), карбід кремнію *SiC* (карборунд) та кубічний нітрид бору (ельбор).

Зерна абразивних матеріалів з'єднують в одне ціле за допомогою різних неорганічних та органічних зв'язок. У практиці широко використовують з неорганічних - керамічну (К), а з органічних - бакелітову (Б) та вулканітову (В) зв'язки.

Керамічна складається з вогнетривкої глини, польового шпату, тальку, крейди, кварцу і рідкого скла. Завдяки значній міцності, водостійкості, що дозволяє працювати із застосуванням охолодної рідини, і жаростійкості абразивний інструмент на керамічній зв'язці набув переважного поширення. На цій зв'язці виготовляють до 90% шліфувальних кругів.

Абразивний інструмент на бакелітовій зв'язці, що являє собою синтетичну смолу, має велику міцність і пружність, але порівняно низьку теплостійкість (до 180°С). Шліфувальні круги на цій зв'язці використовують для чистового шліфування.

Абразивний інструмент на вулканітовій зв'язці, яка складається з каучуку, сірки та інших речовин, має велику міцність і пружність, але низьку теплостійкість. Круги на цій зв'язці можуть бути дуже тонкими і використовуватись переважно для відрізних робіт.

Міцність зв'язки визначає гранично допустиму швидкість різання (до 50 м/с) а також іншу характеристику шліфувального круга - твердість. Під твердістю абразивного інструменту розуміють опір зв'язки вириванню абразивних зерен зовнішньою силою. За встановленою шкалою є 7 класів твердості: м'який - М, середньом'який - СМ, середній - С, середньотвер- дий - СТ, твердий - Т, дуже твердий ДТ, надзвичайно твердий - НТ.

Твердість круга вибирають за правилом: чим твердіший оброблюваний матеріал, тим більш м'яким повинен бути круг, і навпаки.

Структура абразивного інструменту. В абразивному інструменті не весь його обсяг заповнений зернами і зв'язкою, між ними є пори. Наявність пор позитивно впливає на різальні властивості інструменту, сприяє охолодженню під час роботи, зменшує забиття його стружкою. Структурою абразивного інструменту називають співвідношення обсягів, зайнятих в ньому абразивними зернами, зв'язкою і порами. Змінюючи ці співвідношення, одержують круги різної структури, які розрізняють за номерами. Меншій пористості круга відповідає більший номер структури. ″^

Правка шліфувальних кругів. У міру спрацювання або засалювання шліфувальні круги треба правити, видаляючи при цьому дефектний поверхневий шар. Правку виконують зернами алмазу, алмазно-металевими олівцями, іноді шарошками, правочними кругами з карбіду кремнію, обкочувальними дисками з термокорунду і твердих сплавів. Найбільш поши-рені алмазно-металеві олівці, в яких дрібні алмазні зерна (0,01...0,2 карата) зв'язані між собою сплавом, вольфраму, міді, алюмінію. При правленні спрацьовується переважно зв'язка олівця і виступаючі алмазні зерна зрізають шар круга.

Маркування шліфувальних кругів враховує основні характеристики, в тому числі геометричну форму, розміри та ін. Наприклад, марка ПП250Х 16Х32; НА 25Д СМ6К5; 35 м/с розшифровується так: ПП—форма круга (плоский прямий); 250—зовнішній діаметр; 16—ширина; 32—діаметр отвору; 14А—абразивний матеріал (електрокорунд нормальний); 25Д— зернистість; СМ—твердість; 6—номер структури; К5—вид зв'язки; 35 м/с— допустима колова швидкість.

Алмазні круги складаються з металевого або полімерного корпусу, на. якому укріплено алмазоносний шар завтовшки 0,5...3 мм. До маркіровки їх крім літери А на початку марки входять додатково геометричні параметри. Круги випускають з 25-, 50-, 100-, 150 %-ю концентрацією алмазного порошка. 100

%-ю концентрацією вважають вміст 0,878 мг/мм^3 алмазоносного шару.

10.3 Схеми круглого і плоского шліфування

Кругле зовнішнє шліфування може здійснюватись з поздовжньою подачею (рис. 36, *а)* або тільки з поперечною (врізне шліфування, рис. 36, б). В першому випадку поперечна подача S_{non} на глибину різання t здійснюється шліфувальним кругом в кінці поздовжнього ходу заготовки в напрямі, перпендикулярному до її осі. За другою схемою шліфують циліндричні, конічні, фасонні поверхні, довжина яких менша ширини шліфувального круга. В обох випадках, як і при інших видах шліфування, головний рух зі швидкістю V = 20...40 м/с здійснює шліфувальний круг. Обертання заготовки називається коловою подачею.

Схема зовнішнього безцентрового шліфування з поздовжньою подачею заготовки показана на рис. 36, *в.* Принцип цього способу шліфування полягає в тому, що заготовку 2 не закріплюють у затискному пристрої верстата, а кладуть на упор (ніж) *1* і пропускають між двома встановленими на певній відстані один від одного шліфувальними кругами. Один з них - круг 3 - є шліфувальним. Він обертається з великою швидкістю (V = 30.60 м/с). Другий круг *4,* що називається ведучим, обертається з набагато меншою швидкістю *($V_{e\cdot Kp}$.* = 0,2...1,0 м/с). Завдяки зрізу ножа *1* заготовка притискується до ведучого круга і внаслідок більшого коефіцієнта тертя між цим кругом і заготовкою вона обертається зі швидкістю, близькою до швидкості ведучого круга.

Оскільки ведучий круг повернутий відносно шліфувального круга на кут α (1,5...6° при чорновому і 0,5...1,5° при чистовому шліфуванні) , швидкість його обертання $V_{e\cdot Kp}$. розкладається на дві складові - $V_г$ *і* V_s. Складова $V_г$ забезпечує поздовжню подачу заготовки зі швидкістю $V_г = V_{e\cdot kp}. \sin\alpha$.

Друга складова $V_s = V_{e\cdot kp}. \cos\alpha$ є швидкістю обертання заготовки (колова подача).

На рис. 36, *г, д* показані схеми внутрішнього шліфування. В першому випадку колову подачу отримує заготовка, в другому - шліфувальний круг.

Внутрішнє шліфування за схемою рис. 36, *д* застосовують у тих випадках, коли заготовці неможливо (або технічно надто складно) надавати обертового руху.

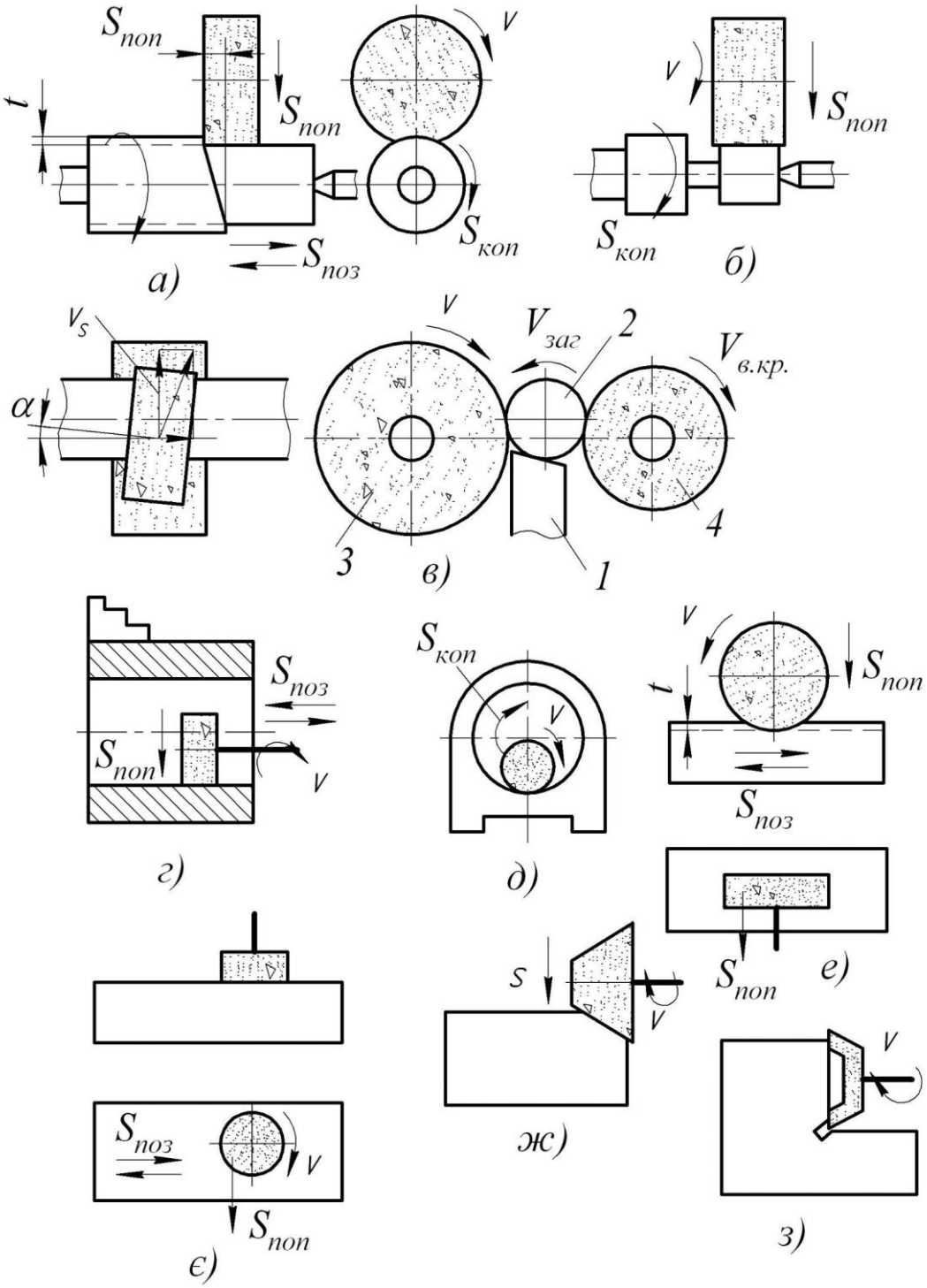


Рисунок 36 — *Схеми круглого і плоского шліфування*

Плоске шліфування залежно від методу роботи розрізняють периферією плоского (рис. 36, е) або торцем чашкового круга (рис. 36, *є).* Закріплена на столі верстата деталь виконує зворотно-поступальний рух (поздовжня подача $S_{поз}$), шліфувальний круг крім головного руху зі швидкістю *V* здійснює в кінці поздовжнього ходу поперечну подачу S_{non} , а після шліфування всієї площі - вертикальне переміщення на глибину різання *t.*

При обробці плоских похилих і вертикальних поверхонь використовують конічні чашкові круги (рис. 36, *ж,* з).

10.4 Режими різання при шліфуванні

Основними елементами режиму різання при шліфуванні є швидкість різання, подача і глибина різання. Швидкістю різання при всіх видах шліфування є колова швидкість шліфувального круга. При круглому шліфуванні елементами режиму різання є також колова швидкість заготовки, поздовжня і поперечна подачі (див. рис. 36, *а,* в). Колова швидкість заготовки - це колова подача $S_{кол}$, м/хв. Поздовжня подача $S_{поз}$ - величина переміщення заготовки відносно шліфувального круга за один її оберт (мм/об.заг). Поперечна подача S_{non} (мм/подв.хід або мм/хід) - величина переміщення шліфувального круга в напрямі, перпендикулярному до осі заготовки, що здійснюється в крайніх її положеннях. Вона чисельно дорівнює глибині різання *t.*

Контрольні питання

1. Особливості обробки деталей шліфуванням.
2. Інструмент для шліфування.
3. Схеми круглого зовнішнього шліфування.
4. Схеми внутрішнього шліфування.
5. Схеми плоского шліфування.
6. Режими різання при шліфуванні.

11 МЕТОДИ ЧИСТОВОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ

11.1 Загальні відомості

Розвиток сучасного машинобудування, пов'язаний з підвищенням навантажень на деталі машин, збільшенням швидкостей руху, зниженням маси конструкцій ставить особливо високі вимоги щодо якості обробки поверхневих шарів деталей. Ці вимоги часто не можуть бути виконані описаними методами обробки. Тому потрібна додаткова обробка, яка забезпечувала б більш високу точність і меншу шорсткість поверхонь.

Чистові методи обробки відзначаються малими силами різання, невеликими глибинами різання, незначним тепловиділенням. Тому заготовки деформуються дуже мало.

Найпоширенішими методами чистової обробки поверхонь деталей машин є хонінгування, суперфініш, притирання і полірування. Усі ці методи супроводжуються зніманням стружки з оброблюваної поверхні .

11.2 Хонінгування

Хонінгування застосовують для отримання поверхонь високої точності і малої шорсткості, а також для створення специфічного мікропрофі- лю обробленої поверхні. Такий профіль потрібний для утримання мастила при роботі пари тертя, наприклад, циліндр - поршень в двигуні внутрішнього згорання.

Внутрішня поверхня нерухомої заготовки оброблюється дрібнозернистими абразивними брусками, закріпленими в хонінгувальній головці ***(хоні).*** Хон

обертається (головний рух) і одночасно здійснює зворотнопоступальний рух подачі вздовж осі оброблюваного отвору (рис. 37, а).

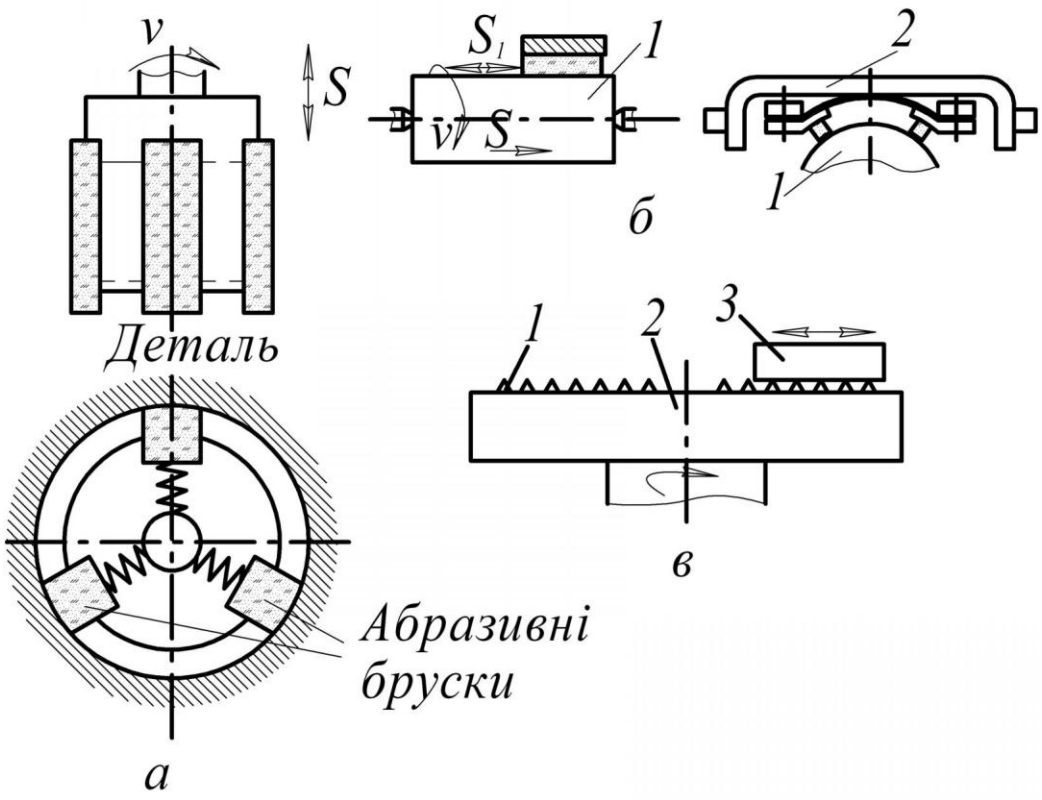


Рисунок 37 *-Схеми чистової обробки поверхонь деталей машин*

Хонінгувальна головка розсувна. В її конструкції передбачений механізм радіального переміщення державок з брусками. Під дією пружин бруски в процесі роботи притискаються до оброблюваної поверхні.

Хонінгуванням виправляють похибки форми від попередньої обробки у вигляді відхилень від округлості, циліндричності тощо. Точність хо- нінгованих отворів досягає *IT7...IT6* а шорсткість - до *Ra* = 0,04.

Хонінгування здійснюють з активним охолодженням зони різання мастильно-охолодними рідинами - гасом, сумішшю гасу з веретенним мастилом, водномильними емульсіями.

Вібраційне хонінгування, яке застосовується останнім часом і полягає в тому, що хон під час свого зворотно-поступального руху здійснює ще і коливальний рух (осциляцію) з частотою 300...400 коливань за хвилину і амплітудою 2...6 мм забезпечує ще більшу точність обробки і меншу шорсткість.

11.3 Суперфініш

Суперфінішем зменшують шорсткість поверхні, що залишилась від попередньої обробки. Деталь *1* (рис. 37, б)оброблюють абразивними брусками, встановленими в спеціальній головці 2. Внаслідок поєднання трьох рухів: обертального і поздовжнього заготовки (відповідно V і я) і коливного (осцилюючого) головки з брусками ($я_1$) поверхня стає надзвичайно гладенькою ^*a*

=0,02), на ній утворюється щільна сітка мікронерівностей, що забезпечує більш сприятливі умови взаємодії поверхонь тертя.

Процес суперфінішування супроводжується інтенсивним застосуванням мастильно-охолодної рідини і ведеться до тих пір, поки мастило на оброблюваній поверхні не утворить суцільну плівку, яку не можуть прорвати абразивні зерна брусків.

Зазвичай суперфінішування не усуває похибок форми, отриманих від попередньої обробки (хвилястість, конусність, овальність тощо), але удосконалення цього процесу дозволяє знімати більш значні шари металу і зменшувати похибки попередніх робіт.

11.4 Притирання

Поверхні деталей машин, оброблених на металорізальних верстатах, завжди мають відхилення від правильних геометричних форм і заданих розмірів. Ці відхилення можуть бути усунені притиранням (доведенням).

Процес здійснюється за допомогою притирів відповідної геометричної форми. На притир *2* (рис. 37, в) наносять абразивну пасту *1* або дрібний абразивний порошок, змішаний з мастилом. Матеріал притирів повинен
бути м'якшим за оброблюваний матеріал (чавун, мідь, тверді породи дерева). Паста чи порошок проникають в поверхню притира і утримуються нею так, щоб при відносному русі кожне абразивне зерно могло знімати дуже малу стружку.

Притир *2* із заготовкою *3* повинні здійснювати різнонаправлені рухи, з тим, щоб траєкторії руху кожного зерна не повторювались. Мікронерів- ності згладжуються за рахунок хіміко-механічної дії на поверхню заготовки.

11.5 Чистова обробка зубів зубчастих коліс

В процесі нарізання зубчастих коліс на поверхнях зубів виникають похибки профілю, кроку зубів тощо. Для зменшення або усунення похибок зуби додатково оброблюють. Чистову обробку зубів незагартованих коліс здійснюють ***шевінгуванням.*** Інструментом для цього є ***шевер*** - косозубе колесо, на бічних поверхнях якого нанесені вузькі канавки, що утворюють різальні кромки (рис. 38, *а, б).* Колесо *2* і шевер *1* зачіплюються між собою так, щоб їх осі перехрещувались під кутом 10...15^{o} (рис. 38, а). При взаємному обкочуванні такої зубчастої пари бічні поверхні зубів проковзуються і різальні кромки канавок шевера зрізають (зіскрібають) з поверхні зубів дуже тонкі волосовидні стружки, завдяки чому похибки виправляються, зубчасті колеса стають більш точними, значно зменшується шум при їх роботі.

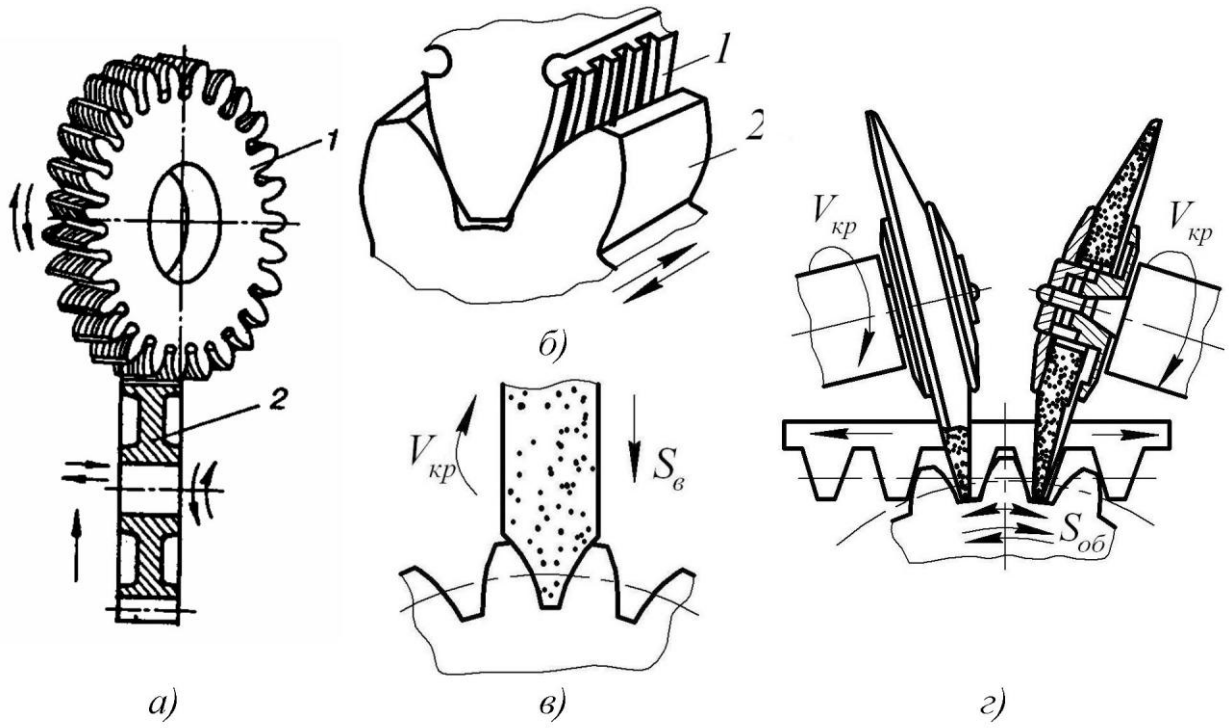


Рисунок 38 — *Схеми чистової обробки зубів зубчастих коліс*

При шевінгуванні обертальний рух надається шеверу. Заготовка крім обертання здійснює зворотно-поступальний рух вздовж осі для зняття стружки з усієї довжини зуба, а після кожного подвійного ходу подається в радіальному напрямі. Для рівномірної обробки обох боків зубів напрям обертання шевера, а, отже і заготовки, періодично змінюється.

На загартованих зубчастих колесах значні похибки бічних поверхонь зубів, які виникли після термічної обробки, усувають ***зубошліфуванням.*** Цей метод забезпечує високу точність і низьку шорсткість поверхонь зубів і може бути використаним при обробці як циліндричних, так і конічних зубчастих коліс.

Шліфування зубів циліндричних коліс здійснюють методом копіювання і обкатки. Метод копіювання за своєю суттю аналогічний зубонарі- занню дисковою модульною фрезою. Евольвентний профіль зуба відтворюється абразивними кругами, що мають профіль впадин оброблюваного колеса (рис. 38, в). Шліфувальний круг здійснює головний рух $y_{кр}$, зворотно-поступальний рух вздовж зуба і періодичну вертикальну подачу $s_в$. Шліфування кожного зуба здійснюється за кілька проходів, після чого заготовка повертається на один зубець і процес повторюється.

Шліфування зубів методом обкатки ґрунтується на принципі зачеплення оброблюваного колеса із зубчастою рейкою. При цьому елементи уявної рейки утворені абразивними інструментами. Так, рейку можуть замінити два абразивні тарілчасті круги (рис. 38, *г),* шліфувальні торці яких розташовані вздовж сторін зубів рейки. Шліфувальні круги обертаються і рухаються зворотно-поступально вздовж осі колеса. Колесо, яке шліфується, робить обертальний рух обкатки і прямолінійне переміщення в поперечному напрямі, що відповідає перекочуванню колеса по нерухомій рейці. Після шліфування одного зуба заготовка робить ділильний поворот, шліфується другий зуб і т.д.

Контрольні питання

1. Які методи чистової обробки ви знаєте?
2. Дайте характеристику хонінгуванню.
3. В чому полягає притирання?
4. Які методи чистової обробки зубчастих коліс ви знаєте?
5. Що таке шевінгування?
6. Які методи зубошліфування ви знаєте?

12 ОБРОБКА ЗАГОТОВОК ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

12.1 Загальні відомості

Методи обробки без зняття стружки застосовують при виготовленні деталей машин у зв'язку з їх високою продуктивністю, здатністю створювати поверхні з малою шорсткістю та необхідними фізико-механічними властивостями поверхневого шару. Методами обробки без зняття стружки отримують тільки ті поверхні, які будуть працювати в спряженні з поверхнями інших деталей.

Методи обробки ґрунтуються на використанні пластичних властивостей металів, тобто властивості металевих заготовок приймати залишкові деформації без порушення суцільності металу. Обробка методами пластичного деформування супроводжується зміцненням поверхневого шару, що є дуже важливим для підвищення надійності роботи деталей. Деталі стають менш чутливими до руйнування від утомленості, підвищується їх корозійна стійкість і зносостійкість спряжень, видаляються риски та мікро- тріщини, що залишилися від попередньої обробки.

Методи обробки поверхневим пластичним деформуванням поділяють на дві групи: формоутворювальні (накатування різьб, шліцьових валів, зубчастих коліс) і зміцнювально-калібрувальні (обкатування і розкачування поверхонь, калібрування, ультразвукове деформаційне зміцнення, дро- бструминне зміцнення тощо).

12.2 Формоутворювальні методи

Формоутворення фасонних поверхонь у холодному стані методом накатування має низку суттєвих переваг. Головні з них - висока продуктивність, невелика вартість обробки, висока якість оброблених деталей. Профіль накатуваних деталей утворюється не вирізуванням, а вдавлюванням інструмента в матеріал заготовки і видавлюванням частини його у впадини інструмента. Такі методи використовують для утворення різьб, валів з дрібними шліцами, зубчастих дрібномодульних коліс (рис. 39)

При формуванні різьби плашками (рис. 39, *а)* заготовка *2* встановлюється між нерухомою *1* і рухомою *3* плашками, які мають на робочих поверхнях рифлення, профіль і розташування яких відповідає профілю і кроку різьби, що

накатується. При переміщенні рухомої плашки заготовка котиться між інструментами, а на її поверхні утворюється різьба.

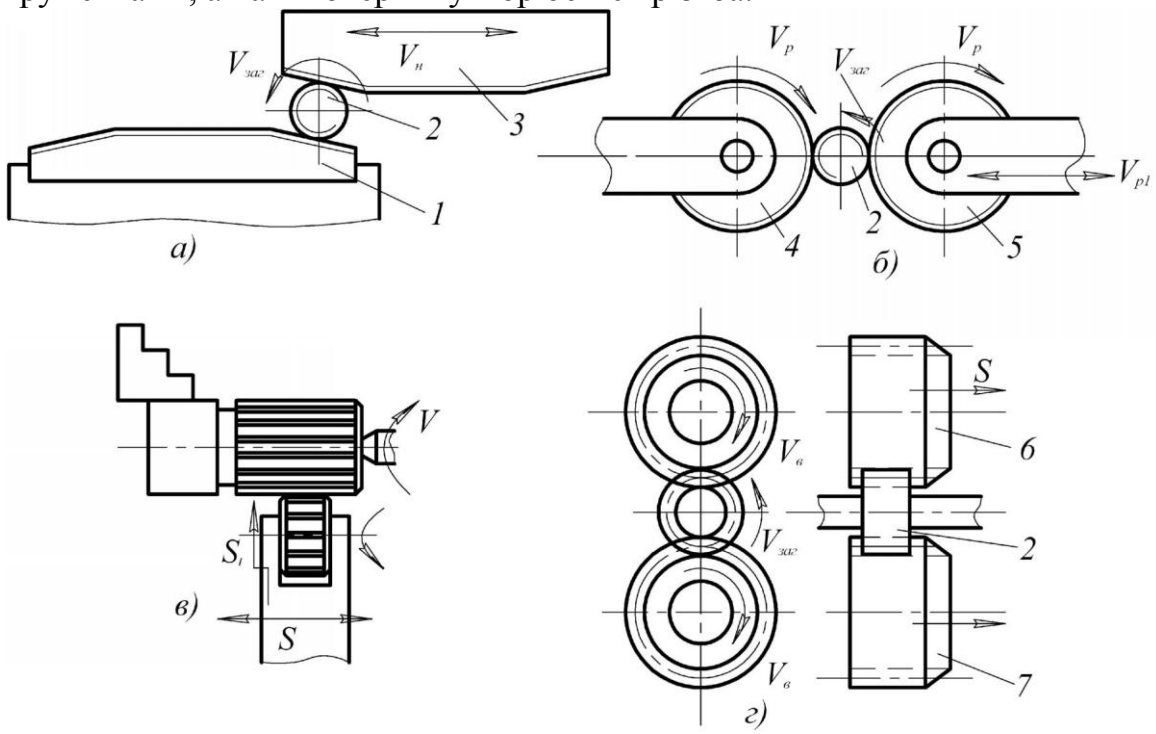


Рисунок 39 — *Схеми формоутворювальних методів обробки пластичним деформуванням*

При формуванні різьби роликами (рис. 39, б) ролики *4* і *5* отримують примусове обертання, заготовка *2* вільно обертається між ними. Ролику *5* надається радіальний рух для вдавлювання в метал заготовки на необхідну глибину. Накатування роликами застосовують для отримання різьб з більшими кроками.

При накатуванні дрібних шліців на валах (рис.39, *в)* накатний ролик має профіль шліців. Він заглиблюється в заготовку при обертанні і переміщенні вздовж вала.

Накатування циліндричних (рис. 39, *г)* і конічних дрібномодульних коліс в 15...20 разів більш продуктивне, ніж зубонарізання. Процес здійснюється накатниками *6* і 7, які мають конічну передню частину для поступового утворення зубів на заготовці 2.

Після гарячого накатування точність зубів можна підвищити наступним холодним калібруванням, що дає можливість замінити чистове зубо-фрезерування і навіть шевінгування.

12.3 Зміцнювально-калібрувальні методи

Зміцнювально-калібрувальні методи обробки деталей здійснюють для підвищення точності поверхонь і збільшення опору втомлюваності деталей. До таких методів обробки відносяться обкатування і розкатування циліндричних, конічних, плоских і фасонних зовнішніх і внутрішніх поверхонь а також калібрування отворів.

Обкатування зовнішніх і внутрішніх поверхонь роликами. Процес обробки полягає в тому, що поверхню деталі, яка обертається, обкатують притиснутими до неї одним, двома або трьома гладенькими роликами, виготовленими з загартованої сталі. В процесі обробки мікронерівності оброблюваної поверхні згладжуються а поверхня наклепується, внаслідок чого твердість поверхневого шару збільшується на 40.. .50%.

На рис.40 показані розповсюджені методи обкатування (рис.40, *а ,б)* і розкатування (рис. 40, *в, г)* поверхонь.

Ці операції можна виконувати на токарних, револьверних, карусельних верстатах, використовуючи замість різального інструмента обкатки і розкатки. Супорти верстатів забезпечують необхідну подачу.

Калібрування отворів підвищують точність отворів і отримують поверхні високої якості. Суть калібрування полягає в переміщенні в отворі жорсткого інструмента, розміри поперечного перерізу якого дещо більші за розміри поперечного перерізу отвору. При цьому інструмент згладжує нерівності, виправляє дефекти поверхні і зміцнює її.

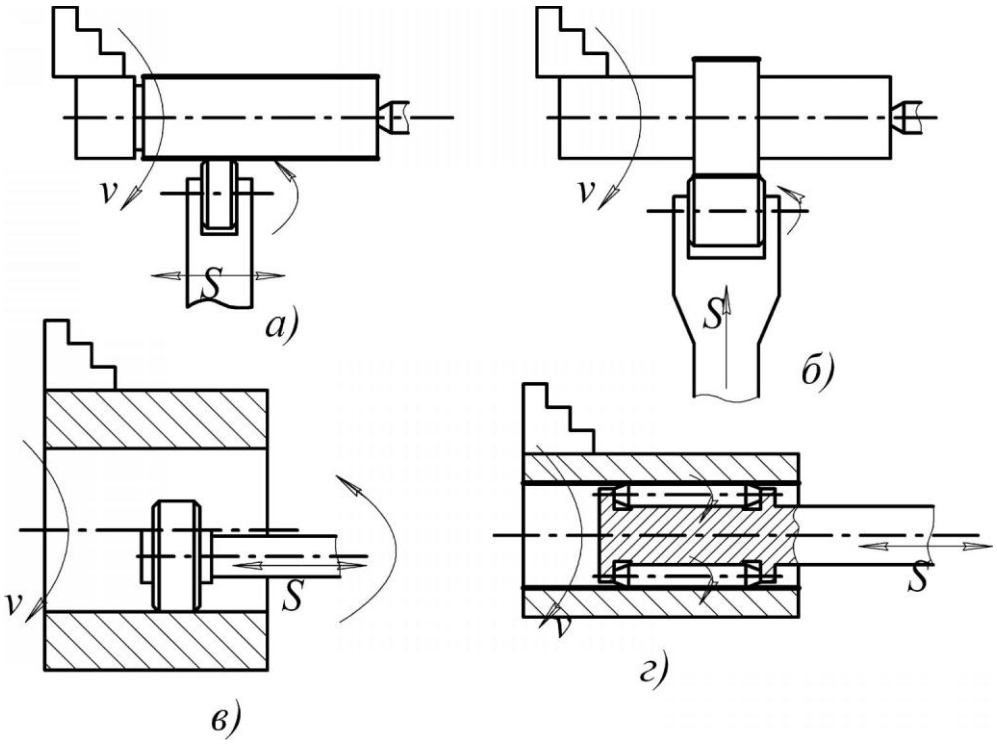


Рисунок 40 — *Схеми накатування і розкатування поверхонь*

Найпростішим інструментом є стальна загартована кулька, яка проштовхується крізь попередньо досить точно оброблений отвір (рис. 41, а). Роль інструмента може виконувати також оправка - **дорн,** який проштовхується (рис. 41, б) або протягається (рис. 41, *в)* через отвір.

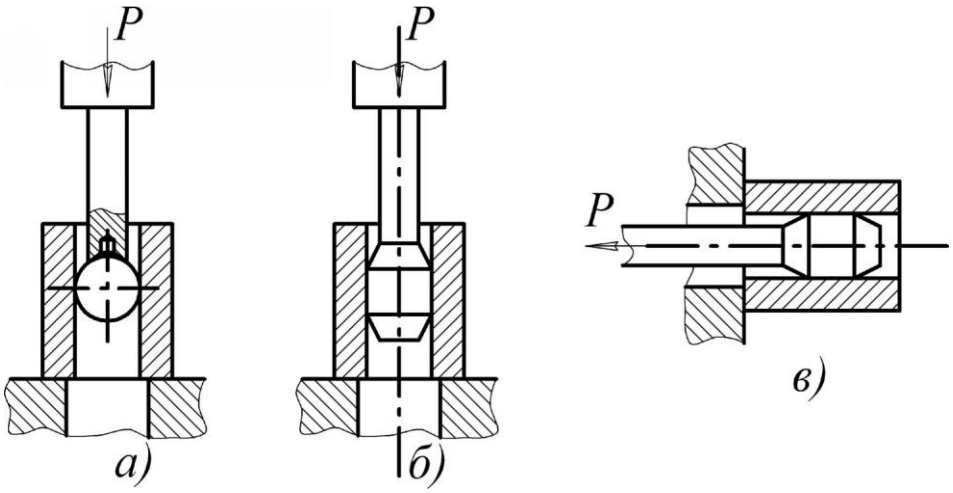


Рисунок 41 — *Схеми калібрування отворів*

Заготовки оброблюють за один чи кілька проходів на пресах (рис. 41, *а, б)* або горизонтально-протяжних верстатах (рис. 41, *в)*.

Контрольні питання

1. Основні методи обробки поверхневим пластичним деформуванням.
2. Наведіть основні схеми накатування різьб, зубів зубчастих коліс.
3. Наведіть схеми обкатування і розкатування поверхонь.
4. Наведіть схеми калібрування отворів.

13 ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ

В машинобудуванні часто виникають технологічні проблеми, пов'язані з обробкою матеріалів і деталей, форму і стан поверхневого шару яких важко отримати механічними методами. До таких проблем відноситься обробка надто твердих, дуже в'язких, крихких і неметалевих матеріалів, тонкостінних нежорстких деталей, пазів і отворів, які мають розміри в кілька мікрометрів, поверхонь деталей з малою шорсткістю або малою товщиною дефектного поверхневого шару. Такі проблеми вирішуються застосуванням електрофізичних і електрохімічних (ЕФЕХ) методів обробки.

ЕФЕХ методи обробки з успіхом доповнюють обробку різанням, а в деяких випадках мають переваги перед нею. Так, при ЕФЕХ методах обробки силові навантаження або відсутні, або настільки незначні, що практично не впливають на точність обробки. Вони дозволяють не тільки змінювати форму оброблюваної поверхні заготовки, але і впливати на стан поверхневого шару. Так, наприклад, оброблена поверхня не зміцнюється, дефектний шар незначний, видаляються припали поверхні, отримані при шліфуванні тощо. При цьому підвищуються зносостійкі, корозійні, міцністні та інші експлуатаційні властивості деталей.

ЕФЕХ методи обробки поділяють на такі групи:

1) електроерозійні методи обробки;
2) електрохімічна обробка;
3) анодно-механічна обробка;
4) ультразвукова обробка;
5) променеві способи обробки.

13.1 Електроерозійні методи обробки

Електроерозійні методи обробки ґрунтуються на законах ерозії (руйнування) електродів із струмопровідних матеріалів при пропусканні через них імпульсного електричного струму. До цих методів відносять електроіскрову, електроімпульсну, високочастотні електроіскрову та елек- троімпульсну і електроконтактну обробки.

Якщо на електродах є різниця потенціалів, то відбувається іонізація міжелектродного простору. Коли напруга досягає певного значення, в середовищі між електродами утворюється канал провідності, по якому проходить електрична енергія у вигляді імпульсного іскрового чи дугового розряду. При високій концентрації енергії, що витрачається за $10^{-5}.10^{-8}$ с, миттєва густина струму в каналі провідності досягає 8000.10000 А/мм , внаслідок чого температура на поверхні оброблюваної заготовки-електрода зростає до 10000.12000 °С. При такій температурі миттєво оплавляється і випаровується елементарний об'єм металу і на оброблюваній поверхні утворюється лунка. Видалений метал затвердіває в газовому середовищі або в діелектричній рідині (гас, мінеральне масло у вигляді гранул діаметром 0,01.0,005 мм).

Наступний імпульс струму пробиває міжелектродний простір там, де відстань між електродами найменша. При безперервному підведенню до електродів імпульсного струму процес ерозії продовжується до тих пір, поки не видалиться увесь метал, що знаходиться між електродами на відстані, на якій можливий електричний пробій (0,01.0,05мм). Для продовження процесу необхідно зближувати електроди до вказаного значення. Це зближення здійснюється на верстатах для електроерозійної обробки автоматично.

13.1.1 Електроіскрова обробка

При електроіскровій обробці використовують імпульсні іскрові розряди між електродами, одним з яких є заготовка (анод), а другим - інструмент (катод).

Схема електроіскрового верстата з генератором імпульсів RC показана на рис. 42. Конденсатор С, включений в зарядний контур, заряджається через резистор R від джерела постійного струму напругою 100...200 В. Коли напруга на електродах, що утворюють розрядний контур, досягне пробійного значення, відбувається розряд енергії, накопиченої конденсатором. Тривалість імпульсу становить 20.. .200 мкс.

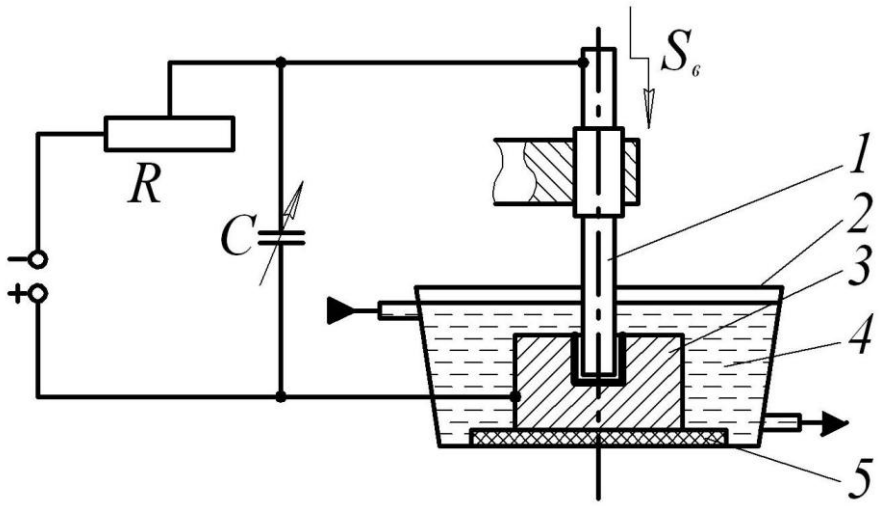


Рисунок 42 - *Схема електроіскрового верстата 1* - електрод-інструмент; *2* - ванна; *3* - електрод-заготовка; *4* - діелектрична рідина; *5* - ізолятор

Регулюючи ємність конденсатора, можна регулювати режим обробки, тобто продуктивність процесу. М'які режими дозволяють отримувати розміри з точністю до 0,002 мм при шорсткості поверхні 0,63.0,16 мкм. Інструменти-електроди виготовляють з мідно-графітових та інших матеріалів.

Електроіскровим методом оброблюють практично будь-які струмопровідні матеріали, але ефект ерозії *(електроерозійна оброблюваність)* при однакових параметрах електричних імпульсів буде різним. Так, якщо прийняти електроерозійну оброблюваність сталі за одиницю, то для інших металів її можна виразити в таких відносних одиницях: тверді сплави - 0,5; титан - 0,6; нікель - 0,8; мідь - 1,1; латунь - 1,6; алюміній - 4; магній - 6.

На рис. 43 показані приклади електроіскрової обробки деталей. Це обробка наскрізних отворів будь-якого поперечного перерізу (а), глухих отворів і порожнин *(б),* фасонних отворів і порожнин за способом трепанації (в), отворів з криволінійними осями (г); вирізання заготовок з листового матеріалу з використанням інструмента-електрода з дроту або стрічки (д), плоске, кругле і внутрішнє (е) шліфування, розрізання заготовок, клеймування деталей.

Електроіскрову обробку застосовують для виготовлення штампів, прес-форм, фільєр, деталей паливної апаратури двигунів внутрішнього згорання, сіток, сит тощо.

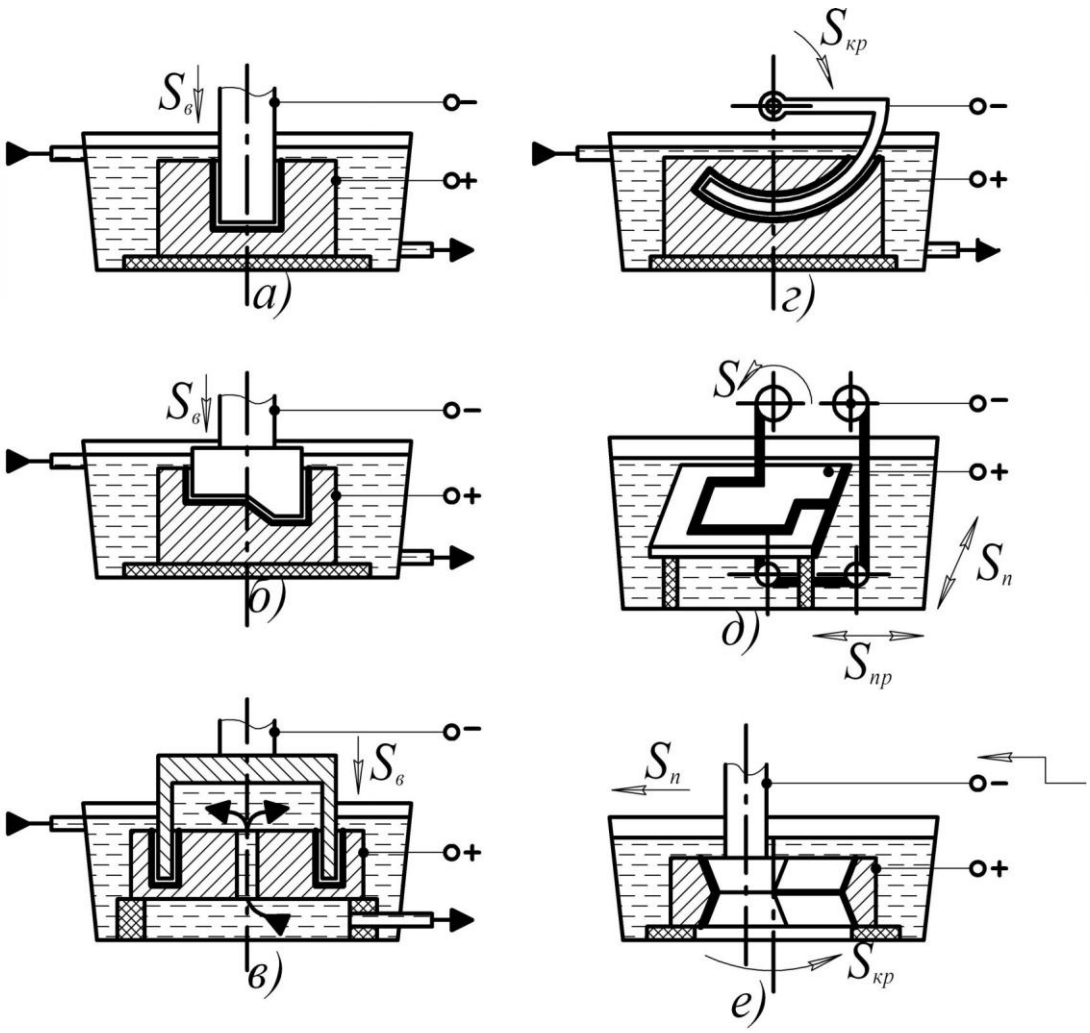


Рисунок 43 — *Схеми електроіскрової обробки а* - прошивання отвору; *б* - обробка фасонної порожнини штампа; *в* - прошивання отвору за способом трепанації; г - прошивання криволінійного отвору; *д* - вирізування заготовки з листа; *е* - шліфування внутрішньої поверхні фільєри

13.1.2 Електроімпульсна обробка

При електроімпульсній обробці використовують електричні імпульси великої тривалості (500.10000 мкс), внаслідок чого відбувається дуговий розряд. Значні потужності імпульсів, отриманих від електронних чи машинних генераторів, забезпечують високу продуктивність процесу обробки. Застосування графітових електродів і обробку на зворотній полярності (заготовка - катод) дозволило зменшити руйнування електродів.

Електроімпульсну обробку доцільно застосовувати при попередній обробці штампів, турбінних лопатей, фасонних отворів в деталях із жароміцних сплавів. Вона в 8.. .10 раз продуктивніша, ніж електроіскрова.

13.1.3 Високочастотна електроіскрова обробка

Цей спосіб обробки застосовують для підвищення точності і зменшення шорсткості поверхонь, оброблених електроерозійним методом. Спосіб ґрунтується на використанні електричних імпульсів малої потужності при частоті 100.150 *кГц.*

Продуктивність методу в 30.50 раз вища, ніж при електроіскровому методі при значному збільшенні точності і зменшенні шорсткості. Спрацювання інструмента незначне.

Високочастотний електроіскровий метод застосовують для обробки деталей з твердих сплавів, оскільки він виключає структурні зміни і утворення мікротріщин у поверхневому шарі матеріалу оброблюваної заготовки.

13.1.4 Електроконтактна обробка

Електроконтактна обробка ґрунтується на місцевому нагріванні заготовки в місці контакту з електродом-інструментом і видаленні розм'якшеного або навіть розплавленого металу із зони обробки механічним шляхом при відносному рухові заготовки та інструмента. Джерелом тепла в зоні обробки є імпульсні дугові розряди. Видалення металу із заготовки *1* (рис. 44) здійснюється у повітряному середовищі обертовим дис- ком-електродом 2. При обертанні диска зі швидкістю до 30 м/с між ним і заготовкою, які з'єднані з джерелом живлення *3* (знижувальним трансформатором), виникають в місцях періодичного розриву контактів дугові розряди, під дією яких руйнується метал заготовки.

Електроконтактну обробку рекомендують для обробки великих деталей з вуглецевих і легованих сталей, чавуну, кольорових, тугоплавких і спеціальних сплавів. Її застосовують при: зачищенні виливків від задирок; відрізанні ливників і прибутків; зачищенні прокату; чорновому зовнішньому; внутрішньому і плоскому шліфуванні великих деталей машин з важкооброблюваних сплавів; шліфуванні з одночасним поверхневим гартуванням деталей з вуглецевих сталей. Метод не забезпечує високої точно-

сті і якості пове з заготовки.

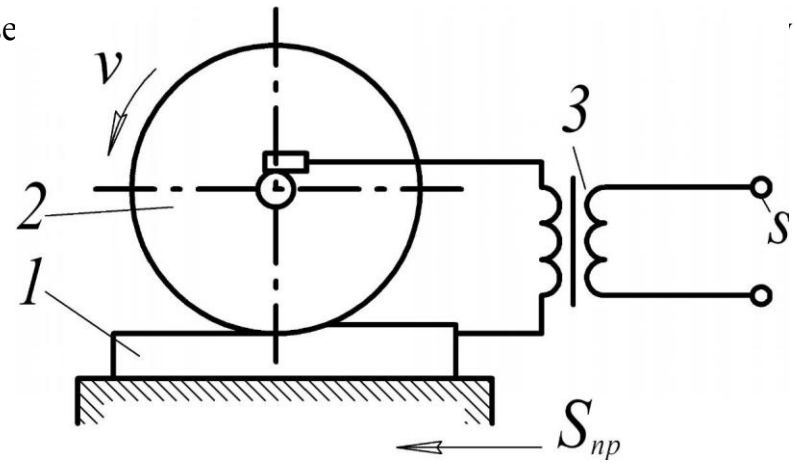


Рисунок 44 *- Схема електроконтактної обробки плоскої поверхні*

Контрольні питання

1. На яких явищах ґрунтуються електроерозійні методи обробки?
2. Суть, схема і застосування електроіскрової обробки.
3. Суть, схема і застосування електроконтактної обробки.

13.2 Електрохімічна обробка

Електрохімічні методи обробки ґрунтуються на законах анодного розчинення при електролізі. При пропусканні постійного електричного струму через електроліт на поверхні заготовки, що є анодом, відбуваються хімічні реакції і поверхневий шар металу перетворюється в хімічну сполуку, яка переходить у розчин або видаляється механічним способом.

13.2.1 Електрохімічне полірування

Електрохімічне полірування виконують у ванні 1з електролітом (рис. 45). В залежності від оброблюваного матеріалу електролітом є розчини кислот або лугів. Заготовку *2* підключають до анода; електродом-катодом *3* є свинцева, мідна або стальна пластина. Для більшої інтенсивності процесу електроліт підігрівають до температури 40.. .80°С.

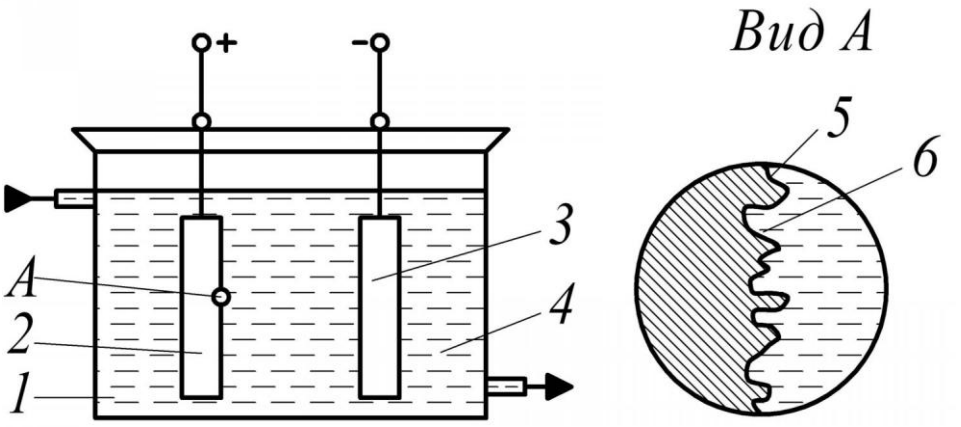


Рисунок 45 *- Схема електрохімічного полірування*

При подачі струму на електроди починається процес розчинення матеріалу заготовки-анода. Розчинення відбувається головним чином на виступах *5* мікронерівностей поверхні внаслідок більш високої густини струму на їх вершинах. Впадини між мікровиступами заповнюються продуктами розчинення 6. Внаслідок більшої швидкості розчинення виступів, мікронерівності згладжуються і оброблювана поверхня набуває металевого блиску.

13.2.2 Електрохімічна розмірна обробка

Цей вид обробки виконують у струмені електроліту, який прокачується під тиском крізь простір, що утворюється між заготовкою-анодом *2* і інструментом-катодом *1* (рис. 46).

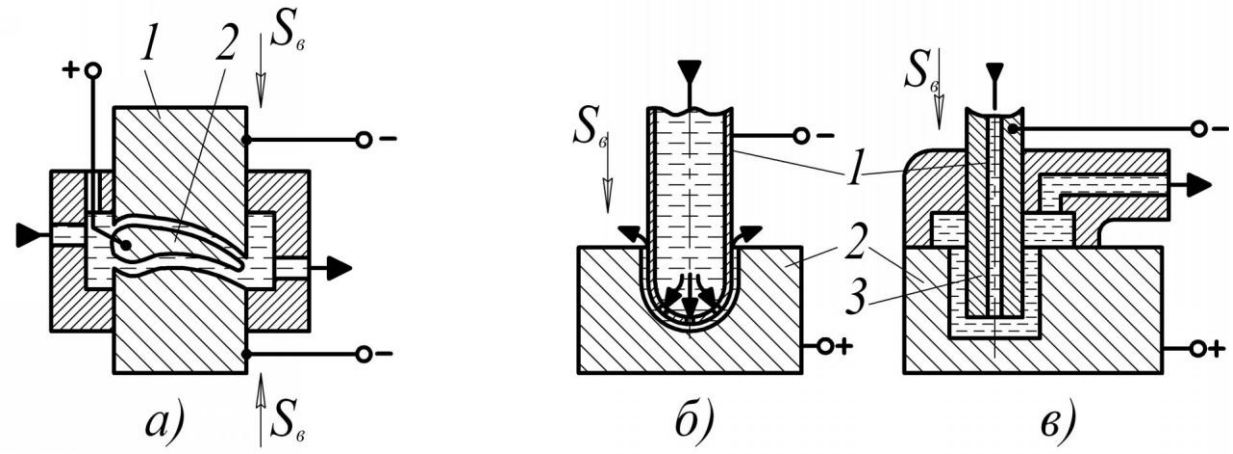


Рисунок 46 *- Схеми електрохімічної розмірної обробки*

Струмінь електроліту, що безперервно подається в міжелектродний простір, розчиняє солі, які утворюються на заготовці, і видаляє їх із зони обробки.

При цьому способі одночасно оброблюється вся поверхня заготовки, яка знаходиться під активною дією катода, що забезпечує високу продуктивність процесу. Ділянки заготовки, які не потребують обробки, ізолюють. Інструменту надають форму, обернену формі оброблюваній поверхні. Зношування інструмента відсутнє. Спосіб рекомендують для обробки заготовок з високоміцних і важкооброблюваних матеріалів. Відсутність тиску

інструмента на заготовку дозволяє оброблювати нежорсткі тонкостінні деталі з високою точністю і якістю обробленої поверхні.

Для розмірної електрохімічної обробки використовують нейтральні електроліти. Найчастіше застосовують розчини солей №С1, NN03 і $Na2S0_4$.

На рис. 46 показані схеми обробки турбінної лопаті (а), штампа *(б)* і схема прошивання наскрізного циліндричного отвору (в). В останньому випадку для попередження збільшення діаметра отвору інструмент *1* ізолюється діелектриком 3.

13.2.3 Електроабразивна і електроалмазна обробки

При цих методах обробки інструментом-електродом є шліфувальний круг, виготовлений з абразивного матеріалу на електропровідній зв'язці (бакелітова зв'язка з графітовим наповнювачем). Між анодом-заготовкою *1* (рис.47, а) і катодом-шліфувальним кругом є зазор, утворений зернами 2, які виступають із зв'язки 3. В цей зазор подається електроліт. Продукти анодного розчинення матеріалу заготовки видаляються абразивними зернами при обертанні шліфувального круга.

При електроабразивній обробці 85.90% припуску видаляється за рахунок анодного розчинення і 15.10% за рахунок механічної дії абразивного круга. При електроалмазній обробці ~ 75% припуску видаляється за рахунок анодного розчинення і ~ 25% - за рахунок механічної дії алмазних зерен.

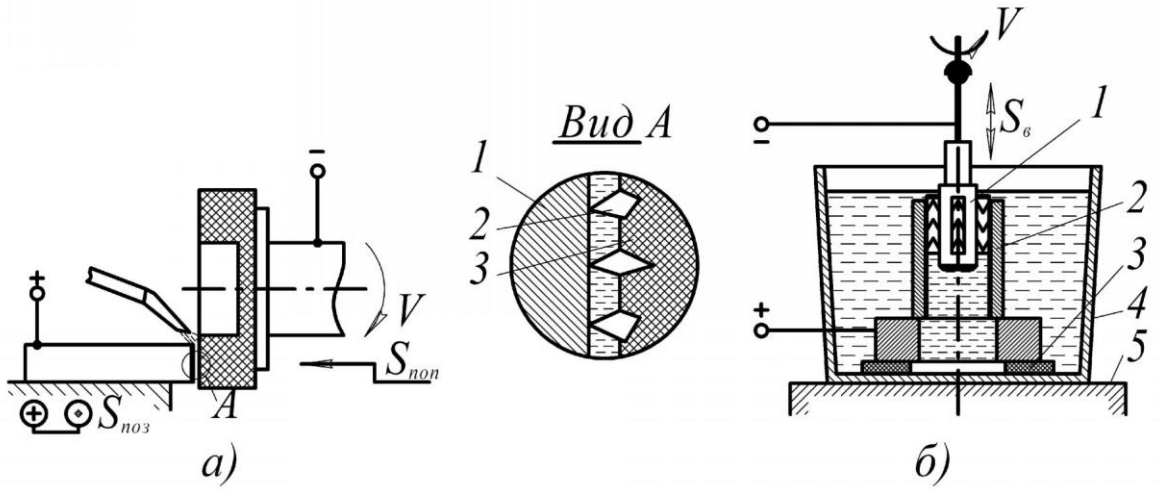


Рисунок 47 — *Схема електроабразивного шліфування (а) і електрохімічного хонінгування (б)*

Чистову обробку поверхонь можна проводити електрохімічним хонінгуванням (рис.47, б). Відмінність його від хонінгування абразивними головками полягає в тому, що заготовку *2* встановлюють у ванну *4* з електролітом і підключають до анода. Хонінгувальну головку *1* підключають до катода. Замість абразивних брусків в головці встановлюють дерев'яні чи пластмасові. Заготовку від ванни, яка встановлена на столі хонінгувального верстата 5, ізолюють неелектропровідним матеріалом *3*. Продукти анодного розчинення видаляються з оброблюваної поверхні брусками при обертальному і зворотно-поступальному рухах хонінгувальної головки. Поверхня набуває

дзеркального блиску. Продуктивність електрохімічного хонінгування в 4 . 5 разів вища продуктивності механічного хонінгування.

Контрольні питання

1. На яких явищах ґрунтується електрохімічна обробка?
2. Суть і схема електрохімічного полірування.
3. Суть і схема розмірної електрохімічної обробки.
4. Суть і схема електроабразивної обробки.

13.3 Анодно-механічна обробка

Анодно-механічна обробка ґрунтується на поєднанні електротермічних і електромеханічних процесів і займає проміжне положення між електроерозійними і електрохімічними методами. Оброблювану заготовку підключають до анода, а інструмент - до катода. В залежності від характеру обробки і виду оброблюваної поверхні як інструмент використовують металеві диски, циліндри, стрічку, дріт. Обробка проводиться в середовищі електроліту, котрим найчастіше є водний розчин рідкого натрієвого скла. Заготовці й інструменту задають такі ж рухи, як і при звичайних методах механічної обробки. Електроліт подають в зону обробки безперервно крізь сопло. При пропусканні через розчин електроліту постійного електричного струму відбувається процес анодного розчинення, як при електрохімічній обробці. При стиканні інструмента-катода з мікронерівностями оброблюваної поверхні заготовки-анода відбувається процес електроерозії, як при електроіскровій обробці. Крім того, при пропусканні електричного струму метал заготовки в точці контакту з інструментом розігрівається так, як при електроконтактній обробці і метал заготовки розм'якшується. Продукти електроерозії й анодного розчинення видаляються із зони обробки при відносних рухах інструмента і заготовки.

Анодно-механічним способом оброблюють заготовки зі всіх струмопровідних металів і сплавів, в'язких матеріалів.

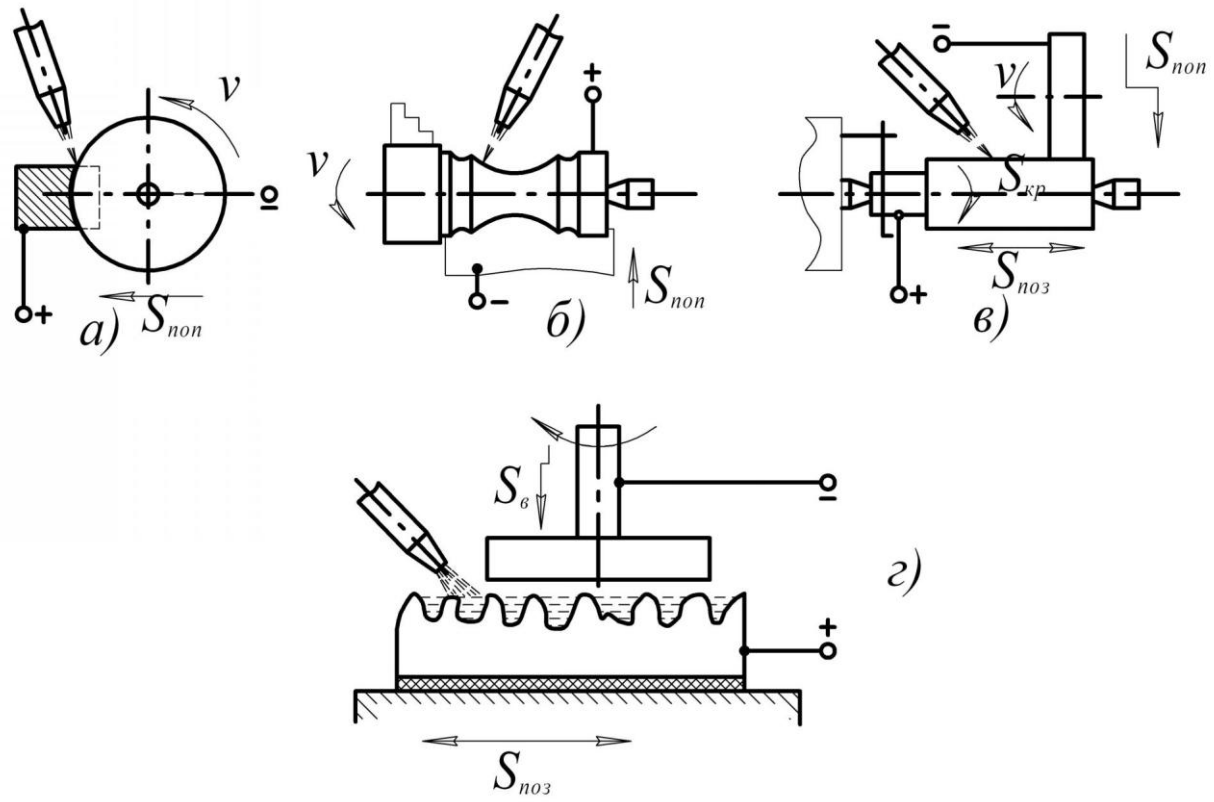


Рисунок 48 *— Приклади анодно-механічної обробки*

На рис. 48 показані схеми прикладів анодно-механічної обробки: розрізання заготовки на частини, прорізання пазів, щілин *(а),* обточування поверхонь тіл обертання (б), круглого шліфування (в), обробка плоскої поверхні (г).

Анодно-механічним методом також полірують поверхні, заточують різальний інструмент.

Контрольні питання

1. В чому полягає суть анодно-механічної обробки?
2. Наведіть приклади та схеми анодно-механічної обробки.

13.4 Ультразвукові та променеві методи

13.4.1 Ультразвукова обробка

Ультразвукова обробка матеріалів ґрунтується на руйнуванні оброблюваного матеріалу абразивними зернами під ударами інструмента, який коливається з ультразвуковою частотою. Джерелом енергії є ультразвукові генератори струму з частотою 16.30 кГц. На рис. 49 показана схема ультразвукової обробки. Основними елементами ультразвукового верстата є магнітострикційний вібратор 4, на обмотку якого подається струм високої частоти від ультразвукового генератора, і концентратор 3, що збільшує амплітуду коливань до 10.60 мкм. На концентраторі закріплюють

робочий інструмент - пуансон 2. Під ним у ванну встановлюють заготовку *1* і в зону обробки подають суспензію з води і абразивного матеріалу (карбідів бору чи кремнію або електрокорунду). Інструмент притискують до заготовки силою 1.60 Н.

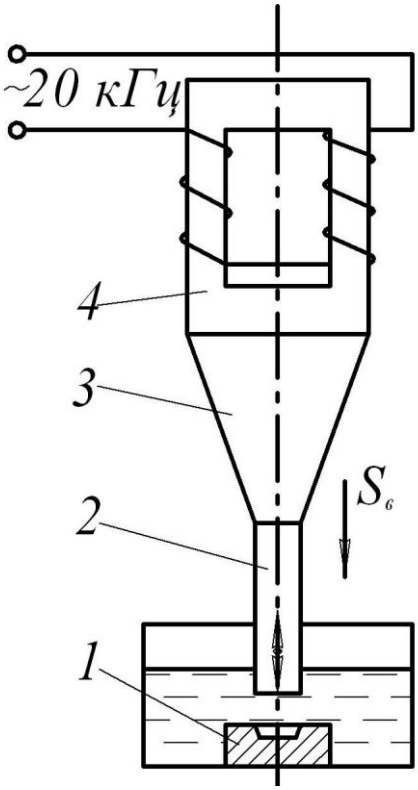


Рисунок 49 — *Схема ультразвукової обробки*

Ультразвуковим методом оброблюють наскрізні і глухі отвори будь- якої форми поперечного перерізу, фасонні порожнини, розрізають заготовки на частини, прошивають отвори з криволінійними осями тощо. Цим методом можна обробляти крихкі тверді матеріали: скло, кераміку, тверді сплави, титан, вольфрам, дорогоцінні мінерали.

Робочі інструменти для обробки отворів діаметром 0,5.20 мм виконують суцільними; діаметром 20.100 мм - порожнистими. Внутрішні порожнини обробляють пуансонами, форма торців яких обернена формі оброблюваної поверхні. Інструменти виготовляють із загартованих (ЖС 35.40), але в'язких матеріалів.

Точність розмірів і шорсткість поверхонь, оброблених ультразвуковим методом, залежать від зернистості використовуваних абразивних матеріалів і відповідають точності і шорсткості поверхонь, оброблених шліфуванням.

13.4.2 Променеві методи обробки

До променевих методів формоутворення поверхонь деталей машин відносять електронно-променеву та світлопроменеву (лазерну) обробки.

Електронно-променева обробка ґрунтується на перетворенні кінетичної енергії спрямованого на оброблювану деталь пучка електронів в теплову. Висока густина енергії електронного променя, сфокусованого на

7 2

дуже малих площах (до 10 см), викликає практично миттєве нагрівання поверхні деталі до 6000°С, внаслідок чого навіть найбільш важкоплавкий метал в цій зоні випаровується. А на відстані 1 мкм від кромки променя температура не перевищує 300°С. Тривалість імпульсів і інтервали між ними підбирають так, щоб за один цикл встиг нагрітися і випаруватися метал тільки під променем. Тривалість імпульсів становить 10^{-4} ...10^{-6} с, а частота 50.6000 Гц. Система керування переміщенням електронного променя забезпечує обробку заготовки необхідного профілю за наперед заданою програмою.

Електронно-променевим методом оброблюють отвори діаметром 1 мм.10 мкм, прорізають пази, ріжуть заготовки, виготовляють тонкі плівки і сітки з фольги. Оброблюють заготовки з важкооброблюваних металів і сплавів, з неметалевих матеріалів: рубіну, кераміки, кварцу, напівпровідникових матеріалів.

Недоліком електронно-променевої обробки є те, що вона можлива тільки у вакуумі.

Лазерна обробка ґрунтується на тепловій дії світлового променя високої енергії на поверхню оброблюваної заготовки. Джерелом світлового випромінювання є лазер - оптичний квантовий генератор. Енергія світлового імпульсу лазера зазвичай невелика (20.100 Дж), але вона виділяється в мілiонні частки секунди і концентрується у сфокусованому промені діаметром кілька мікрометрів, що забезпечує температуру 6000.8000°С.

Внаслідок цього поверхневий шар матеріалу заготовки, що знаходиться у фокусі променя, миттєво розплавляється і випаровується.

Лазерну обробку застосовують для прошивання отворів, розрізання заготовок на частини, вирізання заготовок з листових матеріалів, прорізання пазів. Обробляти можна заготовки з будь-яких матеріалів, незалежно від їх твердості, міцності та в'язкості. Переміщенням заготовки відносно світлового променя керують системи програмного керування, що дозволяє прорізати в заготовках складні криволінійні пази та вирізати із заготовок деталі складної геометричної форми.

Контрольні питання

1. На якому принципі ґрунтується ультразвукова обробка?
2. Наведіть схему ультразвукової обробки.
3. На яких принципах ґрунтуються променеві методи обробки?
4. Які методи променевої обробки Ви знаєте?
5. Для яких виробів доцільне застосування променевих методів обробки?