

ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Конспект лекцій
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
денної та заочної форм здобуття освіти за спеціальностями
А5.34 «Професійна освіта (Машинобудування)»,
А5.38 «Професійна освіта (Транспорт)»

Електронний ресурс

Рецензенти:

О. А. Пермяков – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологія машинобудування та металорізальні верстати, НТУ «ХПІ»;

А. М. Чернюк – кандидат тех. наук, доцент, завідувач кафедри електротехніки та електроенергетики, ННІ «УПА», ХНУ імені В. Н. Каразіна.

*Затверджено до розміщення в мережі Інтернет рішенням Науково-методичної ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 1 від 23 жовтня 2025 року)*

- Основи** обробки матеріалів : конспект лекцій для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня денної та заочної форм здобуття освіти за спеціальностями А5.34 «Професійна освіта (Машинобудування)», А5.38 «Професійна освіта (Транспорт)» [Електронний ресурс] / уклад. О. Л. Кондратюк. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2025.– (PDF 153 с.)

У конспекті лекцій стисло розглянуто основи механічної обробки матеріалів. Зокрема розглядаються фізико-механічні основи обробки металів, металорізальні верстати та особливості обробки на них, обробка заготовок поверхневим пластичним деформуванням, електрофізичні та електрохімічні методи обробки. Конспект лекцій розроблений у відповідності з планом кафедри машинобудування, транспорту і зварювання та програмами дисциплін «Основи обробки матеріалів».

Конспект лекцій розрахований на здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» денної та заочної форм здобуття освіти спеціальностей А5.34 «Професійна освіта (Машинобудування)», А5.38 «Професійна освіта (Транспорт)», може бути корисним для аспірантів та інженерно-технічних працівників.

УДК 621.91.01(075.8)

	ЗМІСТ	С.
ПЕРЕДМОВА		7
1. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ОСНОВИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ		8
1.1. Класифікація рухів у металорізальних верстатах		8
1.2. Схеми обробки		9
1.3. Режим різання		9
1.4. Геометричні параметри різального інструмента		11
1.5. Процес стружкоутворення при різанні металів та явища, що його супроводять		14
Контрольні питання		15
2. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ		16
2.1. Інструментальні сталі		16
2.2. Тверді сплави		17
2.3. Мінералокераміка		18
2.4. Абразивні матеріали		19
Контрольні питання		19
3. МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ ВЕРСТАТИ		20
3.1. Класифікація та нумерація металорізальних верстатів		20
3.2. Кінематика верстатів		22
3.3. Кінематична схема верстата		28
Контрольні питання		32
4. ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ ТОКАРНОЇ ГРУПИ		33
4.1. Обробка заготовок на токарних і токарно-гвинторізних верстатах		33
4.2. Обробка заготовок на токарно-револьверних верстатах		36
4.3. Обробка заготовок на токарно-карусельних верстатах		38
Контрольні питання		39
5. ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ СВЕРДЛИЛЬНО-РОЗТОЧУВАЛЬНОЇ ГРУПИ		40
5.1. Обробка заготовок на свердлильних верстатах		40
5.2. Обробка заготовок на розточувальних верстатах		45
Контрольні питання		47
6. ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ		48
6.1. Характеристика методу фрезерування		48
6.2. Типи фрез		48
6.3. Фрезерні верстати		49
6.4. Основні види фрезерних робіт		50

6.5	Ділильні головки	52
6.5.1	Налагодження ділильних головок для фрезерування спіральних канавок	55
	Контрольні питання	56
7.	ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА ПРОТЯЖНИХ ВЕРСТАТАХ	57
7.1	Характеристика методу обробки протяганням	57
7.2	Протяжки	57
	Контрольні питання	58
8.	ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА СТРУГАЛЬНИХ І ДОВБАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ	59
8.1	Характеристика процесу обробки струганням і довбанням	59
8.2	Роботи, які виконують на стругальних верстатах	60
	Контрольні питання	61
9.	НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС	62
9.1	Методи нарізання зубчастих коліс	62
9.2	Нарізання зубчастих коліс на зубофрезерних верстатах	63
9.3	Нарізання зубчастих коліс на зубодовбальних верстатах	64
9.4	Нарізання конічних зубчастих коліс	65
	Контрольні питання	66
10.	МЕТОДИ ЧИСТОВОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ	67
10.1	Обробка заготовок на шліфувальних верстатах	67
10.1.1	Шліфування	67
10.1.2	Абразивний інструмент	68
10.1.3	Схеми круглого і плоского шліфування	69
10.1.4	Режими різання при шліфуванні	71
10.2	Хонінгування	71
10.3	Суперфініш	72
10.4	Притирання	73
10.5	Чистова обробка зубів зубчастих коліс	73
10.6	Обробка заготовок поверхневим пластичним деформуванням	75
10.6.1	Загальні відомості	75
10.6.2	Формоутворювальні методи	75
10.6.3	Зміцнювально-калібрувальні методи	77
	Контрольні питання	78
11.	ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ	79
11.1	Електроерозійні методи обробки	79
11.1.1	Електроіскрова обробка	80

11.1.2	Електроімпульсна обробка	82
11.1.3	Високочастотна електроіскрова обробка	82
11.1.4	Електроконтактна обробка	82
11.2	Електрохімічна обробка	83
11.2.1	Електрохімічне полірування	83
11.2.2	Електрохімічна розмірна обробка	84
11.2.3	Електроабразивна і електроалмазна обробки	84
11.3	Анодно-механічна обробка	85
11.4	Ультразвукові та променеві методи	86
11.4.1	Ультразвукова обробка	86
11.4.2	Променеві методи обробки	87
	Контрольні питання	88
12.	АГРЕГАТНІ ВЕРСТАТИ ТА АВТОМАТИЧНІ ЛІНІЇ	90
12.1	Агрегатні верстати	90
12.1.1	Компоновка агрегатних верстатів	91
12.1.2	Нормалізовані вузли і деталі агрегатних верстатів	93
12.1.3	Класифікація агрегатних верстатів	94
12.1.4	Силові головки агрегатних верстатів	95
12.1.4.1	Загальні відомості і класифікація	95
12.1.4.2	Електромеханічні силові головки з плоским кулачком	95
12.1.4.3	Електромеханічні силові головки з барабанним кулачком	96
12.1.4.4	Гвинтові електромеханічні самодіючі головки	97
12.1.4.5	Гідравлічні самодіючі електромеханічні головки	98
12.1.4.6	Пневмогідравлічні силові головки	98
12.1.4.7	Пневматичні силові головки	99
12.1.5	Силові столи	99
12.1.6	Шпиндельні механізми	100
12.1.6.1	Шпиндельні коробки	100
12.1.7	розточувальні і фрезерні бабки	101
12.2.	Агрегатні верстати з ЧПК	101
12.2.1	Загальні відомості	101
12.2.2	Конструктивні особливості агрегатних верстатів з ЧПК і їх основні вузли	102
12.3.	Автоматичні лінії (АЛ).....	103
12.3.1	Призначення, область використання і класифікація автоматичних ліній	103
12.3.2	Класифікація АЛ	103
12.3.3	Обладнання автоматичних ліній	106
12.3.4	Транспортувальні пристрої для переміщення деталей	106

12.3.5	Завантажувальні пристрої АЛ	108
12.3.6	Накопичувальні пристрої АЛ	110
12.3.7	Конструкції автоматичних ліній	110
12.3.7.1	Автоматичні лінії, складені із універсальних верстатів	110
12.3.7.2	Автоматичні лінії із агрегатних верстатів	111
12.3.7.3	Роторні автоматичні лінії	111
	Контрольні запитання	113
13.	МЕХАТРОНІКА	115
13.1	Основні поняття та визначення мехатроніки	115
13.2	Особливості мехатронних систем	116
13.3	Принципи побудови мехатронних систем	120
13.4	Основні функції керування мехатронних систем	121
13.5	Системи керування мехатронними пристроями	123
13.6	Електричний, гідравлічний та пневматичний приводи мехатронних систем	129
13.7	Датчики мехатронних систем. Класифікація і характеристики	137
13.8	Технологічні машини – гексаподи .	140
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	144

ПЕРЕДМОВА

Конспект лекцій з дисципліни «Основи обробки матеріалів» розроблено відповідно до навчальних програм підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальностями А5.34 «Професійна освіта (Машинобудування)» та А5.38 «Професійна освіта (Транспорт)».

Дана дисципліна є фундаментальною складовою професійної підготовки майбутніх педагогів професійного навчання, які спеціалізуються у технічних галузях. Вивчення курсу сприяє формуванню у студентів системного уявлення про сучасні методи обробки конструкційних матеріалів, принципи побудови технологічних процесів, технічні засоби та інструменти, що використовуються у машинобудуванні, транспортному машинобудуванні, автомобільній справі та суміжних галузях.

У конспекті викладено основні теоретичні положення з механічної, термічної, хімічної, термохімічної та інших видів обробки матеріалів, наведено класифікації способів обробки, розглянуто властивості металів і неметалів, що мають технологічне значення. Подано базову інформацію про сучасне устаткування, інструменти та засоби контролю якості, які широко застосовуються в технологічних процесах машинобудівного і транспортного виробництва.

Окрему увагу приділено питанням безпеки праці, раціонального використання матеріальних ресурсів, екологічності технологій та енергоефективності виробничих процесів. Зміст дисципліни спрямований також на розвиток у студентів педагогічної майстерності та готовності передавати отримані знання у закладах професійної (професійно-технічної) освіти.

Матеріал конспекту можна використовувати під час лекційних занять, при самостійному вивченні дисципліни, підготовці до семінарських і практичних занять, контрольних робіт, модульного оцінювання, заліків і державної атестації. Конспект буде також корисним для викладачів, майстрів виробничого навчання, а також фахівців галузі під час підвищення кваліфікації або оновлення знань у сфері технологій обробки матеріалів.

Автор сподівається, що даний навчальний матеріал стане ефективним інструментом у формуванні професійних і педагогічних компетентностей майбутніх фахівців у галузі машинобудування та транспорту, сприятиме розвитку технічного мислення, а також формуванню відповідального ставлення до технологічних процесів і виробничої діяльності.

ТЕМА 1

1. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ОСНОВИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ

Механічна обробка металів різанням – це процес зрізання різальним інструментом з поверхні заготовки шару металу у вигляді стружки з метою отримання потрібної геометричної форми, точності розмірів, взаємного положення і шорсткості поверхонь деталі.

1.1. Класифікація рухів в металорізальних верстатах

Для здійснення процесу зрізання із заготовки шару металу різальному інструменту і заготовці, які встановлюються і закріплюються в робочих органах верстатів, необхідно надати певний комплекс рухів. Рухи робочих органів верстатів поділяються на рухи *різання, установчі, допоміжні та взаємопов'язані*.

Рухами різання називають такі рухи, які забезпечують знімання з заготовки шару металу або викликають зміну стану обробленої поверхні заготовки. До них належать *головний рух та рух подачі*.

Головний рух забезпечує безпосереднє знімання стружки. Він визначає швидкість деформування при різанні. Рух подачі забезпечує врізання інструмента в матеріал заготовки, тобто безперервність процесу різання.

Головний рух найчастіше буває обертальним (токарні, свердлильні, фрезерні, шліфувальні верстати), поступальним (протяжні верстати) або зворотно-поступальним (довбальні та стругальні верстати). Він може надаватися заготовці, (токарні, поздовжньо-стругальні верстати), інструменту (свердлильні, фрезерні, шліфувальні, поперечно-стругальні верстати) або і заготовці, і інструменту одночасно (наприклад, при свердлінні дрібних отворів або нарізанні різьби на токарних верстатах-автоматах).

Рух подачі у більшості випадків є поступальним. Він може надаватися як інструменту (токарні, свердлильні верстати), так і заготовці (фрезерні, довбальні, стругальні, плоскошліфувальні верстати). В деяких випадках рух подачі може надаватися одночасно як інструменту, так і заготовці. Наприклад, при круглому шліфуванні валів рухами подачі є поздовжнє пересування шліфувального круга (інструмента) і обертання заготовки. Останній рух називається коловою подачею.

У верстатах з обертальним головним рухом рух подачі неперервний, отже і процес різання також неперервний. У верстатах із зворотно-поступальним головним рухом, де робочий рух чергується з холостим, рух подачі здійснюється перед початком кожного робочого ходу і, таким

чином, процес різання є переривчастим.

В металообробці швидкість головного руху позначають V , величину подачі – S .

Рухи, які забезпечують таке положення інструмента відносно заготовки, при якому з неї зрізається певний шар матеріалу, називають установчими.

Допоміжні рухи робочих органів верстатів не мають прямого відношення до процесу різання і потрібні, головним чином, для підвищення продуктивності верстатів. Це такі рухи як транспортування заготовки, закріплення її на верстаті, швидкі переміщення робочих органів тощо.

Взаємопов'язаними рухами називаються рухи, які забезпечують певний взаємний зв'язок між заготовкою та інструментом при деяких видах робіт. Наприклад, при точінні чи фрезеруванні різьби за кожний оберт заготовки інструмент повинен пересунутись вздовж заготовки на крок різьби; при фрезеруванні зубчастих коліс черв'ячними фрезами повинен забезпечуватись рух обкатки, тобто, за один оберт фрези заготовка повинна повернутись на число зубів, рівне числу заходів фрези.

1.2 Схеми обробки

Для будь-якого процесу різання можна скласти схему обробки, на якій умовно показують оброблювану заготовку, її установлення і закріплення на верстаті, положення інструмента відносно заготовки, а також рухи різання (рис. 1.1). Інструмент показують у положенні, що відповідає закінченню обробки поверхні заготовки. Оброблену поверхню виділяють іншим кольором або потовщеними лініями. На схемах обробки показують характер рухів різання та їх технологічне призначення, використовуючи умовні позначення: поздовжню подачу S_{noz} , поперечну – s_{nop} , колову (окружну) – $s_{кол}$, вертикальну – s_v та ін. В процесі різання розрізняють оброблювану поверхню 1, оброблену – 2 і поверхню різання 3.

1.3 Режим різання

Основними елементами режиму різання є швидкість різання, подача і глибина різання.

Швидкістю різання v називають відстань, яку проходить точка різальної кромки інструмента відносно заготовки за одиницю часу. Швидкість різання має розмірність $м/хв$ або $м/с$. Якщо головний рух обертальний, то швидкість різання, $м/хв$:

$$v = \pi D n / 1000$$

де D – діаметр органу, який здійснює головний рух, мм;

n – частота обертання цього органу за хвилину.

Якщо головний рух зворотно-поступальний, а швидкості робочого і холостого ходів різні, то швидкість різання, м/хв:

$$v = Lm(k+1)/100,$$

де L – довжина ходу інструмента чи заготовки (при поздовжньому струганні), мм;

m – число подвійних ходів інструмента чи заготовки за хвилину;

k – коефіцієнт, який показує відношення швидкостей робочого і холостого ходів.

Якщо ці швидкості однакові, то остання формула матиме вигляд:

$$v = 2Lm/1000.$$

Подачею S називають шлях точки різальної кромки інструмента відносно заготовки в напрямі руху подачі за один оберт чи за один хід заготовки або інструмента. Подача в залежності від технологічного способу обробки має розмірність: мм/об. – для точіння і свердління; мм/подв.хід – для довбання, стругання та шліфування; мм/зуб. – для фрезерування.

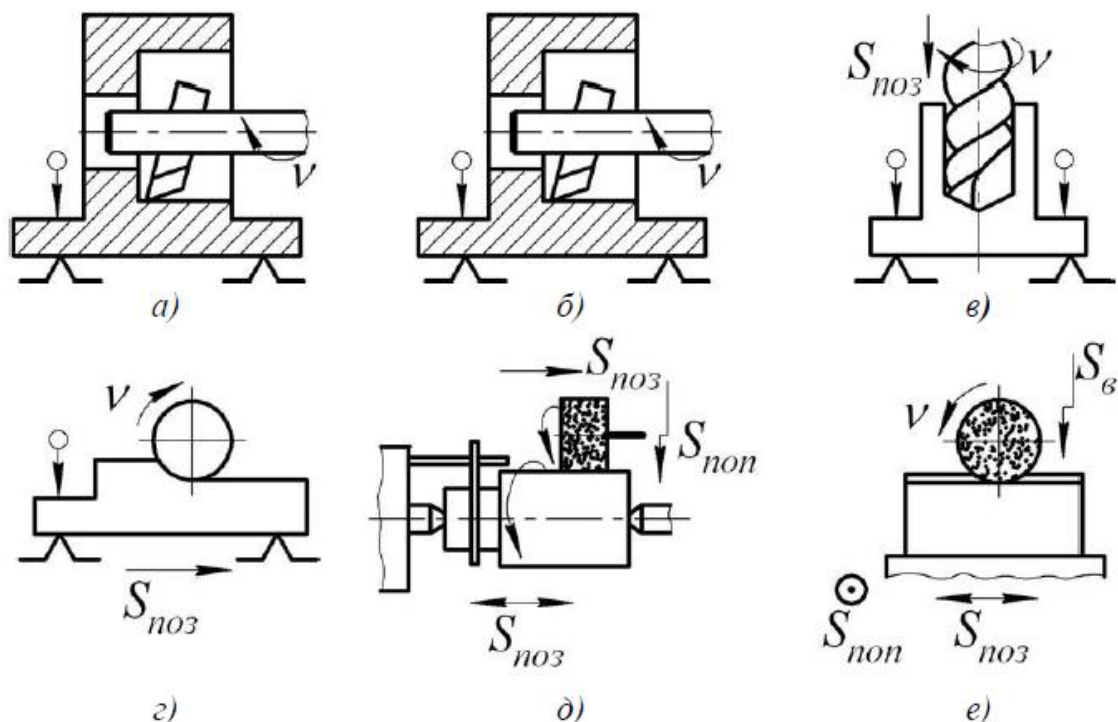


Рисунок 1.1 – Схеми обробки заготовок:

а – точінням; б – розточуванням; в – свердлінням; г – фрезеруванням; д – шліфуванням на круглошліфувальному верстаті; е – шліфуванням на плоскошліфувальному верстаті

Глибиною різання t називають відстань між оброблюваною і обробленою поверхнями заготовки, виміряну перпендикулярно до останньої, тобто товщину матеріалу, що знімається за один прохід. Глибина різання має розмірність *мм*. При точінні $t = (D_{\text{заг}} - d)/2$, де $D_{\text{заг}}$ – діаметр заготовки, *мм*; d – діаметр обробленої деталі, *мм*. При свердлінні $t = D_{\text{св}}/2$, де $D_{\text{св}}$ – діаметр свердла, *мм*; при розточуванні або розсвердлюванні $t = (D_1 - D_0)/2$, де D_1 – діаметр обробленого отвору, *мм*; D_0 – діаметр початкового отвору, *мм*.

1.4 Геометричні параметри різального інструмента

Геометричні параметри різального інструмента доцільно вивчати на прикладі токарного прямого прохідного різця. Геометричні параметри інших різальних інструментів аналогічні цим параметрам.

Токарний різець (рис. 1.2) складається з *робочої частини (головки)* 2 і *стрижня (тіла)* 6, який призначений для закріплення різця в різцетримачі верстата. Різальна робоча частина заточується так, щоб утворити на ній такі поверхні: *передню* 5, по якій сходять стружка, *головну задню* 7, обернену до поверхні різання заготовки, *допоміжну задню* 1, обернену до обробленої поверхні заготовки.

Перетин передньої і головної задньої поверхонь утворює *головну різальну кромку* 4, а перетин передньої і допоміжної задньої поверхонь — *допоміжну різальну кромку* 3. Перетин головної та допоміжної різальних кромок утворює *вершину різця* 8.

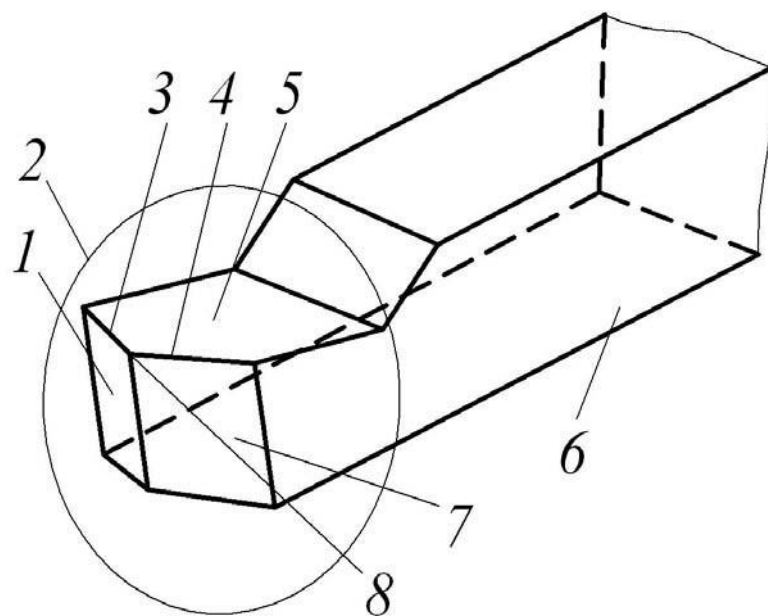


Рисунок 1.2 – Основні частини і елементи токарного різця

Інструмент заточують по передній і задніх поверхнях. З метою вивчення кутів, під якими розташовуються поверхні різальної частини інструмента відносно одна одної, введена статична система координат (рис. 1.3).

Основна площина — це площина, проведена крізь точку різальної кромки різця перпендикулярно до напрямку швидкості головного руху. Вона паралельна поздовжньому чи поперечному переміщенню різця під час роботи верстата.

Площиною різання називають площину, дотичну до поверхні різання і перпендикулярну до основної площини. Площина, перпендикулярна лінії перетину основної площини і площини різання $A - A$, називається головною січною площиною $N - N$. Допоміжна січна площина $N_1 - N_1$ перпендикулярна до проекції допоміжної різальної кромки на основну площину. Кути різця, вимірювані в головній січній площині, називаються *головними*, а вимірювані в допоміжній січній площині — *допоміжними*.

Кути інструмента суттєво впливають на продуктивність процесу різання і якість обробки.

Головний передній кут γ вимірюють в головній січній площині між передньою поверхнею різця і площиною, перпендикулярною до площини різання. Цей кут відіграє важливу роль у процесі різання. З його збільшенням полегшується врізання інструмента в заготовку, зменшується деформація зрізуваного шару, сили різання і витрати потужності. Одночасно полегшуються умови сходження стружки і підвищується якість обробки. Однак, надмірне збільшення кута γ призводить до послаблення міцності різальної частини різця, збільшення його спрацювання, погіршення умов виведення теплоти від різальної кромки. В практиці різання цей кут становить від -10 до $+20^\circ$. Менші значення переднього кута приймають при обробці крихких і твердих матеріалів, більші — при обробці заготовок з м'яких і в'язких матеріалів.

Головний задній кут α вимірюють між головною задньою поверхнею і площиною різання. Його наявність зменшує тертя задньої поверхні різця об поверхню різання, що зменшує спрацювання інструмента по головній задній поверхні. Однак його надмірне збільшення призводить до зниження міцності різального леза. На практиці кут α становить $6...12^\circ$.

Кут загострення β — кут між передньою і задньою поверхнями різця.

Кут різання δ — кут між передньою поверхнею різця і площиною різання.

Між головними кутами різця можуть бути такі співвідношення:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ; \quad \alpha + \beta = \delta; \quad \delta + \gamma = 90^\circ$$

Головний кут в плані φ — кут в основній площині між площиною різання і напрямом руху подачі. Він суттєво впливає на шорсткість обробленої поверхні заготовки. З його зменшенням шорсткість знижується, але зростає сила різання і деформування заготовки. Зазвичай кут φ вибирають $30 \dots 90^\circ$.

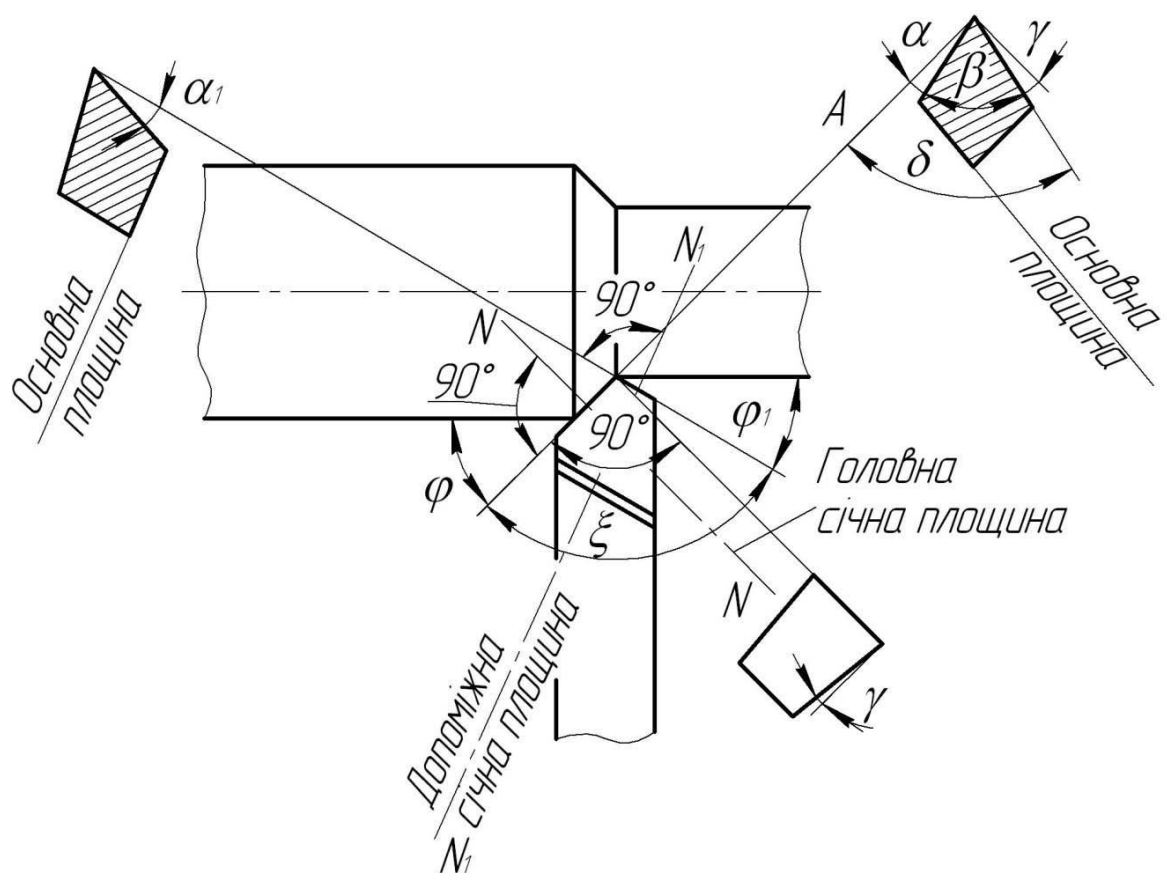


Рисунок 1.3 – Кути різця

Допоміжний кут в плані φ_1 — це кут в основній площині між проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину і напрямом, зворотним напрямку подачі. Із зменшенням цього кута знижується шорсткість обробленої поверхні з одночасним збільшенням міцності вершини різця.

Кут нахилу основної різальної кромки λ — кут в площині різання між

головною різальною кромкою і лінією, проведеною через вершину різця паралельно основній площині. Цей кут (λ) може бути додатним (вершина – найвища точка), нульовим (різальна кромка паралельна основній площині). Зі збільшенням цього кута якість обробленої поверхні погіршується.

1.5 Процес стружкоутворення при різанні металів та явища, що його супроводять

Різання металів – це складний процес взаємодії різального інструмента і заготовки, під час якого відбувається деформування шару металу і зсув його окремих елементів з поверхні заготовки у вигляді *стружки*.

В залежності від оброблюваного металу та умов різання утворюються три види стружки: *зливна*, *сколювання* та *надлому*. Зливна стружка утворюється при обробці пластичних металів зі значними швидкостями різання і невеликими подачами і має вигляд суцільної стрічки, звитої в спіраль, з чистою і гладенькою прирізцевою поверхнею (рис. 1.4, *а*). На її зовнішній поверхні є невеликі пилкоподібні зазубрини. Стружка сколювання (рис. 1.4, *б*) утворюється при обробці металів середньої твердості з невисокими швидкостями різання і значними подачами і являє собою стрічку з гладенькою прирізцевою стороною і пилкоподібною протилежною з чітко вираженими зазубринами. Стружка надлому (рис. 1.4, *в*) утворюється при різанні крихких металів (чавуну, бронзи, деяких алюмінієвих сплавів) і складається з окремих, не зв'язаних між собою елементів.

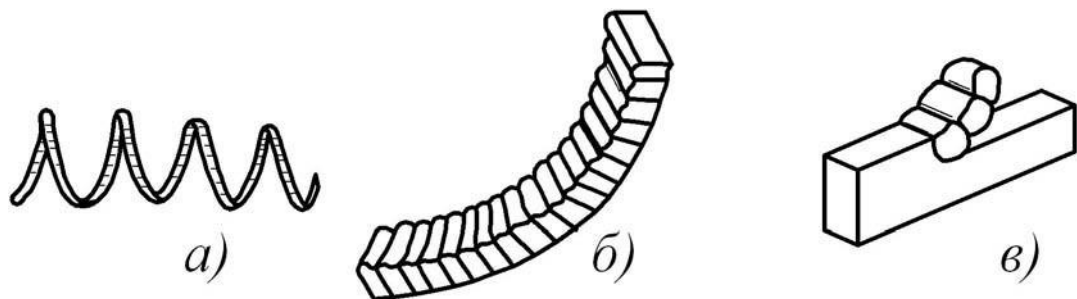


Рисунок 1.4 – Види стружок

Процес різання металів супроводжується такими явищами:

- збільшенням міцності та твердості (*наклепом*) поверхневого шару заготовки внаслідок його пружного та пластичного деформування і виникнення в ньому напружень, які здатні спотворювати геометричну форму оброблених поверхонь, знижувати точність їх взаємного положення і розмірів;
- значним виділенням теплоти внаслідок пружно-пластичного деформування в зоні стружкоутворення і тертя стружки та заготовки об поверхні інструмента. Наслідком цього явища є нагрівання заготовки та

інструменту, що знижує стійкість останнього та спричиняє погіршення точності і якості деталей. Для зменшення негативного впливу теплоти на процес різання обробку ведуть в умовах застосування мастильно-охолодної рідини, яка крім охолодження завдяки мастильним властивостям зменшує тертя між інструментом і заготовкою й роботу деформації;

- *наростоутворенням*, яке полягає в тому, що внаслідок адгезійної взаємодії, великого тертя між стружкою та різцем і значного виділення теплоти на передній поверхні різця біля різальної кромки затримується і дуже міцно укріплюється шар металу стружки, який називається *наростом*. Частинки наросту постійно виносяться стружкою й обробленою поверхнею заготовки, інколи наріст повністю руйнується й утворюється знову. Маючи високу твердість, наріст здатен різати метал, він захищає вершину різця і різальну кромку від передчасного спрацьовування, поліпшує відведення теплоти із зони різання і при чорновій обробці його вплив на процес різання є позитивним. Але, оскільки точність і якість обробки при утворенні наросту погіршуються, то при чистовій обробці його слід уникати.

Контрольні питання

1. Як класифікуються рухи в металорізальних верстатах?
2. Що називається схемою обробки?
3. Що відноситься до основних параметрів режиму різання?
4. Які бувають види стружки?
5. Якими явищами супроводжується процес різання?

ТЕМА 2

2. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

Різальні інструменти працюють в умовах значних силових навантажень, високих температур і тертя. Тому інструментальні матеріали повинні задовольняти низку особливих експлуатаційних вимог. Матеріал робочої частини інструменту повинен мати високу твердість і високі допустимі напруження на згин, розтяг, стиск, кручення. Твердість матеріалу робочої частини інструменту повинна значно перевищувати твердість матеріалу заготовки.

Інструментальні матеріали повинні мати високу теплостійкість, тобто зберігати високу твердість при значних температурах нагрівання. Однією з найважливіших характеристик матеріалу робочої частини інструменту є зносостійкість. Чим вища зносостійкість, тим повільніше спрацьовується інструмент і тим меншою буде різниця розмірів деталей, які послідовно оброблюються одним і тим же інструментом.

Інструментальні матеріали поділяються на:

- інструментальні сталі;
- тверді сплави;
- мінералокерамічні матеріали;
- абразивні матеріали.

2.1 Інструментальні сталі

Вуглецеві інструментальні сталі вміщують 0,9...1,3% С. Для виготовлення інструментів застосовують якісні сталі У10А, У11А, У12А. Після термічної обробки сталі мають твердість HRC 60...62, теплостійкість 200°C. Допустимі швидкості різання інструментом з таких сталей не перевищує 15...18 м/хв. Вони мають обмежене застосування. З них виготовляють мітчики (рис.2.1а), плашки (рис.2.1б), ножівкові полотна (рис.1в).

Леговані інструментальні сталі виготовляють на базі вуглецевих інструментальних сталей, легуючи їх незначними кількостями хрому (Х), вольфраму (В), марганцю (Г), кремнію (С), ванадію (Ф). Після термічної обробки вони мають твердість HRC 62...64, теплостійкість 250...300°C. Допустимі швидкості різання 15...25 м/хв. Для виготовлення протяжок (рис.2а), свердел (рис.2б), мітчиків, плашок, розверток (рис.2.1в) використовують сталі 9ХВГ, ХВГ, ХГ, 6ХС, 9Х5ВФ та ін.



а)



б)



в)

Рисунок 2.1



а)



б)



в)

Рисунок 2.2

Швидкорізальні сталі вміщують 8,5...19% вольфраму, 3,8...4,4% хрому (Х), 2...10% кобальту (К), ванадію (Ф) і молібдену (М). Для виготовлення різальних інструментів використовують сталі Р9, Р12, Р18, Р6М3, Р9Ф5, Р14Ф4, Р18Ф2, Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф2 та ін. (літера Р показує, що сталь швидкорізальна, число після неї вказує на вміст вольфраму у відсотках). Різальний інструмент з такої сталі після термічної обробки має твердість HRC 62...65, теплостійкість 600...630°C, підвищену зносостійкість і може працювати зі швидкостями різання до 80 м/хв. Зі швидкорізальних сталей виготовляють різці, фрези, зенкери, протяжки, розвертки, довбачі, шевери тощо.

2.2 Тверді сплави

Тверді сплави – це ретельно виконана суміш подрібнених порошків карбідів вольфраму (WC), карбідів титану (TiC) і карбідів танталу (TaC), а також порошку кобальта (Co). Тверді сплави застосовують у вигляді пластинок певної форми й розмірів, виготовлених методом порошкової металургії. Пластинки попередньо пресують, а потім спікають при

температурі 1500...1900°C. Пластинками оснащують різці, свердла, фрези та інші інструменти, припаюючи їх до них латунними припоями або прикріплюючи механічним способом.

Розрізняють тверді сплави:

- вольфрамові – ВК2, ВК3, ВК3М, ВК4В, ВК6М, ВК10 та ін.;
- титано-вольфрамові – Т30К4, Т15К6, Т5К10, Т5К12В та ін.;
- титано-тантало-вольфрамові – ТТ7К12, ТТ20К9 та ін.

В марках твердих сплавів перші літери показують групу, до якої відноситься твердий сплав (ВК – вольфрамова, Т – титано-вольфрамова, ТТ – титано-тантало-вольфрамова), цифри у вольфрамовій групі – вміст кобальту, перші цифри в титано-вольфрамовій групі – вміст карбіду титану, а другі цифри – вміст кобальту. Перші цифри в титано-тантало-вольфрамовій групі – вміст карбідів титану й танталу, а другі цифри – вміст кобальту. Решта у всіх групах – карбіди вольфраму. Літера М в марці сплаву означає, що сплав виготовлений з дрібних порошків, літера В – із крупнозернистого карбіду вольфраму.

Пластинки твердого сплаву мають твердість HRA 86...90, високу зносостійкість і теплостійкість 800...1000°C, що дозволяє вести обробку зі швидкостями різання до 800 м/хв.

2.3 Мінералокераміка

Мінералокераміка – синтетичний матеріал на основі глинозему (Al_2O_3), із якого методом порошкової металургії пресують і спікають при температурі 1720...1750°C пластинки, які прикріплюють до державок різців чи корпусів інструментів. Високі твердість (HRA 91...93), теплостійкість (до 1200°C) і зносостійкість дозволяють працювати зі швидкостями різання до 1000 м/хв. Недоліками мінералокераміки є низька міцність і крихкість, що обмежує її використання. Інструменти, оснащені пластинками з мінералокераміки, можна ефективно використовувати в умовах безударних навантажень при напівчистовій і чистовій обробці деталей зі сталі і кольорових металів. Для підвищення експлуатаційних характеристик інструментів із пластинками з мінералокераміки до неї додають W, Mo, B, Ti, Ni. Такі матеріали називають *керметами*. Кермети можна ефективно використовувати при обробці деталей з важкооброблюваних матеріалів.

2.4 Абразивні матеріали

Абразивними називаються матеріали, які використовуються для виготовлення абразивного інструмента – шліфувальних кругів, брусків

тощо. У промисловості застосовують переважно штучні абразивні матеріали: електрокорунд (Al_2O_3), карборунд (SiC), синтетичні алмази, ельбор.

Електрокорунд виготовляють із глинозему плавленням в електропечах. Залежно від вмісту в ньому чистого оксиду алюмінію електрокорунд поділяють на електрокорунд нормальний (12А, 13А), білий електрокорунд (22А, 23А), хромистий електрокорунд (37А), монокорунд (43А). Інструмент з електрокорунду використовують, головним чином, для обробки загартованої і термічно необробленої сталі, ковкого чавуну, бронзи та ін.

Карборунд (карбід кремнію) теж виготовляють в електропечах із суміші антрациту і кварцового піску. Порівняно з електрокорундом карборунд більш твердий і крихкий. Чорний карбід кремнію (53С, 54С) застосовують для шліфування чавуну, мідних і алюмінієвих сплавів. Зелений карбід кремнію (63С, 64С) використовують для обробки твердих сплавів.

Синтетичні алмази застосовують для остаточного шліфування твердосплавного інструмента й особливо тонкої чистової обробки.

Ельбор (кубічний нітрид бору) має більшу теплостійкість, ніж алмаз і використовується для обробки високотвердих матеріалів і конструкційних сталей.

1. Конструкційні матеріали на металевій основі та їх технологічні властивості:

https://www.youtube.com/watch?v=mOj8J_Ykzl0

2. Технологія отримання та вдосконалення твердих сплавів:

<https://www.youtube.com/watch?v=hyHjkUiGsEU>

Контрольні питання

1. Які вимоги повинні задовольняти інструментальні матеріали?
 2. Як класифікують інструментальні матеріали?
 3. Як класифікують і маркують інструментальні сталі? Які їх властивості?
 4. Які інструментальні тверді сплави застосовуються в металообробці? Як вони маркуються та які їх властивості?
- З яких матеріалів виготовляють абразивний інструмент?

ТЕМА 3

3. МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ ВЕРСТАТИ

Сучасні металорізальні верстати – це різноманітні й досконалі робочі машини, на яких здійснюється обробка заготовок із метою надання їм необхідних розмірів, форми і якості поверхонь. Використовуючи механічні, електричні та гідравлічні методи здійснення рухів і керування робочим циклом, обробкою на металорізальних верстатах вирішуються найскладніші технологічні задачі з виготовлення деталей будь-яких розмірів, маси, форми, точності, із будь-яких матеріалів практично для кожної галузі машинобудування.

3.1 Класифікація та нумерація металорізальних верстатів

В основу системи класифікації металорізальних верстатів покладено технологічний метод обробки заготовок у відповідності з такими ознаками, як вид різального інструмента, характер оброблюваної заготовки та схема обробки. За цією системою металорізальні верстати поділені на дев'ять груп:

- 1 група – токарні верстати;
- 2 – свердлильні й розточувальні;
- 3 – шліфувальні;
- 4 – верстати для електрофізичної та електрохімічної обробки;
- 5 – верстати для обробки зубчастих коліс і нарізання різьб;
- 6 – фрезерні;
- 7 – стругальні, довбальні та протяжні;
- 8 – розрізні;
- 9 – різні верстати та пристрої, що не ввійшли до жодної з перелічених груп (балансувальні, ділильні, для виготовлення пилок тощо).

В кожній групі верстати об'єднані за спільністю технологічного методу обробки або близькі за призначенням (наприклад, свердлильні та розточувальні).

Кожна група верстатів поділяється на дев'ять типів за технологічним призначенням, конструктивними особливостями, кількістю головних робочих органів, ступенем універсальності тощо (рис. 3.1).

Всередині кожного типу верстати різняться своїми характерними, притаманними кожному типу розмірами.

У відповідності з прийнятою системою класифікації кожній моделі верстата присвоюють певний номер, що складається з трьох або чотирьох цифр і літер. Перша цифра вказує на групу верстата, друга – на тип у цій групі. Третя або третя та четверта цифри показують умовний розмір верстата:

для токарних верстатів – це висота центрів над станиною в сантиметрах або дециметрах, для свердлильних – максимальний діаметр отвору, який можна просвердлити на цьому верстаті, для фрезерних – умовний розмір стола тощо.

Літера, що стоїть після першої або другої цифри, вказує на модернізацію (поліпшення) основної базової моделі верстата, а літера, що стоїть у кінці номера, означає модифікацію (видозміну) базової моделі.

Приклади нумерації верстатів: 162 – це верстат токарної групи (1), токарно-гвинторізальний (6), висота центрів 2дм (200 мм); 1А62, 1К62 – це токарно-гвинторізальні верстати, основна базова модель яких (162) пройшла послідовну модернізацію (літери А і К) із поліпшенням конструкції, зокрема, із підвищенням потужності та діапазону частот обертання шпинделя; номер 2135 означає, що це верстат належить свердлильній групі (2), вертикально-свердлильний (1), із найбільшим діаметром свердління 35 мм.

Верстати	Група	Типи верстатів								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Токарні	1	Одношпиндельні автомати і напівавтомати	Багатшпиндельні автомати і напівавтомати	Револьверні	Свердлильно-відрізні	Карусельні	Токарні та лобові токарні	Багаторізові	Спеціалізовані для фасонних виробів	Різні токарні
Свердлильні та розточні	2	Вертикально-свердлильні	Одношпиндельні напівавтомати	Багатшпиндельні напівавтомати	Координатно-розточні одностійкові	Радіально-свердлильні	Розточні	Алмазно-розточні	Горизонтально-свердлильні	Різні свердлильні
Шліфувальні, полірувальні, доводочні	3	Круглошліфувальні	Внутрішньо-шліфувальні	Обдирочно-шліфувальні	Спеціалізовані шліфувальні	-----	Заточні	Плоскошліфувальні з прямокутним або круглим столом	Притирочні та полірувальні	Різні верстати, що працюють абразивним інструментом
Комбіновані	4	Універсальні	Напівавтомати	Автомати	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Зубообробні та різьбообробні	5	Зубоструальні для циліндричних колес	Зуборізні для конічних колес	Зубофрезерні для циліндричних колес та шліцевих валів	Зубофрезерні для черв'ячних колес	Для обробки торців зубів колес	Різьбофрезерні	Зубовіддільні	Зубошліфувальні та різьбошліфувальні	Різні зубообробні та різьбообробні
Фрезерні	6	Вертикально-фрезерні консольні	Фрезерні безперервної дії	-----	Копіювальні та гравіювальні	Вертикальні безконсольні	Поздовжні	Широкоуніверсальні	Горизонтальні консольні	Різні фрезерні
Струальні, довальні, протягувальні	7	Поздовжні одностійкові	Поздовжні двохстійкові	Поперечно-струальні	Довбальні	Протягувальні горизонтальні	-----	Протягувальні вертикальні	-----	Різні струальні
Розрізні	8	Відрізні, що працюють токарним різцем	Відрізні, що працюють абразивним кругом	Відрізні, що працюють фрикційним блоком	Правильно-відрізні	Піткя			-----	-----
						стрічкові	дискові	ножовочні		
Різні	9	Муфтообробні та трубообробні	Палконасічні	Правильно- та безцентрово обдирні	-----	Для випробувань інструменту	Ділятьні машини	Балансировочні	-----	-----

Рисунок 3.1 - Класифікація металорізальних верстатів по різним ознакам

За рівнем спеціалізації розрізняють верстати *універсальні*, призначені для виконання різноманітних робіт із використанням заготовок багатьох найменувань в умовах одиничного, дрібносерійного та ремонтного виробництва; *спеціалізовані*, на яких обробляють деталі одного найменування,

але різних розмірів, наприклад, колінчасті вали; *спеціальні*, на яких виконують певний вид робіт на одній певній деталі в масовому виробництві.

За ступенем точності верстати поділяють на п'ять класів:

Н – нормальної точності,

П – підвищеної,

В – високої,

А – особливо високої точності,

С – особливо точні верстати

За ступенем автоматизації розрізняють верстати з *ручним керуванням, напівавтомати, автомати та верстати з програмним керуванням*.

Автоматами називають верстати, на яких після їх включення всі операції здійснюються автоматично без участі оператора за циклом, що періодично повторюється. До циклу входить установлення й закріплення заготовки на верстаті, обробка її поверхонь, знімання обробленої деталі, подача й закріплення наступної заготовки.

Напівавтомат відрізняються від автоматів тим, що знімання обробленої деталі, установлення нової заготовки на верстат і включення верстата здійснює оператор. Цикл обробки заготовки – автоматичний.

Металорізальні верстати із системами числового програмного керування (ЧПК) мають високий рівень автоматизації, включаючи автоматичну заміну різальних інструментів і заготовок, зміну режимів різання, отримання заданих розмірів поверхонь деталей. Їх застосовують як для виконання простих операцій (свердління отворів, обточування валів тощо), так і для обробки складних фасонних поверхонь.

3.2 Кінематика верстатів

Приводо верстата називають сукупність механізмів, які передають рух від джерела руху (електродвигуна) до робочих органів верстата з закріпленими в них інструментами та заготовками. В залежності від виду руху розрізняють приводи головного руху, подачі та допоміжних рухів робочих органів верстатів здійснюються за допомогою різноманітних передач, які встановлюються між джерелом руху і робочим органом.

Передачею називають механізм, що передає рух від одного елемента до другого (з вала на вал), або перетворює один рух в інший (наприклад, обертальний в поступальний). В передачі елемент, від якого передається рух, називають *ведучим*, а елемент, що приймає рух, – *веденим*. Кожна передача характеризується *передаточним відношенням*, яке показує, в скільки разів частота обертання веденого елемента відрізняється від частоти обертання ведучого елемента: $i = n_{вн} / n_{вч} = n_2 / n_1$, де i –

передаточне відношення; $n_{вн} (n_2)$ – частота обертання веденого вала, об/хв; $n_{вч} (n_1)$ – частота обертання ведучого вала, об/хв.

На рис. 3.2 наведені схеми деяких передач, що застосовуються в приводах металорізальних верстатів.

Пасова передача (рис. 3.2, а) здійснюється плоскими, клиновими або круглими пасами за допомогою шківів, закріплених на ведучому та веденому валах. Передаточне відношення передачі $i = d_1 \eta_n / d_2$, де d_1 і d_2 – діаметри ведучого й веденого шківів, мм; η_n – коефіцієнт, який враховує проковзування паса відносно поверхонь шківів ($\eta_n = 0,96...0,99$).

Ланцюгова передача (рис. 3.2, б) здійснюється роликовим або безшумним ланцюгом, що з'єднує зірочки, закріплені на ведучому та веденому валах. Передаточне відношення ланцюгової передачі $i = z_1 / z_2$, де z_1 і z_2 – числа зубів ведучої та веденої зірочки.

Зубчаста передача складається з циліндричних (рис. 3.2, в), або конічних коліс (рис. 5, г). Передаточне відношення зубчастої передачі $i = z_1 / z_2$, де z_1 і z_2 – числа зубів ведучого і веденого зубчастих коліс.

Черв'ячна передача (рис. 3.2, д) складається з черв'яка (гвинта) та черв'ячного зубчастого колеса і призначена для суттєвого зниження частоти обертання веденого вала, коли ведучим є черв'як. Якщо різьба черв'яка має k заходів, а число зубів черв'ячного колеса дорівнює z , то передаточне відношення черв'ячної передачі $i = k / z$.

Рейкова передача (рис. 3.2, е) перетворює обертальний рух рейкового зубчастого колеса в поступальний рух зубчастої рейки. Якщо рейкове колесо має z зубів, а модуль його та рейки m , мм, то за один оберт рейкового колеса рейка переміститься на величину $S = \pi \cdot m \cdot z$, мм.

Гвинтова передача (рис. 3.2, є) складається з гвинта та гайки і призначена для перетворення обертального руху гвинта в поступальний рух гайки. Якщо крок різьби гвинта дорівнює t , мм, число заходів різьби дорівнює k , то за один оберт ходового гвинта гайка переміститься на величину $S = t \cdot k$, мм.

В таблиці 3.1 наведені умовні позначення передач і механізмів, найбільш поширених у металорізальних верстатах.

В приводах головного руху та руху подач крім розглянутих передач є ще механізми, за допомогою яких можна змінювати напрям і швидкість руху. Зміна напрямку руху (реверсування) забезпечується включенням в ланку передачі руху між двома паралельними валами I і II (рис. 3.3, а) „паразитного” колеса zo . При передачі обертального руху між двома взаємно перпендикулярними валами застосовують реверсивні механізми з конічними

зубчастими колесами (рис. 3.3, б). В обох випадках реверсування вала II досягається переключенням двосторонньої муфти M .

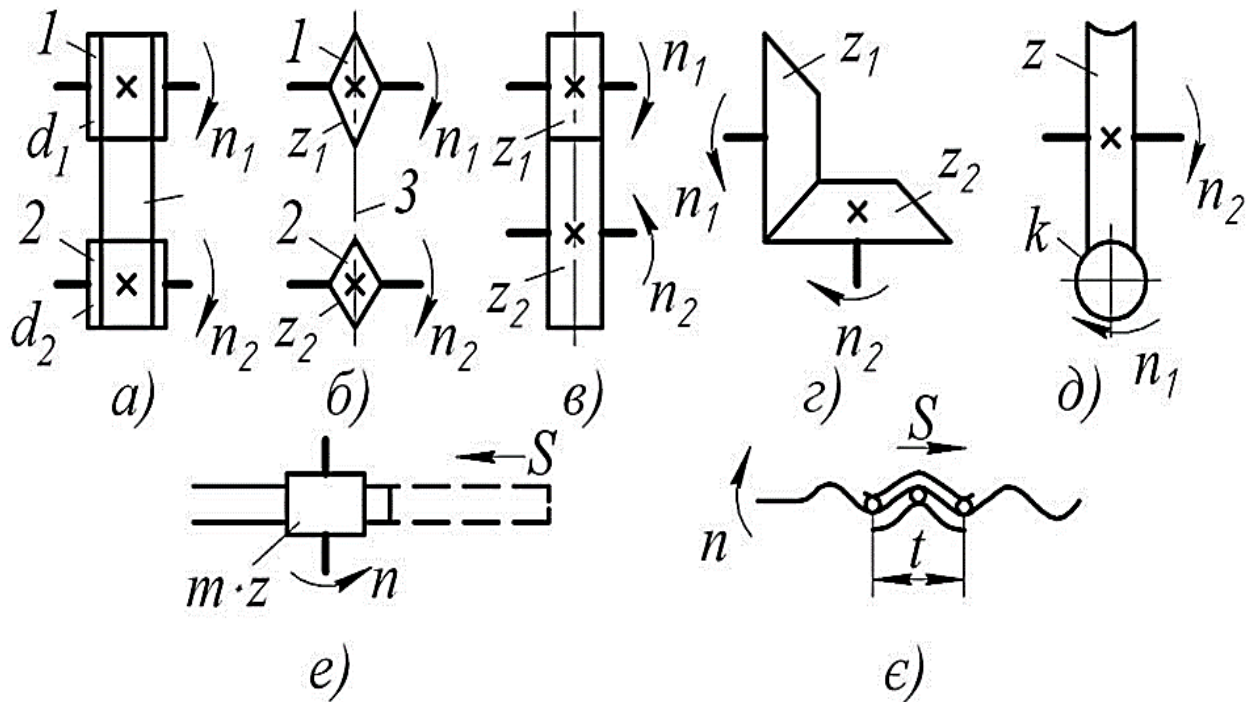


Рисунок 3.2 – Передачі в металорізальних верстатах

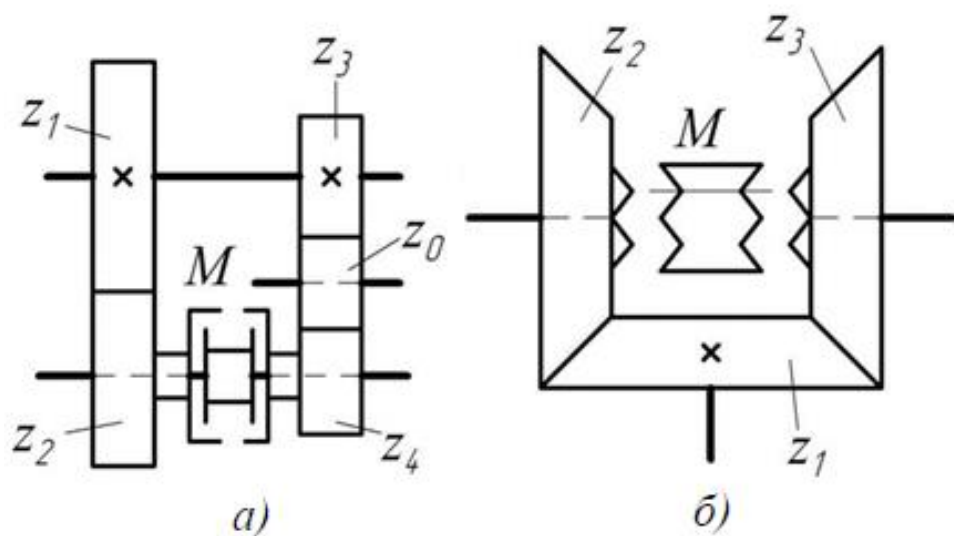


Рисунок 3.3 – Реверсивні механізми металорізальних верстатів

Регулювання швидкості головного руху і руху подач в металорізальних верстатах може бути безступінчастим і ступінчастим. Системи безступінчастого регулювання дають можливість отримувати частоту обертання шпинделя і величину подачі точно із розрахованим режимом різання і забезпечити, таким чином, оптимальну продуктивність процесу механічної обробки матеріалів. В металорізальних верстатах для безступінчастого регулювання швидкості використовуються системи

електромашинного підсилення, системи генератор – двигун, гідравлічні двигуни та механічні пристрої, наприклад, варіатори.

Для ступінчастого регулювання швидкості в металорізальних верстатах використовують дво-, три- і чотиришвидкісні асинхронні електродвигуни та різні механізми на основі зубчастих передач. До них відносяться гітари, коробки швидкостей в приводах головного руху та коробки подач в приводах подач.

Гітарами називаються пристрої в приводах металорізальних верстатів, за допомогою яких передача руху з вала I на вал II (рис. 4) здійснюється змінними зубчастими колесами. Виводячи вали I і II за межі станини верстата в зручному для обслуговування місці та підбираючи відповідним чином числа зубів змінних коліс, можна між цими валами забезпечувати практично будь-яке передаточне відношення.

За конструкцією гітари бувають однопарними з двома змінними зубчастими колесами A і B (рис. 3.4, а) і двопарними (рис. 3.4, б) з чотирма змінними колесами a, b, c, d. В однопарних гітарах кількість можливих швидкостей дорівнює кількості змінних коліс. Передаточне відношення і визначається числами зубів A і B: $i = A/B$. Однопарні гітари встановлюють у приводах головного руху і, зазвичай, вони забезпечують 2...12 швидкостей.

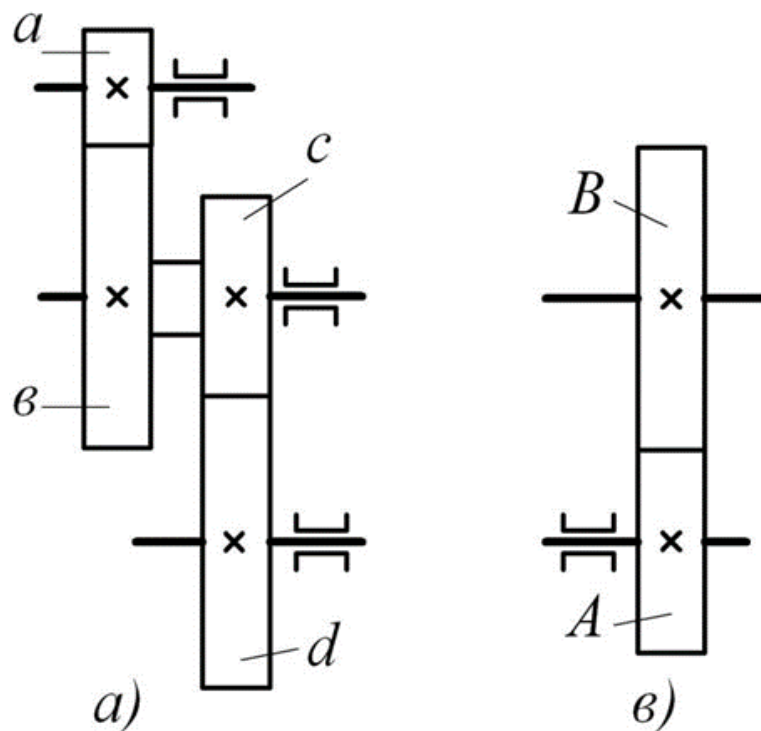
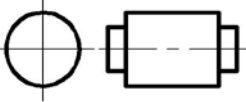
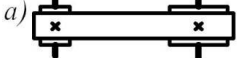
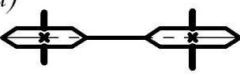
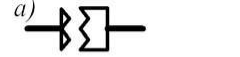
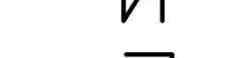


Рисунок 4 – Схеми гітар

Таблиця 3.1 – Умовні позначення основних передач і механізмів металорізальних верстатів

Назва елемента	Позначення	Назва елемента	Позначення
Електродвигуни		Пасові передачі: а - плоским пасом; б - клиновими пасами	а)  б) 
Вал, вісь, стрижень		Ланцюгові передачі: а - роликівим ланцюгом; б - зубчастим (безшумним) ланцюгом	а)  б) 
Радіальні підшипники на валу: а - без уточнення типу; б - кочення; в - ковзання	а)  б)  в) 	Гвинтова передача: а - з нерознімною гайкою; б - з рознімною гайкою	а)  б) 
Кінці шпинделів для робіт: а - центрових; б - патроний; в - свердлильних; г - фрезерних; д - шліфувальних	а)  б)  в)  г)  д) 	Кулачкові муфти зчеплення: а - одностороння; б - двостороння	а)  б) 
З'єднання деталі з валом: а - нерухоме; б - вільне; в - рухоме вздовж осі з прямою шпонкою; г - рухоме вздовж осі, шліцьове; д - нерухоме з'єднання двох	а)  б)  в)  г)  д) 	Фрикційні муфти зачеплення: а - дискова одностороння; б - електромагнітна одностороння	а)  б) 
Зубчасті зачеплення: а - циліндричні з прямими, косими; б - конічне; в - гвинтове; г - черв'ячне (у двох проекціях); д - рейкове	а)  б)  в)  г)  д) 	Обгінна муфта	
		З'єднання двох співвісних валів: а - жорстке; б - еластичне; в - телескопічне	а)  б)  в) 

Передаточне відношення двопарної гітари для кожного настроювання привода з такою гітарою визначається співвідношенням чисел зубів змінних коліс:

$$i = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

До верстатів з двопарною гітарою додаються набори змінних коліс. Набори бувають „п'яткові”, парні та універсальні. В „п'ятковому” наборі числа зубів змінних коліс від 20 до 100 змінюються через 5, в парному наборі — через 4 зуби. Універсальний набір є найповнішим і використовується для відповідальних ділильних ланцюгів.

Двопарні гітари можуть давати необмежену кількість швидкостей і їх встановлюють у приводах взаємопов'язаних рухів (різьбонарізних, обкатки тощо) і в приводах подач.

Гітари як механізми настроювання верстатів на певний режим роботи застосовують у спеціальних і спеціалізованих верстатах, де зміна режиму роботи відбувається не часто, бо на заміну зубчастих коліс потрібно витратити певний час. В універсальних же верстатах, при роботі на яких зміни режимів різання відбуваються досить часто, використовують інші механізми регулювання швидкостей, зокрема коробки швидкостей і коробки подач.

Шестеренчасті коробки швидкостей знайшли широке розповсюдження в металорізальних верстатах завдяки своїй компактності, меншій вартості, зручності передачі обертального руху робочим органам верстатів.

Зміна швидкості обертання веденого вала шестеренних коробок досягається за рахунок включення в роботу певної комбінації зубчастих коліс.

В коробках швидкостей використовують різні способи передачі руху з ведучого вала I на ведений вал II:

- *пересувними блоками шестерень* (рис. 3.5, а). Потрійний блок шестерень *Б* забезпечує три передачі з передаточними відношеннями z_1/z_2 , z_3/z_4 , z_5/z_6 ;
- *переключаючи муфти* *М*, надаємо обертання валу II через колеса z_1/z_2 чи z_3/z_4 (рис. 5, б, в);
- *накидними шестернями* (рис. 3.5, з). Зубчасті колеса z_1 , z_2 , z_3 , z_4 , z_5 нерухомо закріплені на валу I. Рух на вал II передається зубчастим колесом z_H , що вільно сидить на проміжному валу, і колесом z_0 , яке пересувається на валу II на напрямній шпонці. Механізм забезпечує п'ять

передач з передаточними відношеннями z_1/z_0 , z_2/z_0 , z_3/z_0 , z_4/z_0 , z_5/z_0 . Вал II, таким чином, має п'ять значень частоти обертання.

Отже, в приводах металорізальних верстатів є передачі з постійним передаточним відношенням і механізми (гітари, коробки швидкостей), передаточні відношення в яких можна змінювати і, таким чином, регулювати швидкості руху робочих органів верстатів.

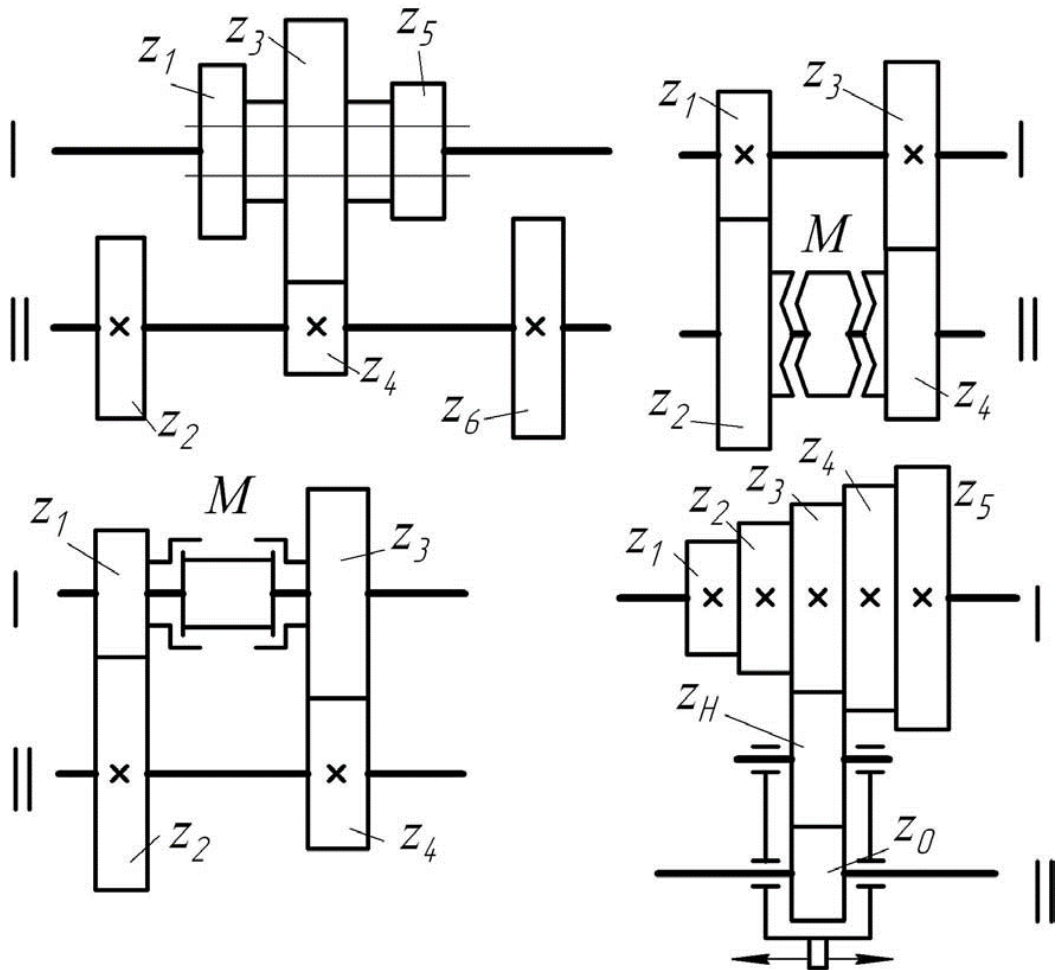


Рисунок 5 – Схеми передач руху в коробках швидкостей

3.3 Кінематична схема верстата

Сукупність умовних позначень передач і механізмів верстата, які забезпечують задані закони руху виконавчих органів, називається кінематичною схемою. Вона дає уявлення про відносне розташування елементів привода та дозволяє встановити, в якому напрямку передається рух, як змінюється його швидкість і в який рух він перетворюється в механізмах привода. Частина кінематичної схеми, яка передає рух від електродвигуна до виконавчого органу або від одного виконавчого органу до іншого, називається кінематичним ланцюгом. Розрізняють кінематичні ланцюги головного руху, руху подач, прискорених і взаємопов'язаних рухів.

Запозичується рух в кожному кінематичному ланцюзі від певного органу верстата і закінчується на відповідному виконавчому органі. Ці органи початку й кінця ланцюгів називаються кінцевими ланками кінематичних ланцюгів. Відношення рухів кінцевих ланок кінематичних ланцюгів один до одного дорівнює загальному передаточному відношенню кінематичного ланцюга між кінцевими ланками, яке, в свою чергу, дорівнює добутку передаточних відношень усіх механізмів, що беруть участь у передачі руху між кінцевими ланками ланцюга. Рухи кінцевих ланок будь-якого кінематичного ланцюга з урахуванням передаточних відношень усіх проміжних ланок (передач) можна виразити через рівняння кінематичного балансу цього ланцюга.

На рис. 6 показана спрощена кінематична схема токарно-гвинторізного верстата. Головний рух надається шпинделю таким кінематичним ланцюгом: електродвигун $N = 7\text{кВт}$, $n = 1450$ об/хв - пасова передача 225/254 - реверсивний механізм з двосторонньою фрикційною муфтою $M1$ – 12-ти ступінчаста коробка швидкостей з пересувними блоками зубчастих коліс $B1$, $B2$ і $B3$ - шпиндель. Вал I обертається з постійною швидкістю $n_I = 1450 \cdot 225/254 \cdot 0,98 = 1260$ об/хв. На вал II рух передається при включенні муфти $M1$ вліво через колеса 30–60 (пряме обертання шпинделя), а при включенні муфти вправо – через колеса 36–28–36 (зворотнє обертання шпинделя). При нейтральному положенні муфти $M1$ рух на вал II передаватися не буде. (Подальший аналіз кінематичного ланцюга головного руху розглядатимемо тільки для прямого обертання шпинделя). Вал II обертається також з постійною швидкістю $n = 1260 \cdot 30/60 = 630$ об/хв. На вал III рух передається через потрійний блок зубчастих коліс $B1$: через колеса 36–36, 40–32 або 32–40. Вал III, таким чином, може обертатися з трьома різними швидкостями: $n_1 = 630 \cdot 32/40 = 500$, $n_2 = 630 \cdot 36/36 = 630$ і $n_3 = 630 \cdot 40/32 = 800$ об/хв. З вала III на вал IV кожна з цих трьох швидкостей може передаватися за допомогою подвійного рухомого блока $B2$ через колеса 32–50 або 46–36 і вал IV набуває вже шість швидкостей:

$$n_1 = 500 \cdot 32/50 = 320; n_2 = 630 \cdot 32/50 = 400; n_3 = 800 \cdot 32/50 = 500;$$

$$n_4 = 500 \cdot 46/36 = 630; n_5 = 630 \cdot 46/36 = 800; n_6 = 800 \cdot 46/36 = 1000 \text{ об/хв.}$$

На вал V кожна з цих 6 швидкостей може передаватися через одну з двох передач подвійного пересувного блока B_3 – 21–67 або 49–39 і вал V (шпиндель) має, таким чином, 12 швидкостей: 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000 і 1250 об/хв.

Рівняння кінематичного балансу ланцюга головного руху записується так:

$$n_{\text{шп}} = 1450 \cdot \frac{225}{254} \cdot 0,98 \cdot \frac{30}{60} \cdot i_{\text{кор.шв}},$$

де $n_{\text{шп}}$ – розрахункова частота обертання шпинделя;

$i_{\text{кор.шв}}$ – передаточне відношення коробки швидкостей, яке може забезпечити таку частоту обертання шпинделя (або найближчу до неї).

З цього рівняння виводиться формула для визначення передаточного відношення коробки швидкостей:

$$i_{\text{кор.шв}} = \frac{n_{\text{шп}} \cdot 254 \cdot 60}{1450 \cdot 225 \cdot 0,98 \cdot 30}.$$

Наприклад, при точінні заготовки діаметром $d = 100\text{мм}$ зі швидкістю різання $v = 80\text{ м/хв}$ частота обертання шпинделя повинна бути:

$$n_{\text{шп}} = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 80}{3,14 \cdot 100} = 255 \text{ об/хв.}$$

Найближче значення стандартної частоти обертання в нашому випадку є 250 об/хв. Підставивши це значення у формулу для визначення передаточного відношення коробки швидкостей, маємо $i_{\text{кор.шв}} = 0,4$. Таке передаточне відношення забезпечується включенням в роботу таких пар зубчастих коліс коробки швидкостей: 36/36, 46/36, 21/67.

Кінематичний ланцюг подачі запозичує рух від шпинделя і включає в себе такі механізми: зубчасту передачу 45–45, реверсивний механізм з пересувним блоком зубчастих коліс Б4, за допомогою якого змінюється напрям пересування супорта від ходового гвинта з кроком 8 мм і який використовується при нарізанні лівих і правих різьб; гітари зі змінними колесами а, б, с і d; коробку подач із ступінчастим блоком зубчастих коліс з накидним колесом 36 і пересувним подвійним блоком Б5; муфти М2, М3, М4 з двома механізмами пересування супорта – ходовим гвинтом XII і ходовим валом XIII. Ходовий гвинт використовується тільки при нарізанні різьб, а ходовий вал – при токарних роботах.

При нарізанні різьби підвищеної точності включаються муфти М₂ і М₄ а муфта М₃ виключається. Рух на ходовий гвинт передається безпосередньо з гітари, яка настроюється на крок різьби τ , що нарізається. Формула настройки гітари виводиться з рівняння кінематичного балансу різьбонарізного ланцюга:

$$\tau = 1 \text{ об.шп.} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot 8.$$

Звідки формула для настройки гітари: $\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{\tau}{8}$.

Приклад. Для нарізання метричної різьби з кроком 1мм

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{1}{8}.$$

При наявності „п’яткового” набору змінних зубчастих коліс підбираємо:
 $a = 25, b = 50, c = 20, d = 80$.

Обертання ходовому гвинту можна надавати і через коробку подач, виключивши муфту М2 і включивши муфту М3. При цьому з гітари рух подається на вал VIII, знімається з одного з п’яти коліс ступінчастого блока на накидну шестерню 36 і вал IX. З вала IX через муфту М3 рух передається на широке зубчасте колесо 40, що вільно обертається на валу IX і знаходиться в постійному зачепленні з колесом 40 рухомого подвійного блока Б5 вала X. З вала X на вал XI передається через колеса 40 – 20 або 20 – 40 і далі на ходовий гвинт через муфту М4. Передаючи рух на ходовий гвинт таким чином при незмінному передаточному відношенні гітари можна нарізати різьби з десятима різними кроками. Так, наприклад, при передаточному відношенні гітари 1/4 мінімальний крок різьби може бути таким:

$$\tau_{min} = 1 \text{ об. шп.} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{20}{40} \cdot 8 = 0,5 \text{ мм},$$

а максимальний:

$$\tau_{max} = 1 \text{ об. шп.} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{54}{36} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{20}{40} \cdot 8 = 3 \text{ мм}.$$

Таким різьбонарізним ланцюгом користуються при нарізанні різьб звичайної точності.

При токарних роботах рух на ходовий вал XIII з вала XI передається при виключеній муфті М4 через колеса 28 – 56 і обгінну муфту Мо. З ходового вала через колеса 28 – 28 рух передається на двозахідний черв’як, черв’ячне колесо з 60 зубами, конічну передачу 28 – 28, конічний реверс з двосторонньою кулачковою муфтою М5 і на рейкове колесо з десятима зубами модулем 3 мм. Мінімальна подача при передаточному відношенні гітари 1/4 буде:

$$s = 1 \text{ об. шп.} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{20}{40} \cdot \frac{28}{56} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{2}{60} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{28}{28} \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10 = 0,09 \text{ мм/об}$$

Максимальна подача буде:

$$s = 1 \text{ об. шп.} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{54}{36} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{28}{56} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{2}{60} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{28}{28} \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10 = 1,13 \text{ мм/об}$$

ТЕМА 4.

4. ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ ТОКАРНОЇ ГРУПИ

Згідно з прийнятою системою класифікації металорізальних верстатів усі токарні верстати належать до першої групи і поділяються на 9 типів: 1 і 2 – відповідно одно - і багатшпиндельні автомати і напівавтомати; 3 – револьверні; 4 – свердлильно-відрізні; 5 – карусельні; 6 – токарні і лоботокарні (лобові); 7 – багаторізцеві; 8 – спеціалізовані; 9 – різні токарні. На верстатах цієї групи обробляють зовнішні та внутрішні поверхні тіл обертання: циліндричні, конічні, фасонні, а також плоскі поверхні, перпендикулярні до осі обертання заготовки.

4.1 Обробка заготовок на токарних і токарно-гвинторізних верстатах

Токарні верстати, зазвичай, виготовляють високої і особливо високої точності і вони відрізняються від токарно-гвинторізних відсутністю ходового гвинта. На машинобудівних заводах, в ремонтних майстернях тощо використовують, головним чином, токарно-гвинторізні верстати, на яких крім вказаних вище робіт можна ще нарізати різьби різцем на зовнішніх та внутрішніх поверхнях а також спіральні канавки на торцевих поверхнях заготовок.

Токарно-гвинторізний верстат має такі основні вузли (рис. 4.1): станину 2, закріплену на тумбах 1 з електродвигуном головного привода і 12 з баком для мастильно-охолодної рідини і насосною станцією; передню бабку 6 з коробкою швидкостей, керування якою виведено на панель 5; задню бабку 11; поздовжній супорт 7 із закріпленими на ньому фартухом 10, верхнім супортом 9 і різцетримачем 8; коробку подач 3; гітару 4.

Станина 2 має напрямні, по яких переміщуються супорт 7 і задня бабка 11. Переміщення супорта може бути як поздовжнім так і поперечним і здійснюватись як через коробку подач, так і вручну маховиками, змонтованими на фартусі 10. Поздовжнє переміщення супорта може відбуватися або від ходового гвинта при нарізанні різьб, або від ходового вала при інших видах токарних робіт.

Переміщення задньої бабки по напрямних станини здійснюється вручну. В корпусі задньої бабки є шпиндель (піноль) з конічним отвором, в якому встановлюється задній центр для підтримування довгих заготовок, наприклад, валів, або інструменти для обробки отворів у заготовці (свердла, зенкери, розвертки). Корпус задньої бабки можна зміщувати в поперечному напрямі на невелику величину, що необхідно для обточування довгих зовнішніх конічних поверхонь.

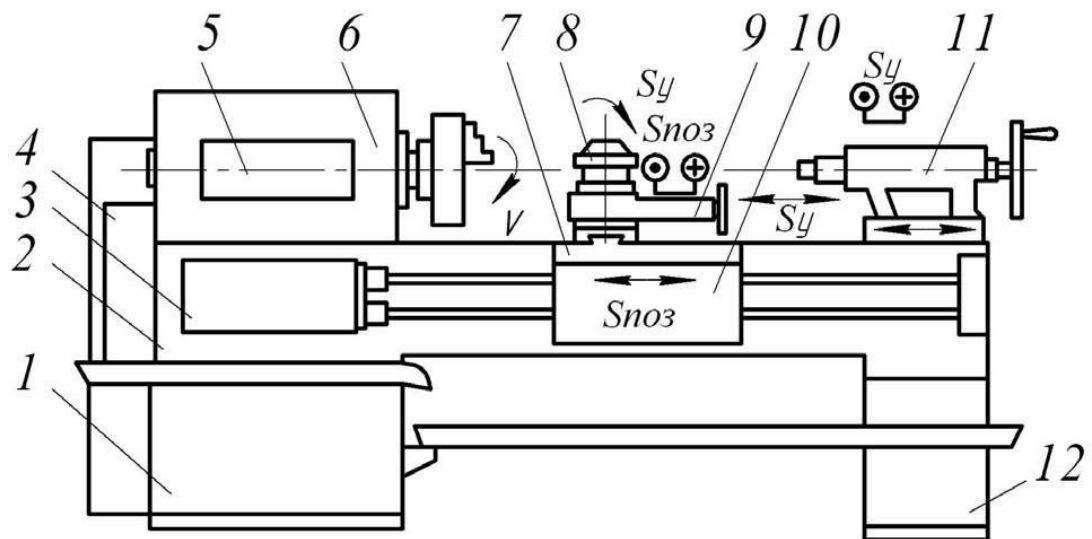


Рисунок 4.1 - Загальний вигляд токарно-гвинторізного верстата

Технологічний метод формоутворення поверхонь заготовок точінням характеризується двома рухами: обертальним рухом заготовки (швидкість різання v) і поступальним рухом інструмента (рух подачі s). Рух подачі здійснюється вздовж осі обертання заготовки ($s_{\text{поз}}$), перпендикулярно до осі обертання заготовки ($s_{\text{поп}}$) чи під кутом до осі обертання заготовки ($s_{\text{н}}$ на рис. 4.3).

Схеми обробки заготовок на токарно-гвинторізному верстаті показані на рис. 4.2:

- обточування зовнішніх циліндричних поверхонь прохідними різцями з поздовжньою подачею – рис.4.2, а. Східчасті вали обточують за схемами поступового зрізання припуску на кожній частині вала (рис.4.2, б) або зрізанням на кожній частині вала зразу всього припуску (рис.4.2, в);
- підрізання торців заготовки підрізними різцями з поперечною подачею різця – рис.4.2, г;
- обточування заокруглень між східцями валів – рис. 4.2, д;
- проточування канавок прорізними різцями – рис. 4.2, е;
- свердління, зенкерування, розвертання отворів відповідними інструментами, які закріплюють у пінолі задньої бабки, з поздовжньою подачею пінолі вручну – рис. 4.2, є;
- розточування наскрізних циліндричних отворів прохідними розточувальними різцями (рис. 4.2, ж), а глухих або східчастих – упорними (рис. 4.2, з);
- відрізання оброблених деталей відрізними різцями з прямою головною різальною кромкою (рис. 4.2, и) або похилою різальною кромкою (рис. 4.2, і).

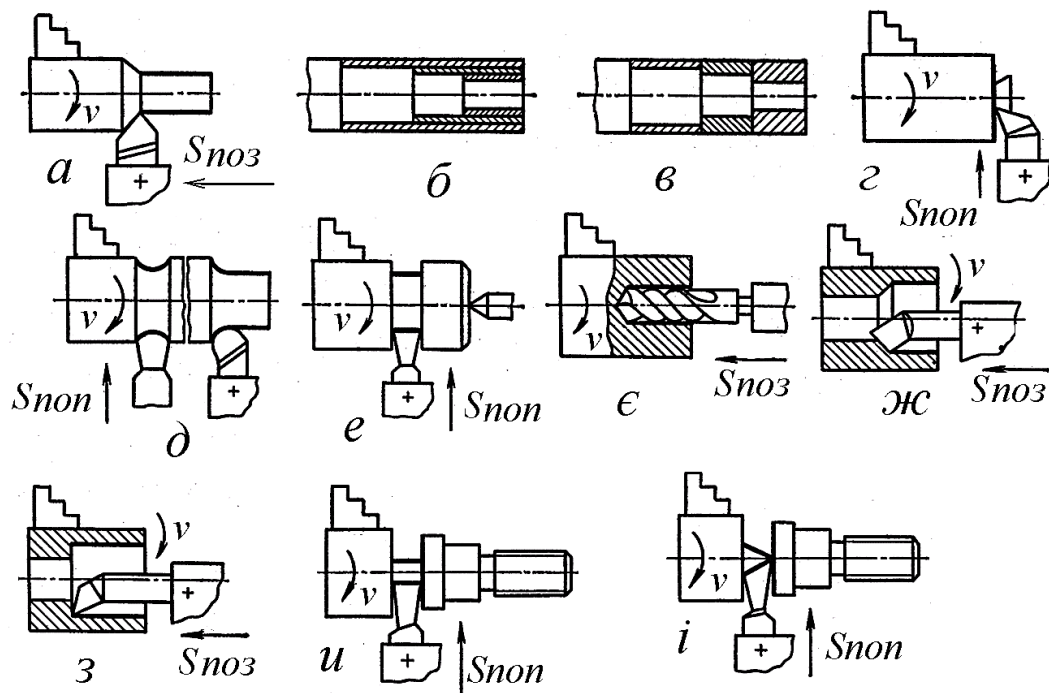


Рисунок 4.2 – Схеми обробки заготовок на токарних верстатах

Обточування зовнішніх конічних поверхонь заготовок на токарних верстатах здійснюється одним з таких способів.

1. Широкими токарними різцями з їх поперечною подачею (рис. 4.3, а).
2. Поворотом каретки верхнього супорта на кут α , що дорівнює половині кута при вершині оброблюваного конуса (рис. 4.3, б). Подачу s_n при цьому здійснюють вручну пересуванням каретки верхнього супорта.
3. Зміщенням корпусу задньої бабки на величину h в напрямі, перпендикулярному до лінії центрів верстата (рис. 4.3, в).
4. З допомогою конусної лінійки 2, корпус якої 3 закріплюють на станині верстата. Конусна лінійка встановлюється під кутом α до лінії центрів верстата і по її напрямних переміщується повзун 1, з'єднаний з кареткою поперечного супорта 4. Таким чином, верхній каретці одночасно надаватимуться два рухи: поздовжній разом із супортом і поперечний, що і забезпечить утворення конічної поверхні на заготовці.

Крім вказаних операцій на токарно-гвинторізних верстатах обробляють фасонні поверхні фасонними різцями з їх поперечною подачею та прохідними різцями із застосуванням фасонних копіїв, які встановлюють аналогічно конусним лінійкам, а також нарізають різні типи різьб різцями з відповідним профілем їх різальних кромки.

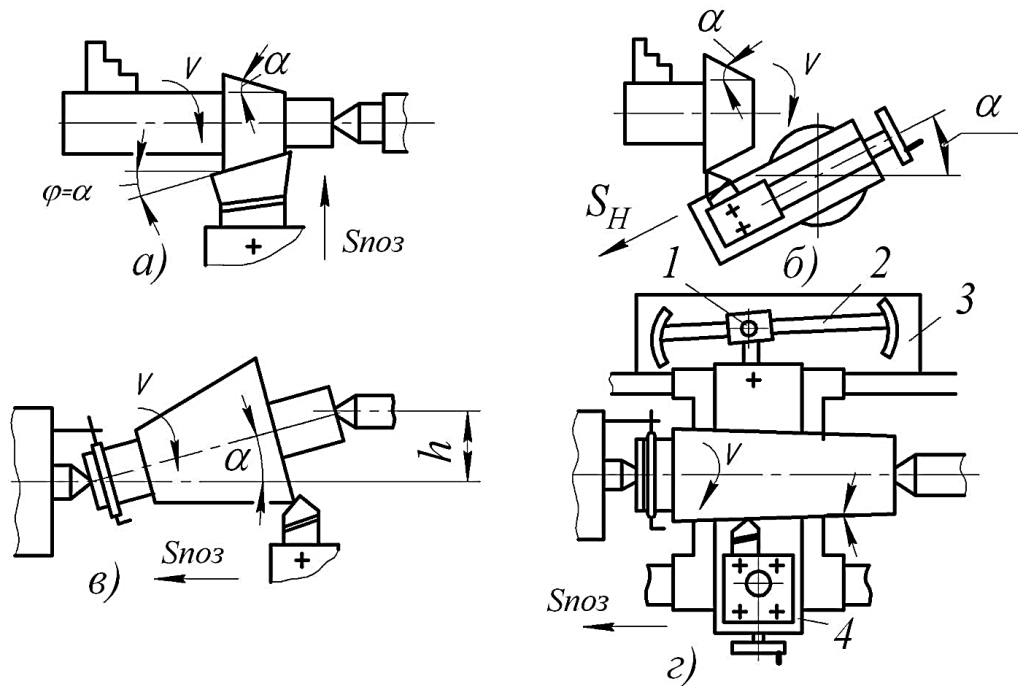


Рисунок 4.3 – Схеми обточування зовнішніх кінцевих поверхонь на токарних верстатах

4.2 Обробка заготовок на токарно-револьверних верстатах

Токарно-револьверні верстати призначені для обробки деталей порівняно складної форми, що потребують застосування значної кількості різноманітних інструментів. Вони мають спеціальний багатопозиційний пристрій для закріплення інструментів – револьверну головку. Вона монтується на поздовжньому супорті особливої конструкції. Розрізняють револьверні верстати з багатогранною револьверною головкою, що обертається навколо вертикальної осі, та верстати з круглою головкою, яка має горизонтальну вісь обертання. Всі потрібні для обробки деталі інструменти встановлюються заздалегідь у певній послідовності в револьверній головці та в поперечних супортах (передньому і задньому) і під час обробки заготовки їх по черзі швидко вводять у роботу. Інструменти, що працюють з поздовжньою подачею (прохідні та розточувальні різці, свердла, зенкери, розвертки, мітчики, плашки тощо), закріплюють у револьверній головці, а інструменти, що потребують поперечної подачі (відрізні, підрізні, фасонні та ін. різці), – в різцетримачах поперечних супортів. Револьверні верстати з круглою револьверною головкою, яка обертається навколо горизонтальної осі, поперечних супортів не мають. Усі інструменти закріплюють у гніздах револьверної головки. Поперечна подача інструментів на таких верстатах замінюється їх коловою подачею – повільним обертанням револьверної головки навколо горизонтальної осі.

На токарно-револьверних верстатах обточують зовнішні циліндричні поверхні, підрізають торці, свердлять, зенкерують, розвертають і розточують отвори, обточують фасонні поверхні, проточують канавки, нарізають зовнішні (плашками) та внутрішні (мітчиками) різьби.

На рис. 4.4 показана схема токарно-револьверного верстата з багатогранною головою, а на рис. 4.5 показано налагодження револьверного верстата на виготовлення різьбової пробки. Обробку всіх поверхонь здійснюють за сім переходів, використовуючи в позиціях 3 і 4 паралельну роботу інструментів, що скорочує основний час обробки.

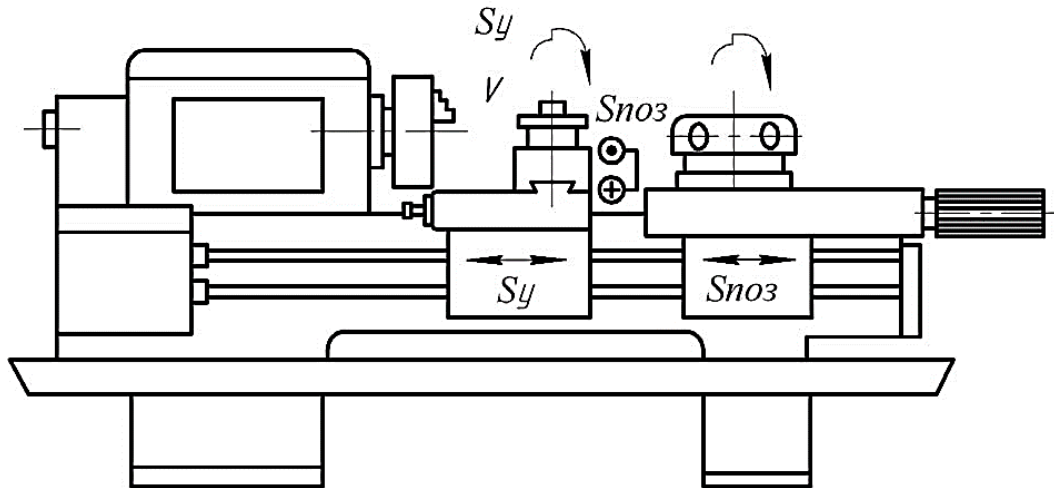


Рисунок 4.4 – Схема токарно-револьверного верстата

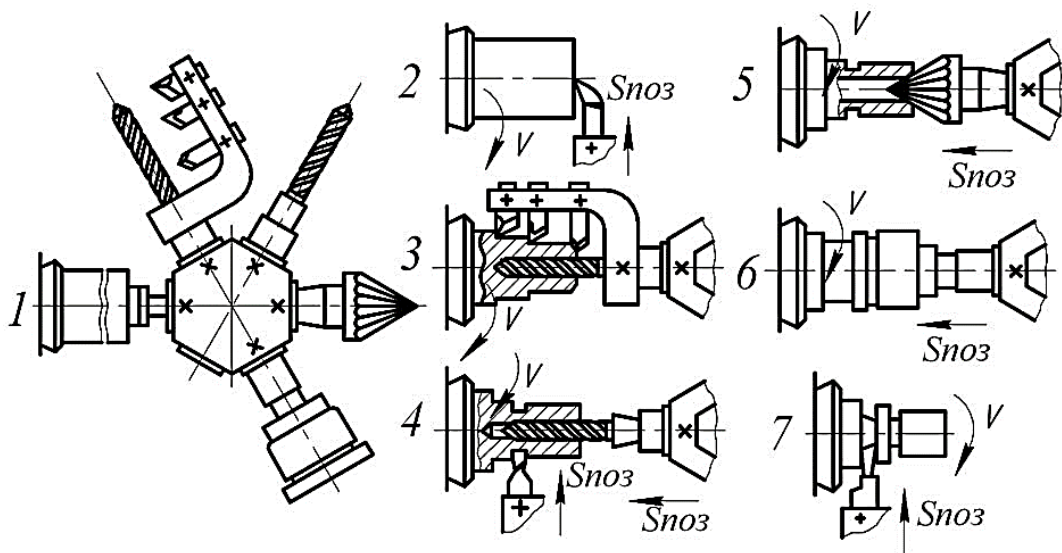


Рисунок 4.5 – Схеми обробки поверхонь заготовки на револьверному верстаті:

1 – подача прутка до упору; 2 – підрізка правого торця; 3 – обточування двох циліндричних поверхонь, знімання фаски і свердління отвору; 4 – зенкерування отвору і проточування кільцевої канавки; 5 – зенкування; 6 – нарізання різьби плашкою; 7 – відрізка готової деталі

4.3 Обробка заготовок на токарно-карусельних верстатах

Токарно-карусельні верстати призначені для обробки важких (масою до 200 т) заготовок великого діаметра (до 24 м) і малої довжини до 0,3...0,5 діаметра (ротори водяних і газових турбін, зубчасті колеса, маховики, шківни тощо). Особливістю цих верстатів є наявність круглого горизонтального стола з вертикальною віссю обертання, що полегшує установлення і закріплення заготовок на верстаті. За конструкцією карусельні верстати бувають одно- і двостояковими з діаметрами стола від 0,5 до 21 м.

На рис. 4.6, а показана схема двостоякового карусельного верстата, а на рис. 15, б – схема обробки заготовки на такому верстаті.

Токарно-карусельний верстат складається зі станини 1, на якій змонтовано круглий стіл (карусель) 12, і стояків 2, з'єднаних поперечиною 6. По вертикальних напрямних стояків переміщується рухома траверса 3, що дає можливість установити її на певному рівні над столом в залежності від висоти заготовки. На траверсі встановлені вертикальний супорт 5 з коробкою подач 4 і револьверний супорт 7 з револьверною головою 8 і коробкою подач 9. На правій стійці встановлено боковий супорт 10 з коробкою подач 11.

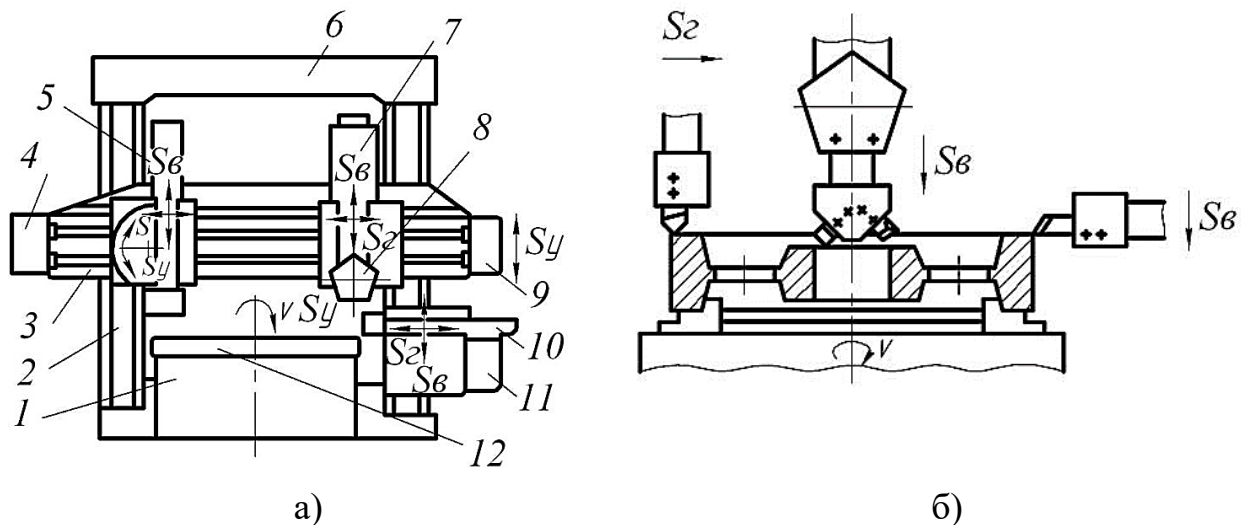


Рисунок 4.6 – Схеми токарно-карусельного верстата (а) і обробки на ньому заготовки (б)

Головним рухом у карусельних верстатів є обертання заготовки, яке здійснюється від приводу головного руху з коробкою швидкостей, змонтованих у станині верстата.

Різальні інструменти закріплюють у різцетримачах супортів і в гніздах револьверної головки. Кожен із супортів має горизонтальну та вертикальну подачі. Супорт 5, крім того, має ще поворотні полозки, повертаючи які на кут

до $\approx \pm 45^\circ$ можна надавати різцетримачу, встановленому на цих полозках, подачу під заданим кутом і обробляти конічні поверхні.

На токарно-карусельних верстатах можна здійснювати такі операції: обточувати зовнішні та розточувати внутрішні циліндричні і конічні поверхні, обточувати фасонні поверхні, свердли, зенкерувати та розвертати отвори, обточувати плоскі торцеві поверхні, використовуючи при цьому багатоінструментну обробку.

На рис. 4,6 б наведено схему обробки маховика великого діаметра кількома інструментами.

1. Токарно-карусельний верстат 1516Ф3:

<https://www.youtube.com/watch?v=s5eSvCgY8kM>

<https://www.youtube.com/watch?v=4hTfT8uM5mM>

Контрольні питання

1. На які типи поділяються верстати токарної групи?
2. Які види робіт виконуються на токарно-гвинторізних верстатах?
3. Основні частини токарно-гвинторізного верстата.
4. Основні види токарних різців.
5. Основні методи обробки конічних поверхонь на токарних верстатах.
6. Призначення та особливості будови револьверних верстатів.
7. Призначення та основні види робіт на карусельних верстатах.

ТЕМА 5

5. ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ СВЕРДЛИЛЬНО-РОЗТОЧУВАЛЬНОЇ ГРУПИ

За прийнятою системою класифікації ці верстати відносяться до другої групи і до них належать свердлильні (вертикально -, радіально -, горизонтально-свердлильні), розточувальні (координатно-, горизонтально-розточувальні) та свердлильні автомати й напівавтомати. Головне призначення таких верстатів - обробка отворів у заготовках деталей машин.

5.1 Обробка заготовок на свердлильних верстатах

Свердління – розповсюджений метод отримання в суцільному матеріалі наскрізних і глухих отворів і обробки попередньо отриманих отворів з метою збільшення їх розмірів, підвищення точності та покращання якості поверхні.

Свердління здійснюють при поєднанні обертального руху інструмента навкруги осі – головного руху і поступального його руху вздовж осі – руху подачі. Обидва ці рухи на свердлильних верстатах надають інструменту.

Найбільш розповсюдженим інструментом для свердління і розсвердлювання є спіральне свердло (рис. 5.1, а), яке складається з робочої частини 6, шийки 2, хвостовика 4 і лапки 3.

В робочій частині 6 розрізняють різальну 1 і напрямну 5 частини з гвинтовими канавками. Шийка 2 з'єднує робочу частину свердла з хвостовиком. Хвостовик 4 потрібен для встановлення свердла в шпинделі верстата. Лапки 3 використовують як упор при вибиранні свердла з отвору шпинделя.

Елементи робочої частини і геометричні параметри спірального свердла показані на рис. 5.1, б. Свердло має дві головні різальні кромки 11, що утворені перетином передніх 10 і задніх 7 поверхонь і які виконують основну роботу різання; поперечну різальну кромку 12 (перемичку) і дві допоміжні різальні кромки 9. На напрямній частині свердла 5 (рис. 5.1, а) вздовж гвинтової канавки розташовані дві вузькі стрічки 8 завширшки 0,2...2,6 мм для забезпечення напрямку свердла при різанні. Умови роботи свердла визначаються його геометричними параметрами. *Передній кут* γ вимірюють у головній січній площині II – II, перпендикулярній до головної різальної кромки. *Задній кут* α вимірюють в площині I – I, паралельній осі свердла. Ці кути в різних точках головної різальної кромки різні. Біля зовнішньої поверхні кут γ найбільший, а кут α найменший; ближче до осі – навпаки. *Кут при вершині свердла* 2φ вимірюють між головними різальними кромками і його значення

залежить від оброблюваного матеріалу: для обробки сталі і чавуну $2\varphi = 118^\circ$, для обробки м'яких і в'язких матеріалів (алюмінію, силуміну) – $2\varphi = 80...90^\circ$, для свердління твердих і крихких матеріалів – $2\varphi = 130...140^\circ$. Кут нахилу поперечної різальної кромки (перемички) 12 свердла $\psi = 50...55^\circ$. Кут нахилу гвинтової канавки ω вимірюють по зовнішньому діаметру. З його збільшенням збільшується передній кут γ ; при цьому полегшується процес різання і покращується вихід стружки.

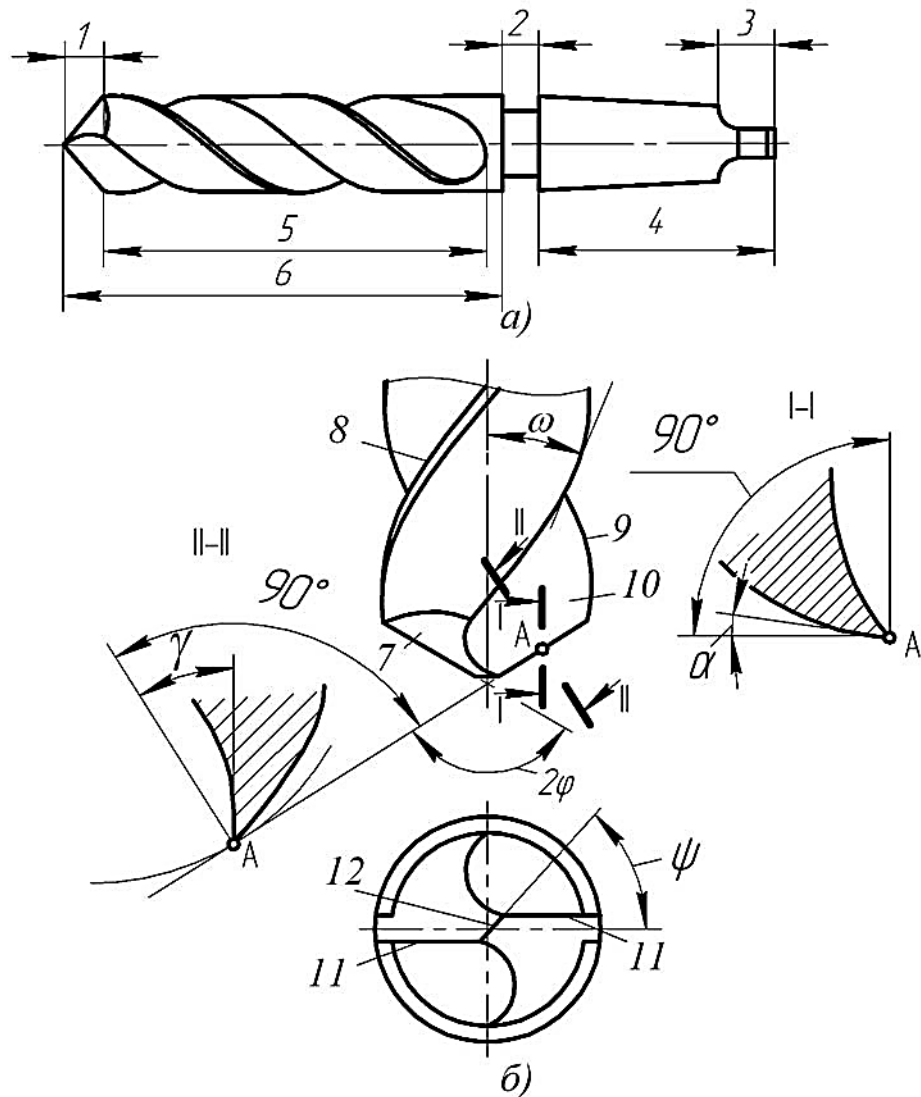


Рисунок 5.1 – Частини, елементи й кути спірального свердла

Попередньо просвердлені отвори, а також отвори в литих і штампованих заготовках оброблюють зенкерами (рис. 5.2). На відміну від свердел зенкери мають три або чотири головні різальні кромки і не мають поперечної кромки.

Різальна частина 1 виконує основну роботу різання. Калібрувальна частина 5 спрямовує зенкер у отвір і забезпечує необхідну точність і

шорсткість поверхні (2 – шийка, 3 – лапка, 4 – хвостовик, 6 – робоча частина).

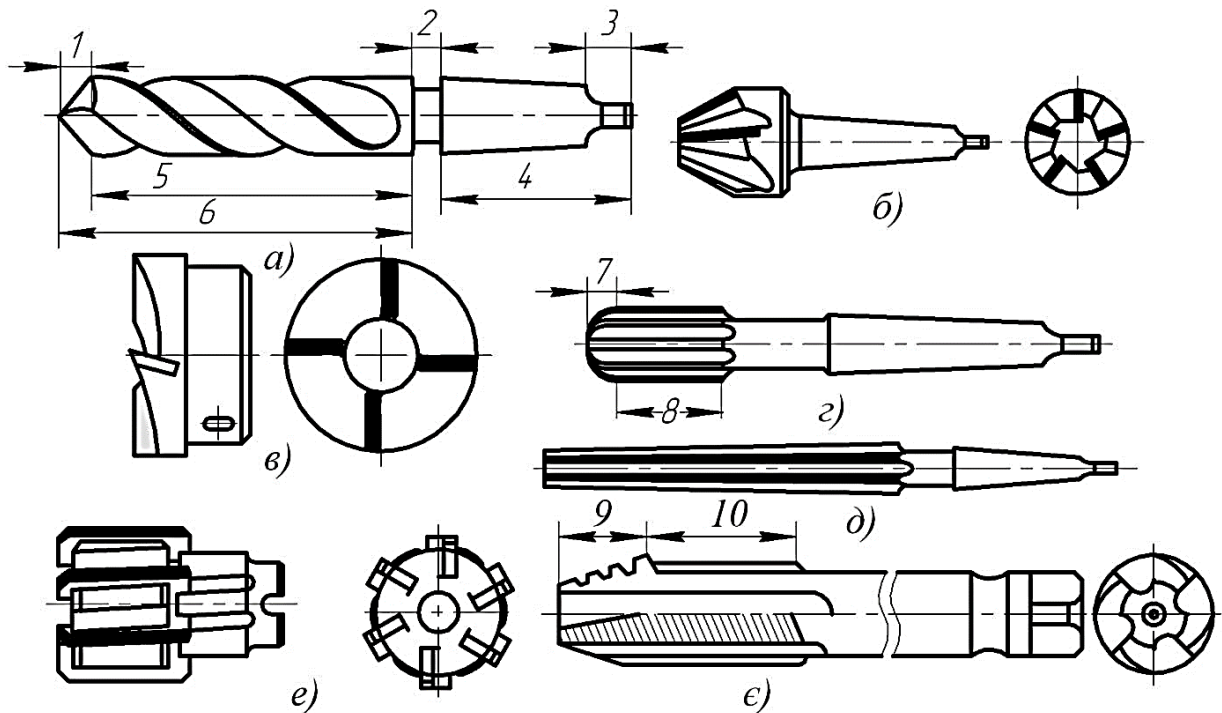


Рисунок 5.2 – Інструменти для обробки отворів на свердлильних верстах:

в – зенкери; г - е – розвертки; є – мітчик

Залежно від призначення зенкери поділяють на циліндричні (рис. 5.2, а), конічні – зенківки (рис. 5.2, б) та торцеві (рис. 5.2, в). За способом кріплення зенкери бувають суцільні з конічним хвостовиком (рис. 5.2, а, б) і насадні (рис. 5.2, в).

Для остаточної обробки отворів використовують *розвертки*. За формою отвору, що оброблюється, розрізняють циліндричні (рис. 5.2, г) і конічні (рис. 5.2, д) розвертки. Розвертки мають 6...12 головних різальних кромки, розташованих на різальній частині 7 з напрямним конусом. Калібруюча частина 8 спрямовує розвертку у отвір і забезпечує необхідні точність і шорсткість поверхні.

За конструкцією кріплення розвертки поділяють на хвостові і насадні. На рис. 5.2, е показана машинна розвертка з механічним кріпленням різальних пластинок у її корпусі.

Для нарізання зовнішніх різьб на свердлильних верстатах використовують такі інструменти як *мітчики* (рис. 5.2, є). Мітчик – це гвинт з прорізними прямими чи гвинтовими канавками, які утворюють різальні кромки. Робоча частина мітчика має різальну 9 і калібруючу 10 частини. Профіль різьби мітчика відповідає профілю різьби, яка нарізується.

В машинобудуванні найпоширенішими свердлильними верстатами є *вертикально-свердлильні та радіально-свердлильні*. Це універсальні верстати, призначені для обробки отворів в одиничному та дрібносерійному виробництвах. При використанні спеціальних пристроїв, наприклад, багатошпиндельних свердлильних головок, їх можна застосовувати і в великосерійному та масовому виробництвах.

Загальний вигляд вертикально-свердлильного верстата подано на рис. 5.3. На фундаментній плиті 1 змонтована станина 2, у верхній частині якої розміщена коробка швидкостей 6 зі шпинделем, якому надається головний обертальний рух. Рух подачі інструмент отримує від коробки подач 5, розташованої в кронштейні 4. Заготовку встановлюють на столі 3. Суміщення осі обертання інструмента з віссю отвору досягається переміщенням заготовки.

При обробці великогабаритних значної маси заготовок з отворами, розташованими на значній відстані один від одного, використовують радіально-свердлильні верстати, в яких суміщення осей різального інструмента і оброблюваних отворів досягається переміщенням шпиндельної головки верстата. На рис. 5.4 показано загальний вигляд такого верстата. До фундаментної плити 1 прикріплена нерухома колона 2 з гільзою 3, яка може повертатися на 360°. Встановлена на гільзі траверса 4 може переміщуватися по ній вертикально і закріплюватися на певній висоті за допомогою механізму 5. По горизонтальних напрямних траверси переміщується шпиндельна головка 6 з коробками швидкостей 7 і подач 8.

Шпиндель 9 з інструментом отримує головний рух і вертикальну подачу. Заготовка може бути встановлена і закріплена на столі 10 або безпосередньо на фундаментній плиті 1. Поворотом гільзи з траверсою навколо осі колони і переміщенням шпиндельної головки по напрямних траверси досягається суміщення осей інструмента і отвору заготовки.

Схеми операцій, які можна виконувати на вертикально - та радіально-свердлильних верстатах, наведено на рис. 5.5.

Свердління наскрізного отвору (рис. 5.5, а) здійснюється спіральним свердлом.

Розсвердлювання (рис. 5.5, б) – процес збільшення діаметра раніше просвердленого отвору свердлом більшого діаметра. Діаметр отвору під розсвердлювання вибирають так, щоб поперечна різальна кромка в роботі участі не брала для зменшення осьового зусилля.

Зенкерування – обробка попередньо отриманих отворів для надання їм більш правильної геометричної форми, підвищення точності та зниження шорсткості багатолезовим різальним інструментом – зенкером (рис. 5.5, в).

Розвертання – остаточна обробка циліндричного або конічного отвору розверткою (зазвичай після зенкерування) з метою отримання високої точності і низької шорсткості обробленої поверхні (рис. 5.5, г, д).

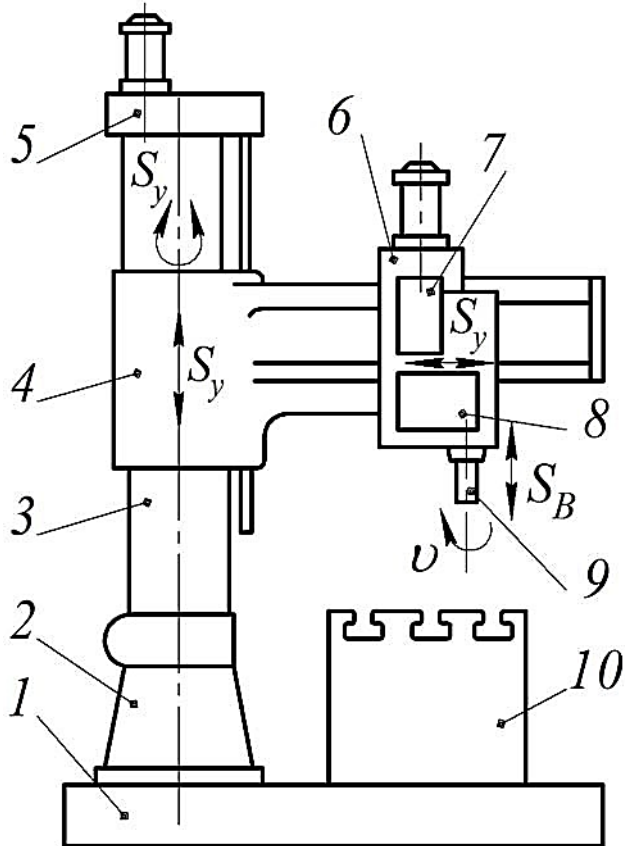


Рисунок 5.3 – Загальний вигляд вертикально-свердильного верстата

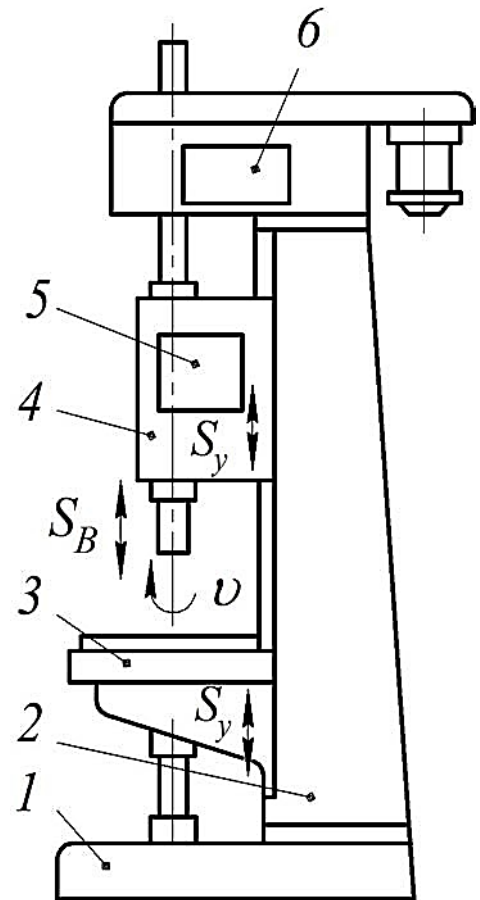


Рисунок 5.4 – загальний вигляд радіально-свердильного верстата

Цекування – обробка торцевої поверхні деталі біля отвору торцевим зенкером для досягнення перпендикулярності плоскої торцевої поверхні до осі отвору (рис. 5.5, е).

Зенкуванням отримують у готових отворах циліндричні чи конічні заглиблення під головки гвинтів, болтів, заклепок тощо. На (рис.5.5, є, ж) показано зенкування циліндричного та конічного заглиблень відповідно циліндричним та конічним зенкерами (зенківками).

Нарізання різьби – отримання в отворі гвинтової канавки за допомогою мітчика (рис. 5.5, з).

Отвори складного профілю оброблюють за допомогою комбінованого різального інструмента. На (рис. 5.5, и) показано комбінований зенкер для обробки двох поверхонь: циліндричної і конічної.

Свердління глибоких отворів (довжина отвору більша за п'ять діаметрів) здійснюють на горизонтально-свердлильних верстатах свердлами спеціальної конструкції, в яких крізь внутрішній канал свердла стружка вимивається змащувально-охолодною рідиною (ЗОР), що подається в зону різання.

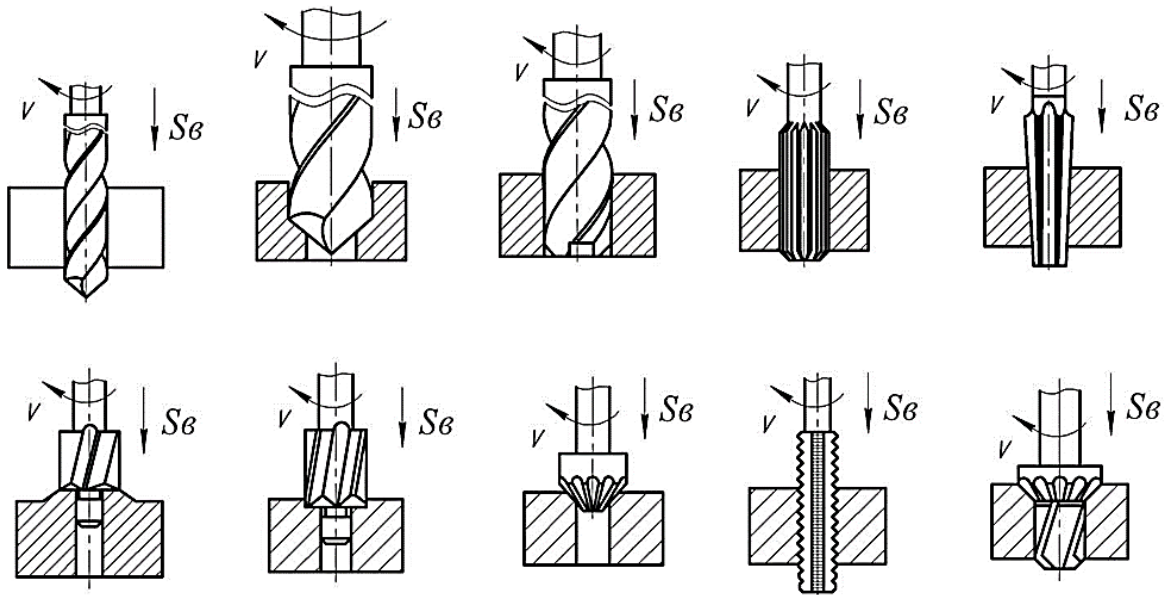


Рисунок 5.5 – Схеми обробки заготовок на свердлильних верстатах

5.2 Обробка заготовок на розточувальних верстатах

До розточувальних верстатів відносяться координатно-, горизонтально- та алмазно-розточувальні.

На розточувальних верстатах виконують свердління, зенкерування, розвертання та розточування отворів, обточування зовнішніх циліндричних поверхонь різцем, підрізання торців, нарізання різьб, фрезерування поверхонь.

Розточувальні верстати використовують переважно для обробки отворів з точно скоординованими осями в заготовках корпусних деталей.

Найпоширенішими верстатами в машинобудуванні є **горизонтально-розточувальні верстати**. На рис. 5.6 показано загальний вигляд такого верстата.

На станині 1 встановлено стояк 2, на вертикальних напрямних якого змонтована шпиндельна бабка 3. В ній розташовані коробки швидкостей і подач. Шпиндель коробки швидкостей порожнистий, на ньому закріплена планшайба 4 з радіальним супортом 5. Всередині порожнистого шпинделя змонтований розточувальний шпиндель 6. На задньому стояку 7 є додаткова опора (**люнет**) 8 для підтримання довгих розточувальних оправок

(*борштанг*). Люнет 8 переміщується по задньому стояку 7 синхронно зі шпиндельною бабкою 3, зберігаючи співвісність із шпинделем.

Заготовку встановлюють на поворотному столі 11, який розміщується на каретці 10, що переміщується в поперечному напрямі. Каретка 10 встановлена на полозках 9, які переміщуються в поздовжньому напрямі на напрямних станини. Головним рухом є обертання розточувального шпинделя або планшайби. Рух подачі може отримувати стіл 11 (заготовка), розточувальний шпиндель 6, радіальний супорт 5 або ж шпиндельна бабка 3, залежно від оброблюваної поверхні (див. рис. 5.7).

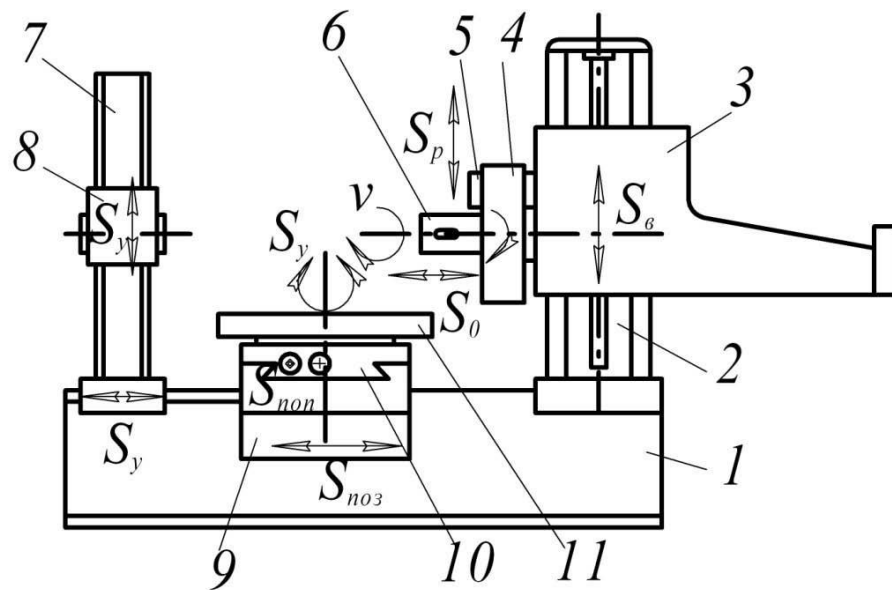


Рисунок 5.6 – Загальний вигляд горизонтально-розточувального верстата

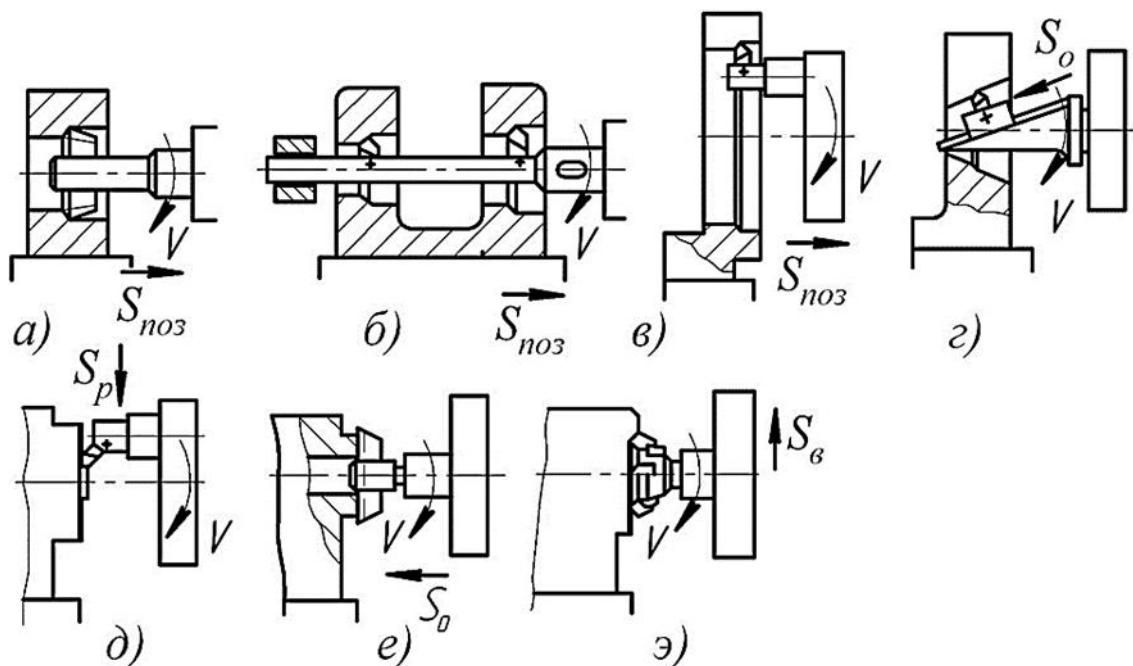


Рисунок 5.7 – Схеми обробки заготовок на горизонтально-розточувальних верстатах

На горизонтально-розточувальних верстатах оброблюють циліндричні та конічні отвори, зовнішні циліндричні та плоскі поверхні, уступи, канавки, нарізають різцями зовнішні та внутрішні різьби тощо.

На рис. 5.7 наведені схеми обробки деяких поверхонь на горизонтально-розточувальних верстатах: розточування циліндричних отворів (рис. 5.7, а, б, в), розточування конічних отворів (рис. 5.7, г), підрізання торців різцями (рис. 5.7, д, е), фрезерування вертикальної поверхні (рис. 5.7, є).

Координатно-розточувальні верстати призначені для обробки точних отворів, осі яких повинні бути точно скоординовані одна відносно одної або від базових поверхонь. Для точного відліку переміщень (координат) верстати обладнані спеціальними оптичними пристроями, які забезпечують точність установлення координатних розмірів до 0,001 мм.

Для забезпечення високої точності обробки ці верстати ізолюють від дії роботи сусіднього обладнання і встановлюють в приміщеннях з постійною температурою $+20^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}$). Застосовують координатно-розточувальні верстати переважно для остаточної обробки отворів у деталях точних приладів і в інструментальних цехах при обробці точних пристроїв, кондукторів, штампів, прес-форм тощо.

Алмазно-розточувальні верстати призначені для остаточної обробки отворів в блоках циліндрів і гільзах тракторних, автомобільних, мотоциклетних двигунів, циліндрів гідравлічних систем тощо алмазними і твердосплавними інструментами. Висока точність і мала шорсткість обробленої поверхні забезпечується використанням високих швидкостей різання (до 1000 м/хв), незначних подач (0,01...0,1 мм/об) і глибин різання (до 0,2 мм).

1. Свердлення і розсвердлювання наскрізних отворів

<https://www.youtube.com/watch?v=rKMqp6QzhGg>

Контрольні питання

1. На які типи поділяються верстати свердлильно-розточувальної групи?
2. Типи свердлильних верстатів та їх схеми.
3. Операції, які виконуються на свердлильних верстатах.
4. Призначення та типи розточувальних верстатів.
5. Операції, які виконуються на розточувальних верстатах.

ТЕМА 6.

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 v , подачу S , глибину різання t , 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. 6.1, *а*), торцеві (рис. 6.1, *б, ж*), дискові (рис. 6.1, *в*), кінцеві (рис. 6.1, *г*), кутові (рис. 6.1, *д*), шпонкові (рис. 6.1, *е*), фасонні (рис. 6.1, *є*).

Фрези виготовляють суцільними (рис. 6.1, *б – є*) або збірними зі вставними зубами – ножами (рис. 6.1, *а, ж*). Різальні кромки можуть бути прямі (рис. 6.1, *д*) або гвинтові (рис. 6.1, *а*). Фрези можуть мати гостро заточені (рис. 6.1, *з*) або затиловані (рис. 6.1, *и*) зуби. У фрез з гостро заточеними 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.

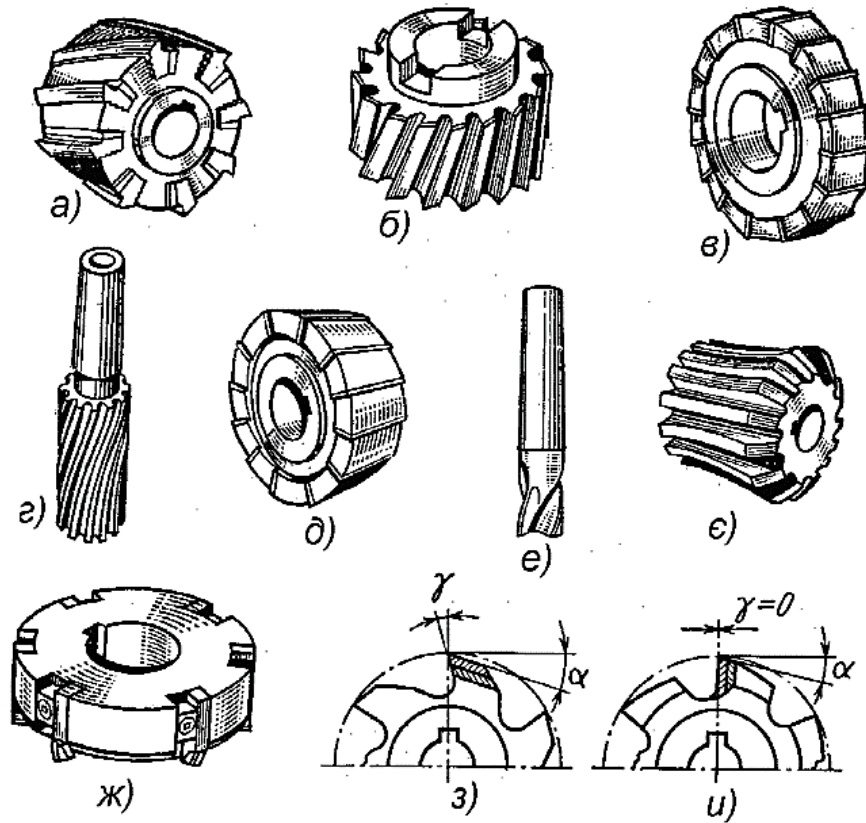


Рисунок 6.1- Типи фрез

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 без консольні, фрезерні верстати безперервної дії, поздовжньо-фрезерні, копіювальні, гравірувальні та ін.

Найбільш поширеними серед названих верстатів є консольні вертикальні та горизонтальні. На рис. 6.2 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 напрямках: 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.

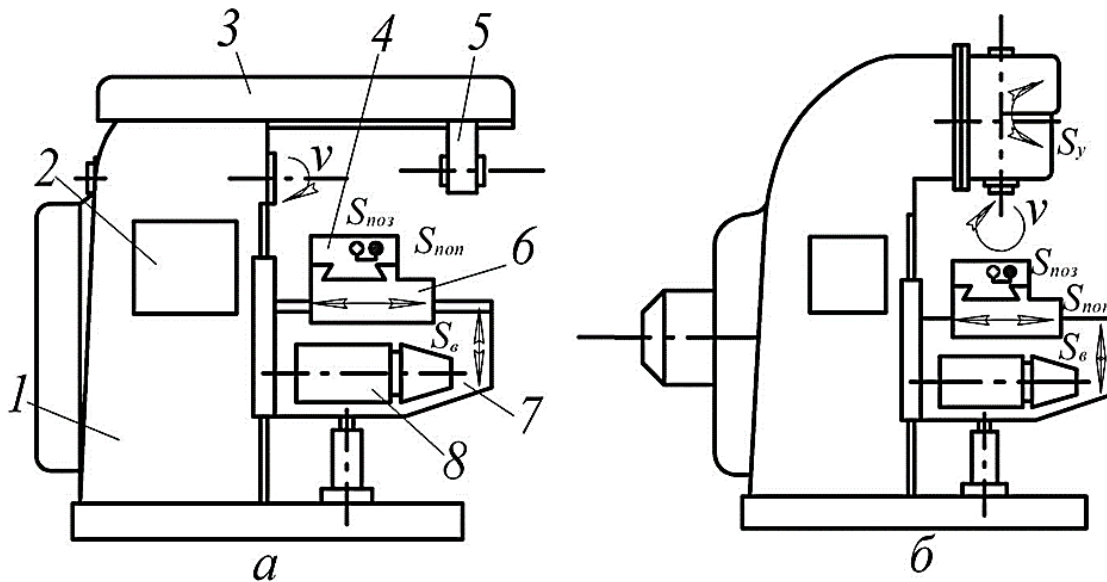


Рисунок 6.2- Консольні горизонтально-фрезерний (а) і вертикально-фрезерний (б) верстати

6.4 Основні види фрезерних робіт

На рис. 6.3 показані схеми фрезерування поверхонь на горизонтально- і вертикально-фрезерних верстатах.

Горизонтальні поверхні фрезерують на горизонтально-фрезерних верстатах циліндричними фрезами (рис. 6.3, а) і на вертикально-фрезерних верстатах торцевими фрезами (рис. 6.3, б), що більш продуктивно внаслідок більшої кількості одночасно працюючих зубів.

Вертикальні площини фрезерують на горизонтально-фрезерних верстатах торцевими фрезами (рис. 6.3, в) і на вертикально-фрезерних верстатах кінцевими фрезами (рис. 6.3, г).

Похилі площини фрезерують торцевими (рис. 6.3, д) і кінцевими фрезами на вертикально-фрезерних верстатах з поворотною фрезерною головкою і горизонтально-фрезерних верстатах кутовими фрезами (рис. 6.3, е).

Комбіновані поверхні фрезерують набором фрез (рис. 6.3, є) на горизонтально-фрезерних верстатах.

Уступи й прямокутні пази фрезерують кінцевими (рис. 6.3, ж) й дисковими (рис. 6.3, з) фрезами на вертикально- і горизонтально-фрезерних верстатах.

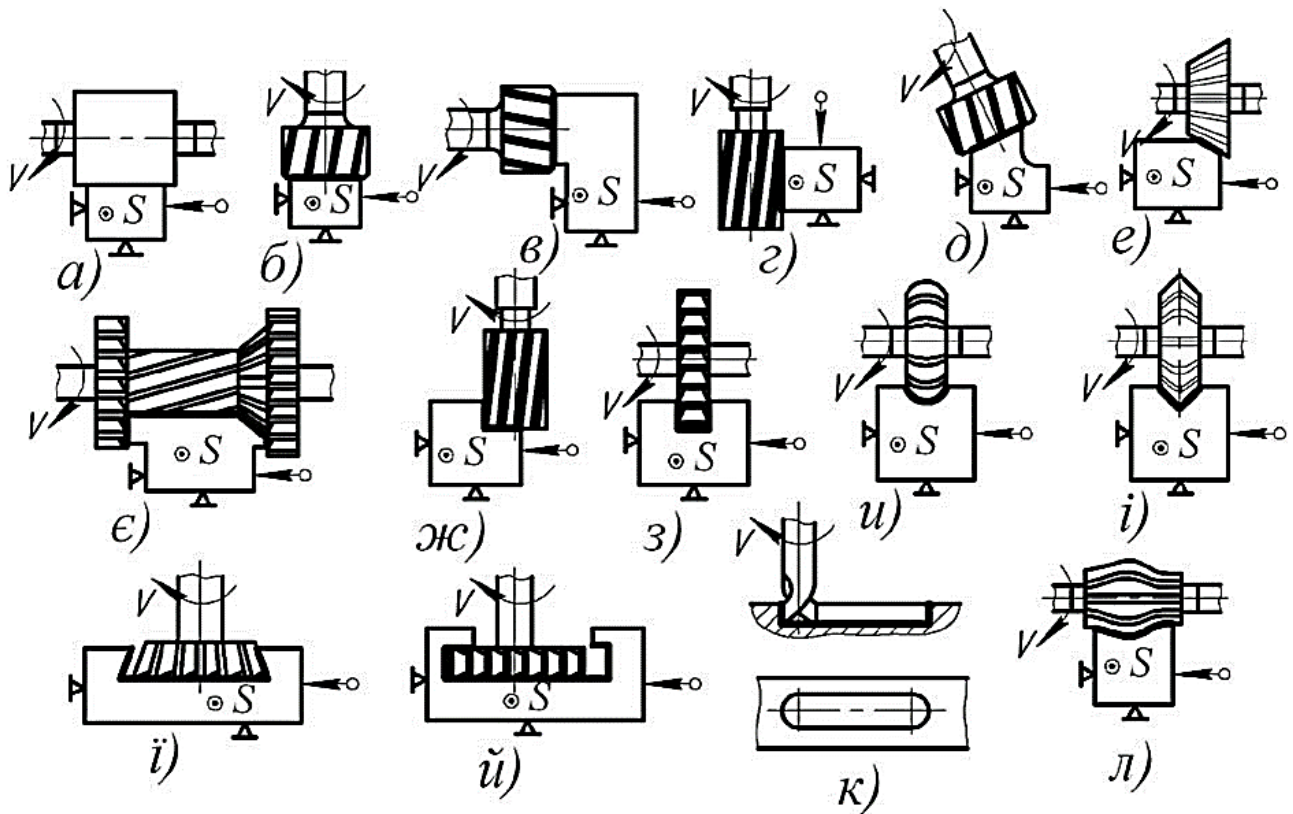


Рисунок 6.3 - Схеми обробки заготовок на горизонтально- і вертикально-фрезерних верстатах

Фасонні пази фрезерують фасонною дисковою фрезою (рис. 6.3, и), кутові пази – кутовою фрезою (рис. 6.3, 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 або кутовою фрезою (рис. 6.3, і).

T-подібні пази (рис. 6.3, 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 паза T-подібною фрезою.

Шпонкові пази фрезерують шпонковими фрезами (рис. 6.3, к) на вертикально-фрезерних верстатах.

Фасонні поверхні фрезерують на горизонтально- або вертикально-фрезерних верстатах фасонними фрезами (рис. 6.3, 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. На рис. 6.4 показано таку головку.

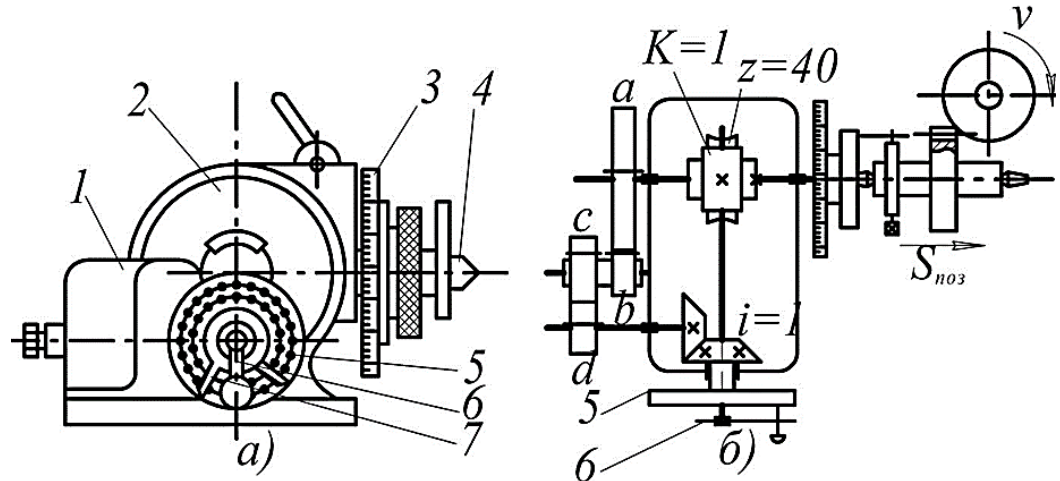


Рисунок 6.4 - Універсальна ділильна головка

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 одного західного 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. 6.4, б) не встановлюють. Шпиндель із заготовкою повертають обертанням рукоятки b через включену черв'ячну передачу.

Число обертів n рукоятки b , 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, зворотне 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 дробу, що не скорочується;

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 mb 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 bm 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 підрахунків 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. 6.4, б). Лімб при цьому вивільняється від стопора, що з'єднує його з корпусом головки.

При диференціальному діленні потрібно налаштувати два елементи ділильної головки – рукоятку на певний поворот і гітару.

Число обертів рукоятки n , необхідне для повороту заготовки на $1/Z$ частини кола, визначається за такою ж формулою, що і при простому діленні:

$$n = \frac{N}{Z_{\text{наб}}},$$

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

Передаточне відношення змінних коліс гітари визначається за формулою:

$$i_z = \frac{N}{Z_{\text{наб}} \cdot (Z_{\text{наб}} - Z)}$$

Якщо $Z_{\text{наб}} < Z$, то i_z має від'ємне значення. При цьому лімб повинен обертатися в бік, протилежний обертанню рукоятки, що досягається встановленням проміжного (паразитного) колеса між колесами a і b або c і d .

Для налаштування гітари, тобто для визначення числа зубів коліс a, b, c і d до ділільних 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 ($Z = 67$). Характеристика головки $N = 40$. В даному випадку просте ділення неможливе тому, що у формулі $n = 40/67$ дріб нескоротний, а на лімбі немає 67 отворів. Застосовуємо диференціальний метод ділення. Приймаємо $Z_{\text{наб}} = 68$.

$$\text{Тоді: } i_{\Gamma} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{N}{Z_{\text{наб}} \cdot (Z_{\text{наб}} - Z)} = \frac{40}{68 \cdot (68 - 67)} = \frac{40}{68}$$

Цей дріб потрібно перетворити так, щоб із „п’яткового” набору можна було підібрати зубчасті колеса a , b , c і d , маючи на увазі, що в наборі є тільки по одному колесу з певним числом зубів.

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

При підборі зубчастих коліс потрібно також враховувати умову зачеплення коліс в гітарі: $a + b > c$ на 10...15 зубів і $c + d > b$ на 10...15 зубів. У нашому прикладі $a = 25$, $b = 20$, $c = 40$, $d = 85$. $a + b > c$ але всього на 5 зубів, що не задовольняє умову зачеплення коліс. Тому приймаємо $a = 75$, $b = 60$. Передаточне відношення від такої заміни не зміниться, а умова зачеплення буде виконана.

Число обертів рукоятки для здійснення ділильного повороту заготовки на $1/67$ повинно бути таким:

$$n = \frac{N}{Z_{наб}} = \frac{40}{68} = \frac{5}{17}.$$

Тобто рукоятку потрібно повернути на 5 поділок кола, що має 17 отворів.

6.5.1 Налагодження ділильних головок для фрезерування спіральних канавок

В металообробці на фрезерних верстатах нерідко приходитья 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 шпindel ділильної головки з’єднують змінними зубчастими колесами a , b , c , d гітари з ходовим гвинтом поздовжньої подачі стола верстата (рис. 6.5).

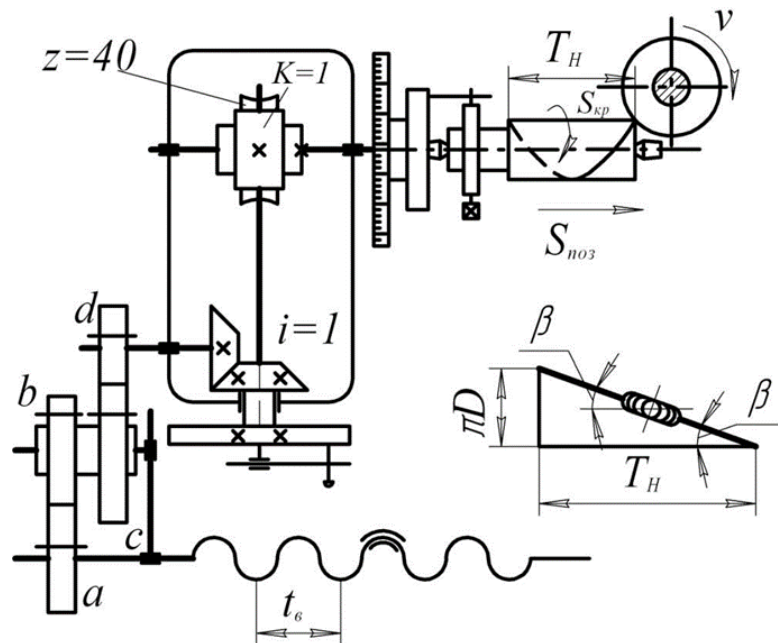


Рисунок 6.5 - Схема налагодження ділильної головки на фрезерування спіральних канавок

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

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

де t_g – крок ходового гвинта поздовжньої подачі стола;

T_k – крок гвинтової канавки.

З цього рівняння отримуємо формулу передаточного відношення гітари:

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{b}{c} = \frac{40 \cdot t}{T_k}$$

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

1. Фрезерування зубчастого колеса з універсальною ділильною головкою:

<https://www.youtube.com/watch?v=Q2P8XxSWSYc>

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. Налаштування ділильної головки на фрезерування спіральних канавок.
6. Основні роботи, які виконують на фрезерних верстатах. Схеми обробки.

ТЕМА 7.

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 багатозубим 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 зрізаного 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, шліцеві, шпонкові, багатогранні та плоскі протяжки.

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

На рис. 7.1 зображена кругла протяжка.

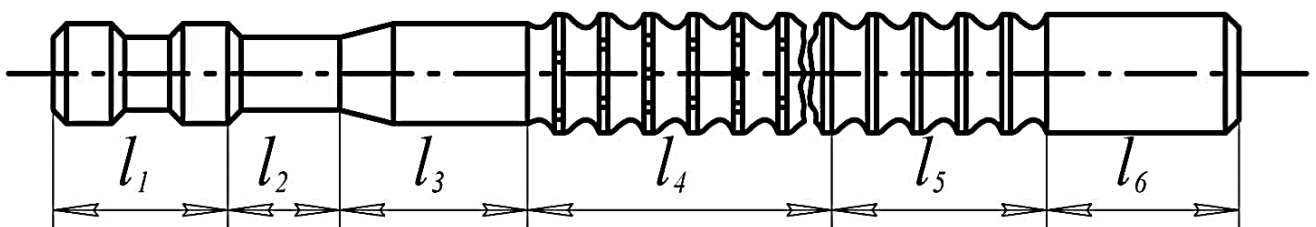


Рисунок 7.1 – Елементи круглої протяжки

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 прямою частиною; 3) *передня пряма 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 обробленим поверхні остаточних розмірів, необхідної

точності і шорсткості; форма і розміри зубів калібрувальної частини однакові і відповідають формі і розмірам останнього різального зуба; б) *задня напрямна частина* l_6 призначена для спрямування протяжки і підтримання її від прогинання до виходу останніх калібрувальних зубів з отвору.

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

На рис. 7.2 показані приклади робіт, які виконують на протяжних верстатах.

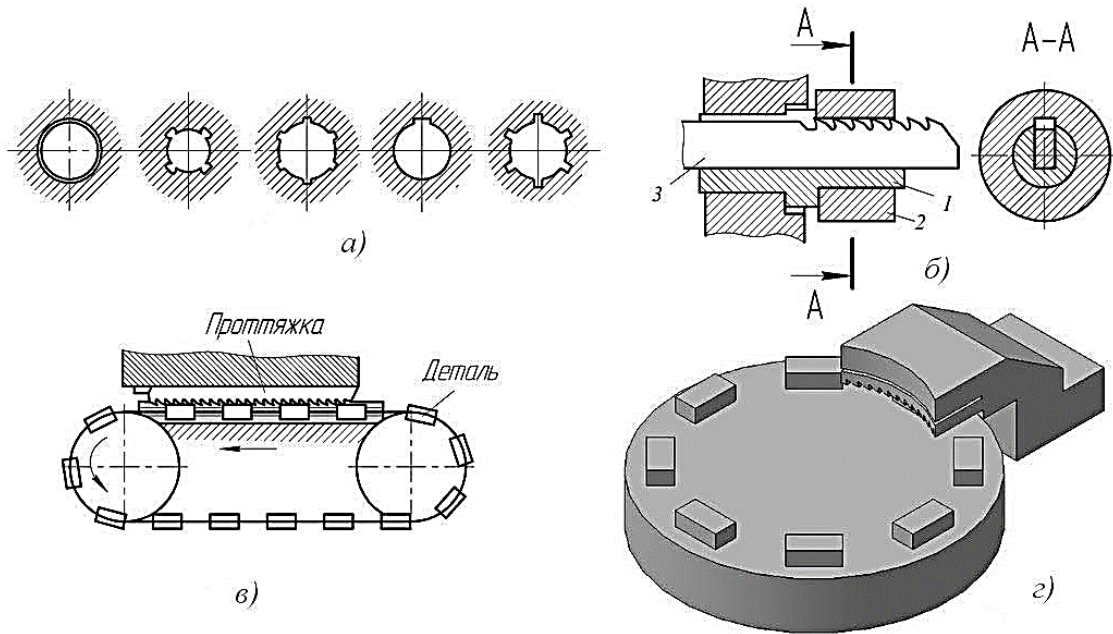


Рисунок 7.2 – Роботи, які виконують на протяжних верстатах

Отвір під протягання (рис. 7.2, а) свердлять або розточують, залишаючи припуск 0,4...0,6 мм для чорного 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. 7.2, б) протягають плоскою шпонковою протяжкою 3 через напрямну втулку 2 з пазом для напрямлення протяжки.

При зовнішньому протяганні широко використовують верстати ланцюгового (рис. 7.2, в,) або карусельного типу (рис. 7.2, г).

1. Протяжка шліців: <https://www.youtube.com/watch?v=MRO2VVC8T8I>

Контрольні питання

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

ТЕМА 8

8. ОБРОБКА ЗАГОТОВОК НА СТРУГАЛЬНИХ І ДОВБАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

8.1 Характеристика процесу обробки струганням і довбанням

Стругальні і довбальні верстати (рис. 8.3 – 8.4) 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 Т-подібних, прямокутних тощо.

При струганні інструмент (в поперечно-стругальних верстатах) або заготовка (в поздовжньо-стругальних верстатах) здійснюють зворотно-поступальний 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 призначенням – на прохідні 1 і 2, підрізні 3, відрізні 4, фасонні 5; за характером обробки – на чорнові 1 та чистові 6 (рис. 8.1, а).

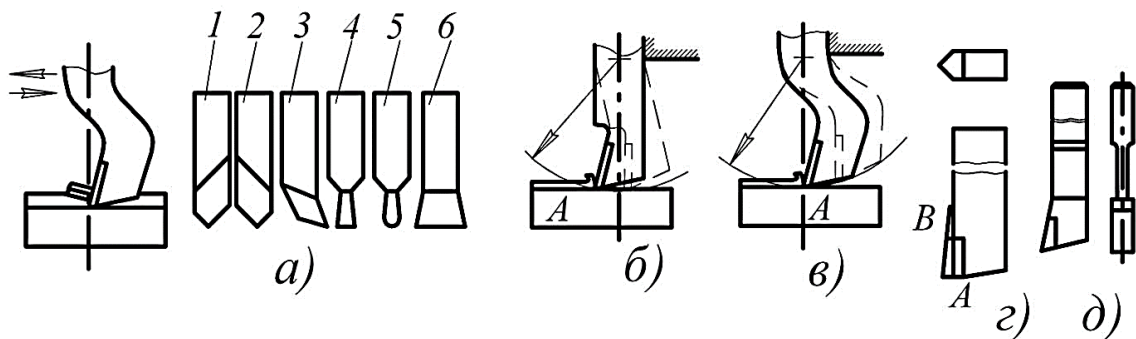


Рисунок 8.1 – Стругальні і довбальні різці

Під час обробки стругальний різець згинається і вершина прямого різця, описуючи дугу навколо точки А (рис. 8.1, 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. 8.1, в). Довбальні прохідний і прорізний різці показані на рис. 8.1, 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 – $Ra = 2,5...1,5$.

На рис. 8.2 наведені приклади робіт, виконуваних на стругальних верстатах. (рис. 8.3)

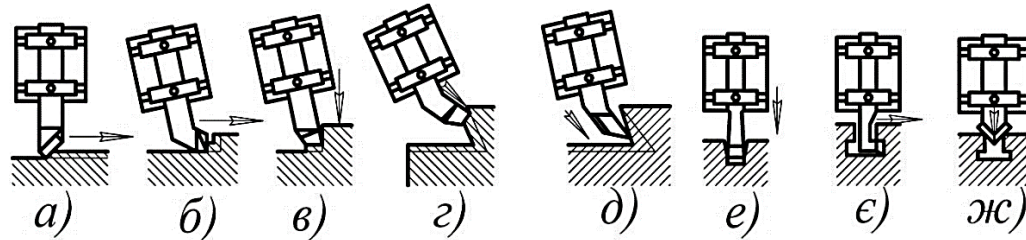


Рисунок 8.2 – Приклади стругальних робіт

Горизонтальні площини обробляють проходними різцями (рис. 8.2, а, б), вертикальні площини (рис. 8.2, в) – проходними або підрізними різцями, закріпленими в різцетримачі, який можна повертати на деякий кут до оброблюваної поверхні. Похилі площини обробляють проходними або підрізними різцями (рис. 8.2, г, д). Пази і канавки обробляють відігнутими і прорізними різцями. Наприклад, для обробки верстатних Т-подібних пазів послідовно застосовують прорізний (рис. 8.2, е), правий і лівий відігнуті різці (рис. 8.2, є), і фасковий різець (рис. 8.2, ж).

Для чистового стругання напрямних станин, плит, столів використовують широкі різці б (рис. 8.1). Глибина різання при цьому становить 0,05...0,1 мм і таке стругання може бути остаточною обробкою.



Рисунок 8.3 – Верстат поперечно-стругальний - 736



Рисунок 8.4 – Довбальний верстат 7A420

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.

1. Обробка шестерні на стругальному верстаті:

https://www.youtube.com/shorts/zqexKXB_NhA

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?

ТЕМА 9

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. 9.1, а) або модульна кінцева фреза (рис. 9.1, 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.

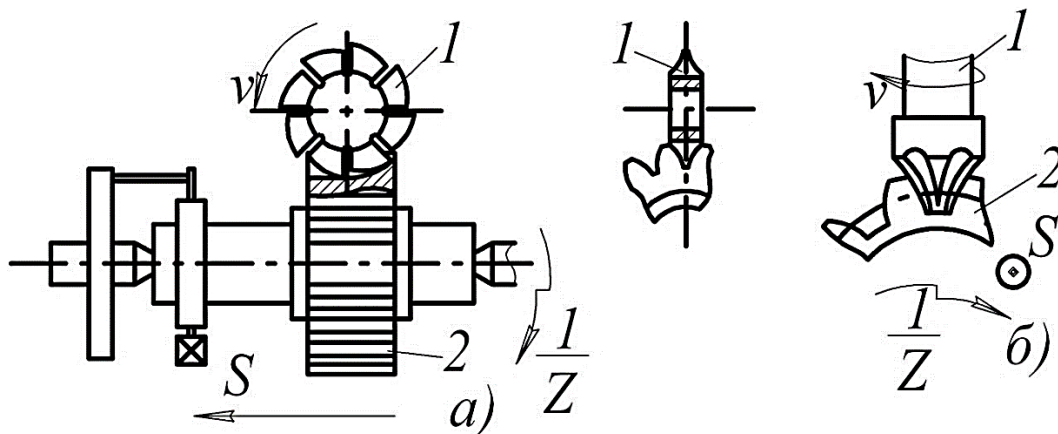


Рисунок 9.1 – Схеми фрезерування зубів за методом копіювання 1 – фреза; 2 – оброблюване колесо

Теоретично для кожного числа зубів зубчастого колеса певного модуля потрібна окрема дискова чи кінцева модульна фреза. Практично ж користуються наборами з вісьма, 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.

Метод *обкатки* ґрунтується 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 кромek інструмента відносно формованого профілю зубів на заготовці отримують внаслідок кінематичне 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 зубофрезерування на зубофрезерних верстатах, зубодовбання на зубодовбальних верстатах та зубостругання на зубостругальних 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'ячної передачі, в якій роль черв'яка виконує черв'ячна фреза, а роль черв'ячного колеса – заготовка.

На рис. 9.2, а наведена схема формоутворення зубів циліндричного колеса черв'ячною фрезою, а на (рис. 9.2, б) показано, що бічна поверхня зуба на заготовці утворюється як крива огинання послідовних положень різальних кромek зубів черв'ячної фрези в їх відносному узгодженому русі.

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 K – число заходів фрези, а Z – число зубів на колесі, що нарізається.

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

$$v = \pi D_{\phi} n_{\phi} / 1000,$$

де D_{ϕ} – діаметр фрези, мм;

n_{ϕ} – частота обертання фрези, об/хв.

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

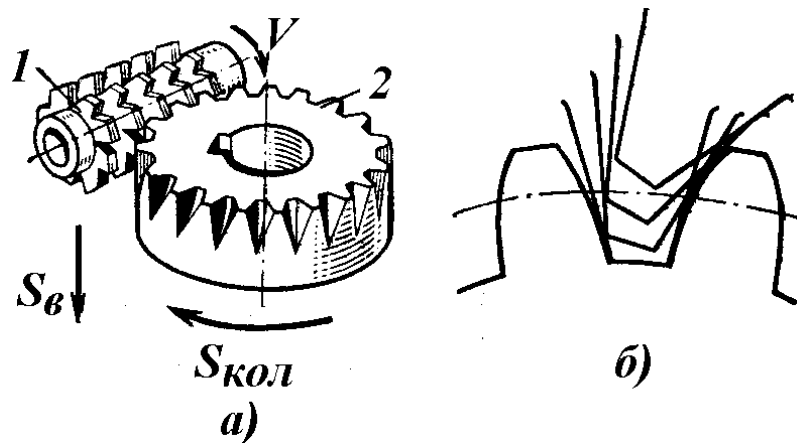


Рисунок 9.2 – Схема формоутворення зубів циліндричного колеса черв'ячною фрезою: 1 – черв'ячна фреза; 2 – заготовка

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 кромки інструмента при відносних рухах заготовки та інструмента (рис. 9.3, б). Ці рухи узгоджені так, щоб при повороті довбача на один зуб заготовка також повернулася 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.

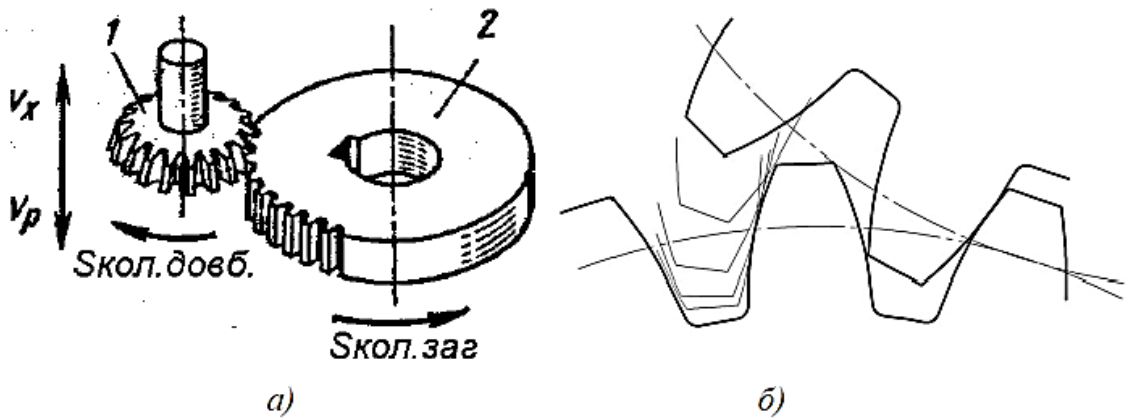


Рисунок 9.3 – Схема формоутворення зубів циліндричного колеса: 1 – довбач; 2 – заготовка

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 зубостругальних верстатах. Цей метод ґрунтується 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. 9.4, а).

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. 9.4, 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 напрямках.

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.

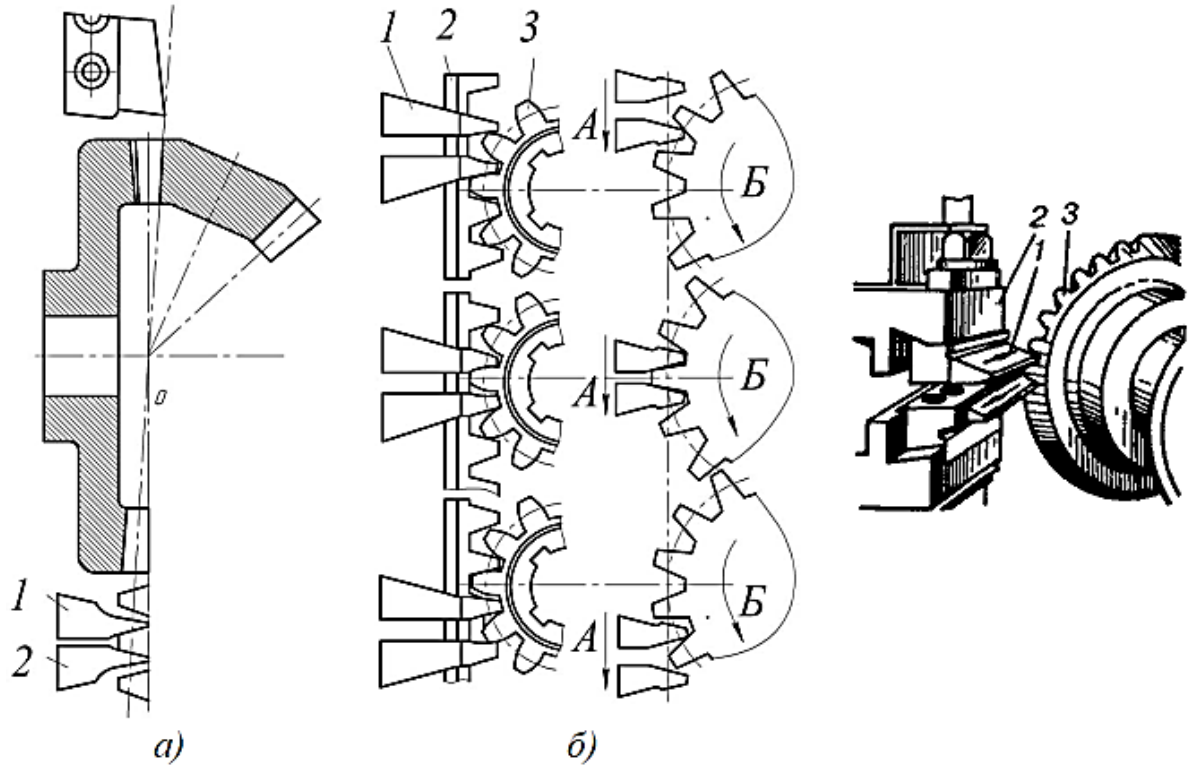


Рисунок 9.4 – Схема нарізання зубів конічних коліс

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.

1. Робота на зубодовбальному станку 5A122:

<https://www.youtube.com/watch?v=9NZ1kiK8-hk>

2. Верстат 5A122 , конструкція , робота в циклі , кінематика:

<https://www.youtube.com/watch?v=6LVMhDFyhk4>

3. Оснастка при зубообробці:

<https://www.youtube.com/watch?v=LXL01DoNI3Q>

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.

ТЕМА 10

10. МЕТОДИ ЧИСТОВОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ

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 шліфування, хонінгування, суперфініш, притирання і полірування. Усі ці методи супроводжуються зніманням стружки з оброблюваної поверхні.

10.1. Обробка заготовок на шліфувальних верстатах

10.1.1 Шліфування

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 108 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 кромek, здатних різати, не має, 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-охолоджувальних рідин.

Застосовується шліфування головним чином для остаточної чистової обробки і є основним методом одержання високої точності (5...6 квалітетів) і незначної шорсткості оброблюваних поверхонь ($R_z = 0,63...0,16$). 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.

10.1.2 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_2O_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 вулканітові (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 $180^{\circ}C$). 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 викиданню абразивних зерен зовнішньою силою. За встановленою шкалою є 7 класів твердості: м'який – М, середньо м'який – СМ, середній – С, середньо твердий – 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.

10.1.3 Схеми круглого і плоского шліфування

Кругле зовнішнє шліфування може здійснюватись з поздовжньою подачею (рис. 10.1, *а*) або тільки з поперечною (врізне шліфування, рис. 10.1, *б*). В першому випадку поперечна подача $S_{\text{поп}}$ 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 $V = 20 \dots 40$ м/с здійснює шліфувальний круг. Обертання заготовки називається коловою подачею.

Схема зовнішнього безцентрового шліфування з поздовжньою подачею заготовки показана на рис. 10.1, *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 ($V = 30 \dots 60$ м/с). Другий круг 4, що називається ведучим, обертається з набагато меншою швидкістю ($V_{\text{в.кр.}} = 0,2 \dots 1,0$ 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 ($1,5 \dots 6^\circ$ при чорновому і $0,5 \dots 1,5^\circ$ при чистовому шліфуванні), швидкість його обертання $V_{\text{в.кр.}}$ розкладається на дві складові – V_z і V_s . Складова V_z забезпечує поздовжню подачу заготовки зі швидкістю $V_z = V_{\text{в.кр.}} \sin \alpha$.

Друга складова $V_s = V_{\text{в.кр.}} \cos \alpha$ є швидкістю обертання заготовки (окружна подача). На рис. 10.1, *з*, *д* показані схеми внутрішнього шліфування. В першому випадку колову подачу отримує заготовка, в другому – шліфувальний круг.

Внутрішнє шліфування за схемою рис. 10.1, *д* застосовують у тих випадках, коли заготовці неможливо (або технічно надто складно) надавати обертового руху.

Плоске шліфування залежно від методу роботи розрізняють периферією плоского (рис. 10.1, *е*) або торцем чашкового круга (рис. 10.1, *є*). Закріплена на столі верстата деталь виконує зворотно-поступальний рух (поздовжня подача

S_{noz}), 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. 10.1, ж, з).

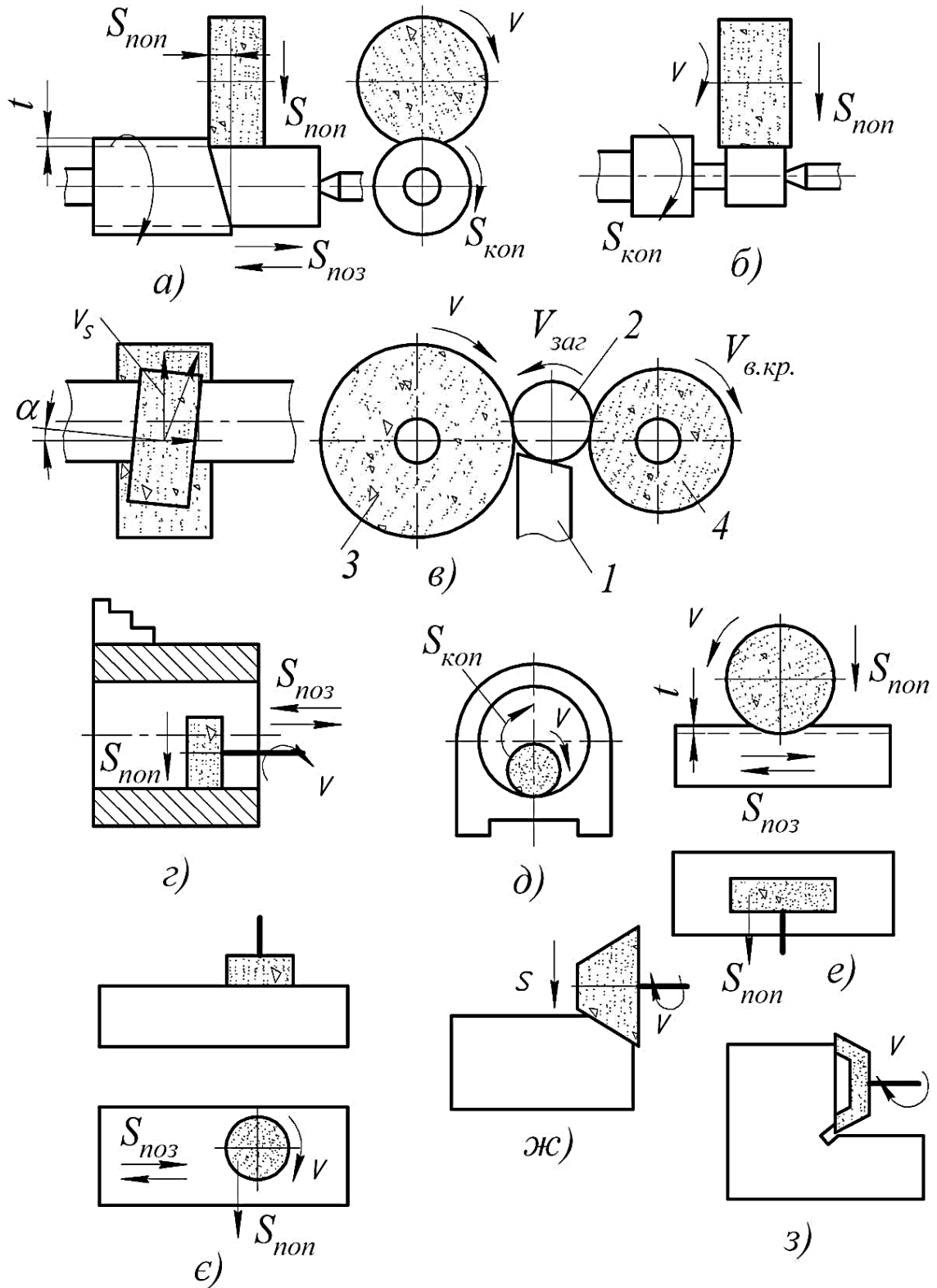


Рисунок 10.1 – Схеми круглого і плоского шліфування

10.1.4 Режими різання при шліфуванні

Основними елементами режиму різання при шліфуванні є швидкість різання, подача і глибина різання. Швидкістю різання при всіх видах шліфування є окружна швидкість шліфувального круга. При круглому шліфуванні елементами режиму різання є також окружна швидкість заготовки, поздовжня і поперечна подачі (див. рис. 10.1 а, в). Окружна швидкість заготовки – це окружна подача $S_{\text{кол}}$, м/хв. Поздовжня подача $S_{\text{поз}}$ – величина переміщення заготовки відносно шліфувального круга за один її оберт (мм/об.заг). Поперечна подача $S_{\text{поп}}$ (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 .

<https://www.youtube.com/watch?v=py1qUKtHp9o>

10.2 Хонінгування

Хонінгування застосовують для отримання поверхонь високої точності і малої шорсткості, а також для створення специфічного мікропрофілю 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 зворотно-поступальний рух подачі вздовж осі оброблюваного отвору (рис. 10.2 а).

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 хонінгованих 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.

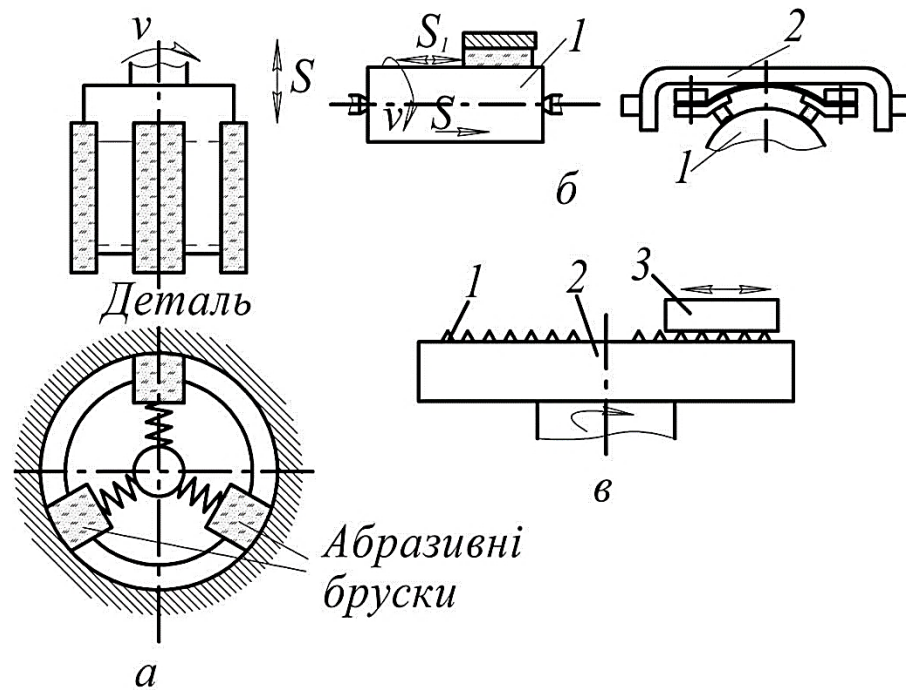


Рисунок 10.2 – Схеми чистової обробки поверхонь - хонінгування

<https://www.youtube.com/watch?v=mkIKzfd-MC8>

10.3 Суперфініш

Суперфінішем зменшують шорсткість поверхні, що залишилась від попередньої обробки. Деталь 1 (рис. 10.2, б) оброблюють абразивними брусками, встановленими в спеціальній головці 2. Внаслідок поєднання трьох рухів: обертального і поздовжнього заготовки (відповідно v і s) і коливного (осцилюючого) головки з брусками (s_1) поверхня стає надзвичайно гладенькою ($Ra = 0,02$), 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.

1. <https://www.youtube.com/watch?v=t8WjiYLLlVTs>

2. <https://www.youtube.com/watch?v=dl6ltUIUqhg>

10.4 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. 10.2, 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. Мікронерівності згладжуються за рахунок хіміко-механічної дії на поверхню заготовки.

1. <https://www.youtube.com/watch?v=8hihxrDpBE>

2. <https://www.youtube.com/watch?v=sKt1rB0rjTU>

10.5 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* (рис. 10.3).

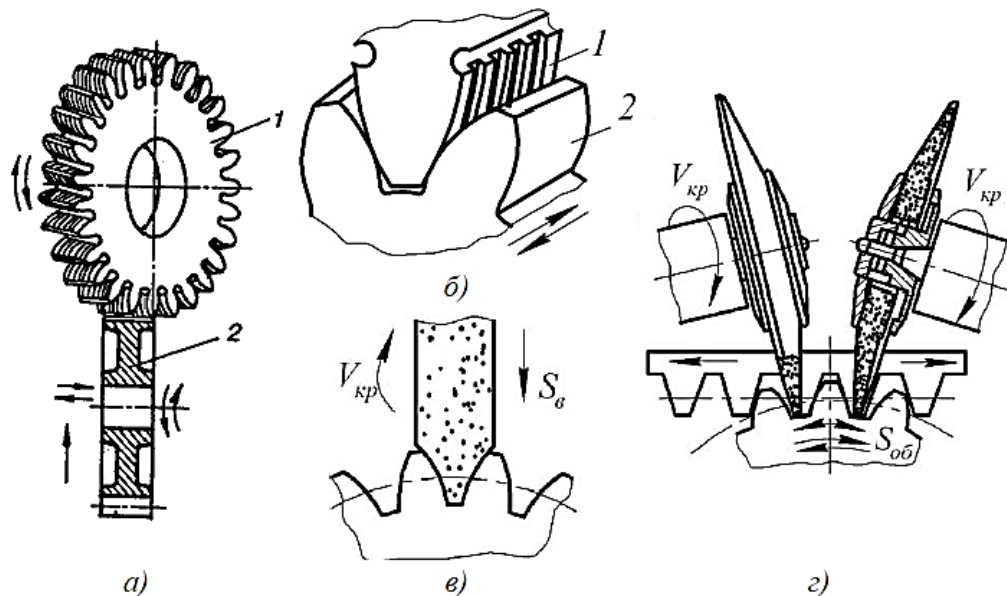


Рисунок 10.3 – Схеми чистової обробки зубів зубчастих коліс

Інструментом для цього є **шевер** (рис.10.4) – косозубе колесо, на бічних поверхнях якого нанесені вузькі канавки, що утворюють різальні кромки (рис. 10.3, а, б). Колесо 2 і шевер 1 зачіплюються між собою так, щоб їх осі перехрещувались під кутом $10...15^\circ$ (рис. 10.3, а).

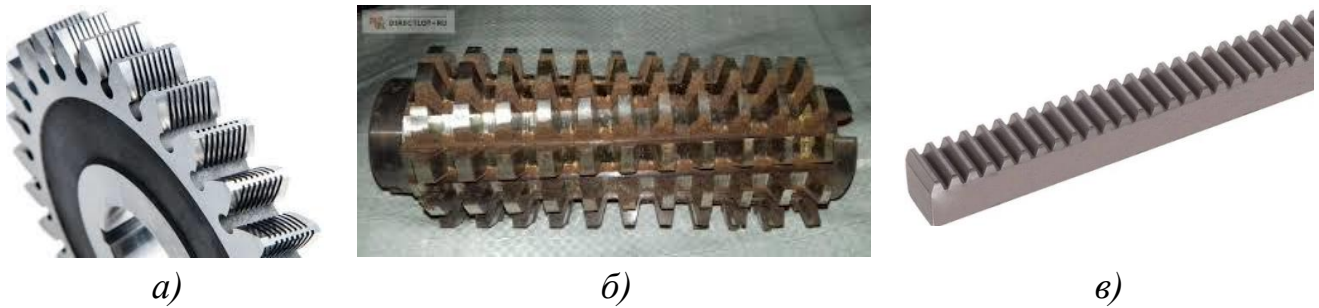


Рисунок 10.4 – Шевери трьох типів: а) дискові; б) черв'якові; в) рейкові.

При взаємному обкочуванні такої зубчастої пари бічні поверхні зубів проковзуються і різальні кромки канавок шевера зрізують (зіскрібають) з поверхні зубів дуже тонкі волосовидні стружки, завдяки чому похибки виправляються, зубчасті колеса стають більш точними, значно зменшується шум при їх роботі.

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 зубонарізанню дисковою модульною фрезою. Евольвентний профіль зуба відтворюється абразивними кругами, що мають профіль впадин оброблюваного колеса (рис. 10.3, в). Шліфувальний круг здійснює головний рух $v_{кр}$, зворотно-поступальний рух вздовж зуба і періодичну вертикальну подачу s_v . 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. 10.3, 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.

1. <https://www.prostanki.com/video/45206add05c79f8662e1>

10.6 Обробка заготовок поверхневим пластичним деформуванням

10.6.1 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 ризики та мікротріщини, 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, дробоструминне зміцнення тощо).

10.6.2 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 вдавленням інструмента в матеріал заготовки і видавленням частини його у впадини інструмента. Такі

методи використовують для утворення різьб, валів з дрібними шліцами, зубчастих дрібно модульних коліс (рис. 10.5)

При формуванні різьби плашками (рис. 10.5, 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.

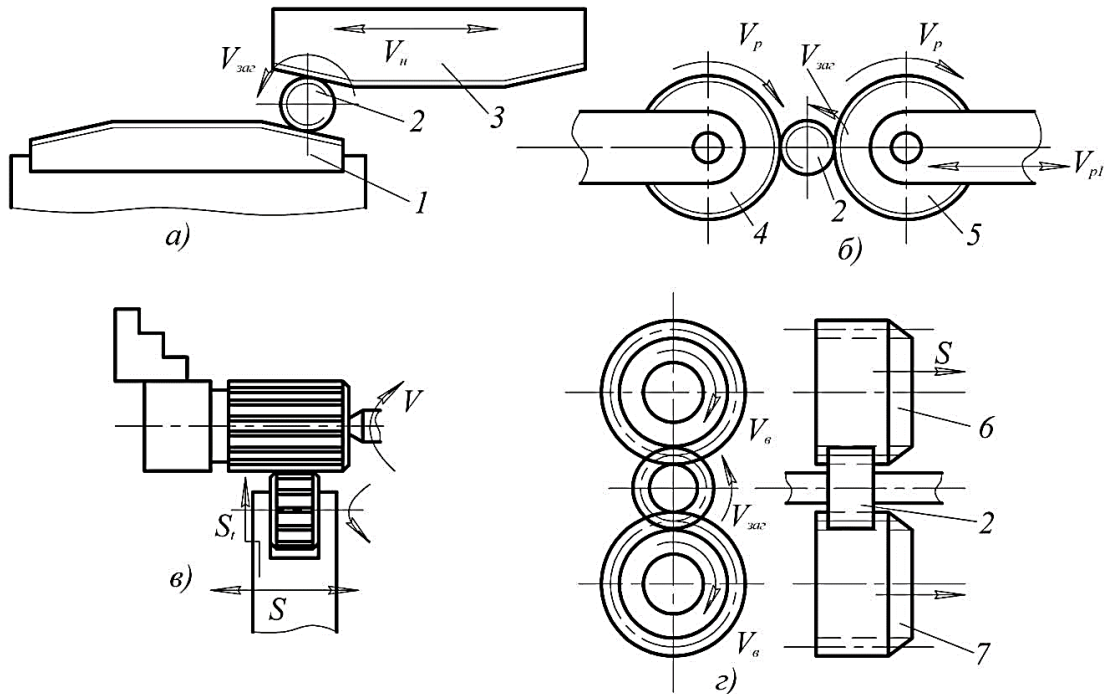


Рисунок 10.5 – Схеми формуювальних методів обробки пластичним деформуванням

При формуванні різьби роликми (рис. 10.5, 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. Накаткування роликми застосовують для отримання різьб з більшими кроками.

При накатуванні дрібних шліців на валах (рис.10.5, в) накатний ролик має профіль шліців. Він заглиблюється в заготовку при обертанні і переміщенні вздовж вала.

Накатування циліндричних (рис. 10.5, г) і конічних дрібно модульних 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 зубофрезерування і навіть шевінгування.

10.6.3 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 роликми. Процес обробки полягає в тому, що поверхню деталі, яка обертається, обкатують притиснутими до неї одним, двома або трьома гладенькими роликми, 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.10.6. показані розповсюджені методи обкатування (рис.10.6, а, б) і розкатування (рис. 10.6, в, г) поверхонь.

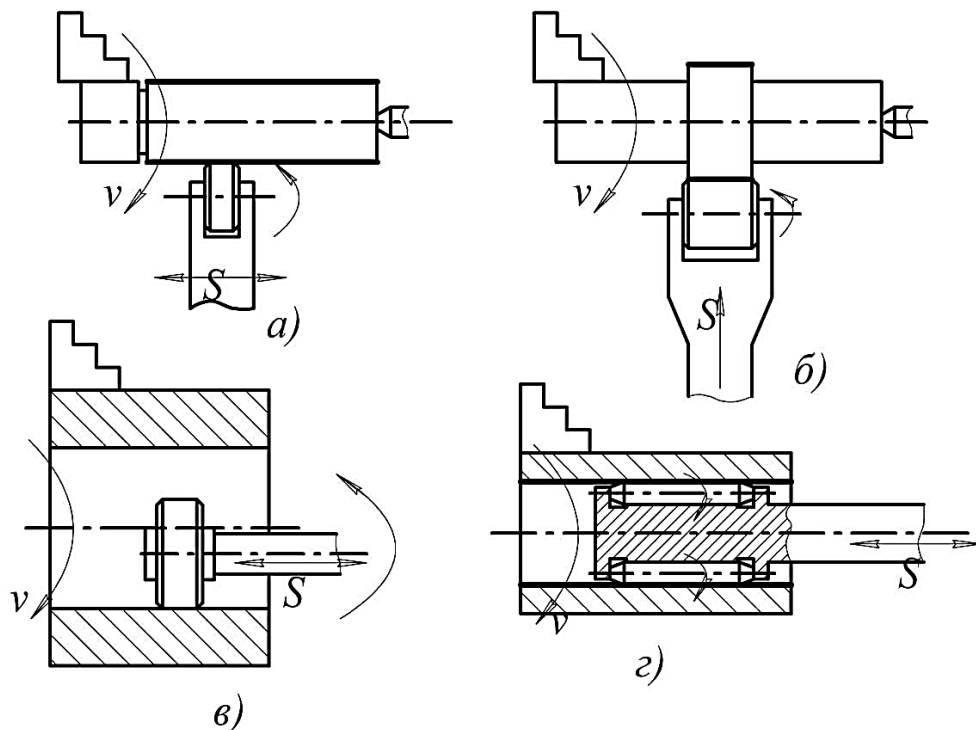


Рисунок 10.6 – Схеми накатування і розкатування поверхонь

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

Калібрування отворів підвищує 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.

Найпростішим інструментом є стальна загартована куля, яка проштовхується крізь попередньо досить точно оброблений отвір (рис. 10.7, а). Роль інструмента може виконувати також оправка – дорн, який проштовхується (рис. 10.7, б) або протягається (рис. 10.7, в) через отвір.

Заготовки оброблюють за один чи кілька проходів на пресах (рис. 10.7, а, б) або горизонтально-протяжних верстатах (рис. 10.7, в).

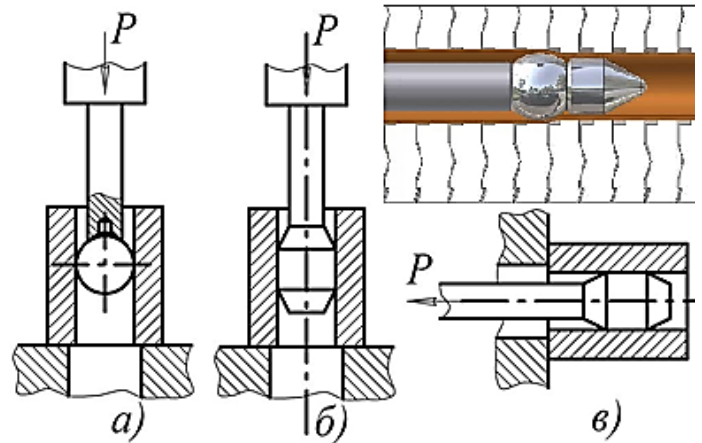


Рисунок 10.7 – Схеми калібрування отворів

Контрольні питання

1. Які методи чистової обробки ви знаєте?
2. Особливості обробки деталей шліфуванням.
3. Інструмент для шліфування.
4. Схеми круглого зовнішнього шліфування.
5. Схеми внутрішнього шліфування.
6. Схеми плоского шліфування.
7. Режими різання при шліфуванні.
8. Дайте характеристику хонінгуванню.
9. В чому полягає притирання?
10. Які методи чистової обробки зубчастих коліс ви знаєте?
11. Що таке шевінгування?
12. Які методи зубошліфування ви знаєте?
13. Основні методи обробки поверхневим пластичним деформуванням.
14. Наведіть основні схеми накатування різьб, зубів зубчастих коліс.
15. Наведіть схеми обкатування і розкатування поверхонь.
16. Наведіть схеми калібрування отворів.

ТЕМА 11

11. 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, міцнісні 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.

11.1 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 електроімпульсну 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 $10^{-5} \dots 10^{-8}$ с, миттєва густина струму в каналі провідності досягає $8000 \dots 10000$ А/мм²,

внаслідок чого температура на поверхні оброблюваної заготовки-електрода зростає до $10000...12000^{\circ}\text{C}$. 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 $0,01...0,005\text{ мм}$).

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 ($0,01...0,05\text{ мм}$). Для продовження процесу необхідно зближувати електроди до вказаного значення.

Це зближення здійснюється на верстатах для електроерозійної обробки автоматично.

11.1.1 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. 11.1. Конденсатор C , включений в зарядний контур, заряджається через резистор R від джерела постійного струму напругою $100...200\text{ В}$. Коли напруга на електродах, що утворюють розрядний контур, досягне пробійного значення, відбувається розряд енергії, накопиченої конденсатором. Тривалість імпульсу становить $20...200\text{ мкс}$.

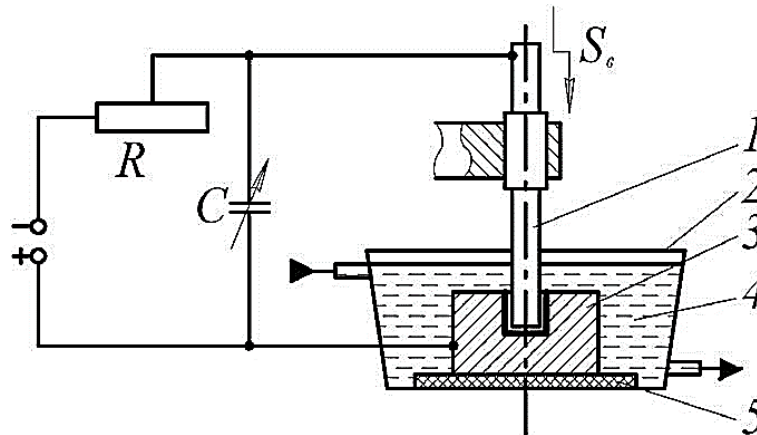


Рисунок 11.1 – Схема електроіскрового верстата: 1 – електрод-інструмент; 2 – ванна; 3 – електрод-заготовка; 4 – діелектрична рідина; 5 – ізолятор

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. 11.2 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 штамів, прес-форм, фільтрів, деталей паливної апаратури двигунів внутрішнього згорання, сіток, сит тощо.

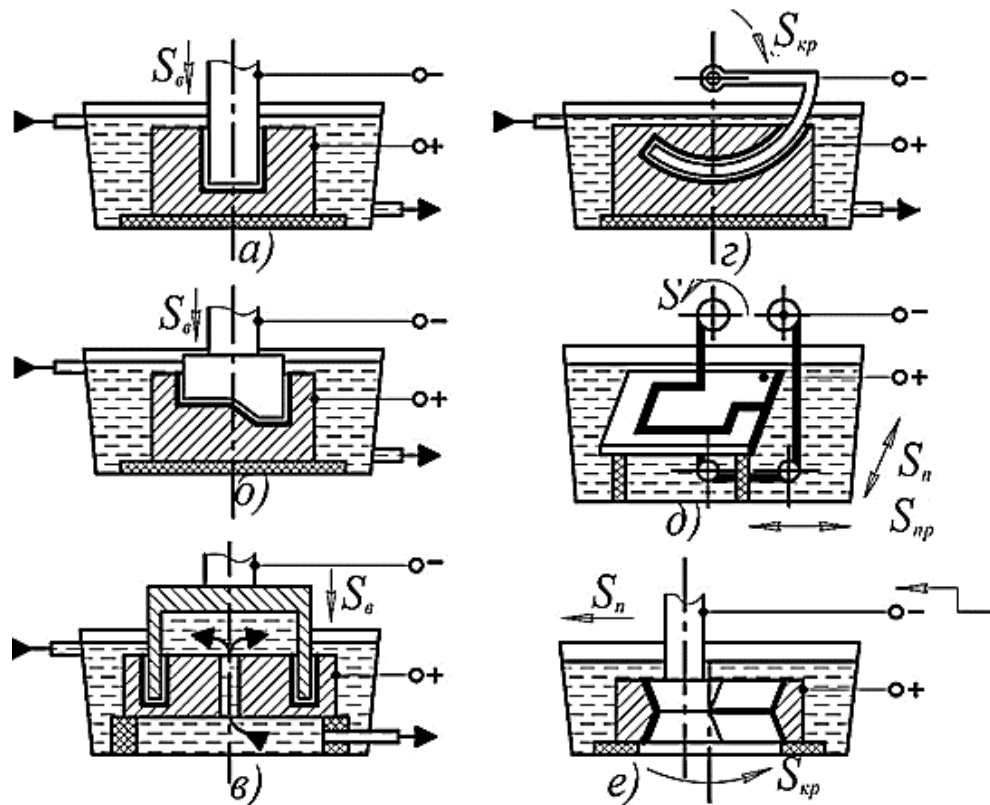


Рисунок 11.2 – Схеми електроіскрової обробки: а – прошивання отвору; б – обробка фасонної порожнини штампа; в – прошивання отвору за способом

трепанції; *г* – прошивання криволінійного отвору; *д* – вирізування заготовки з листа; *е* – шліфування внутрішньої поверхні філь'єри.

11.1.2 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.

11.1.3 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. Зношування інструменту 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.

11.1.4 Електроконтактна обробка

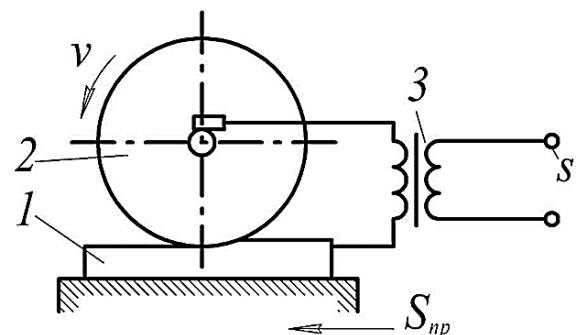


Рисунок 11.3 – Схема

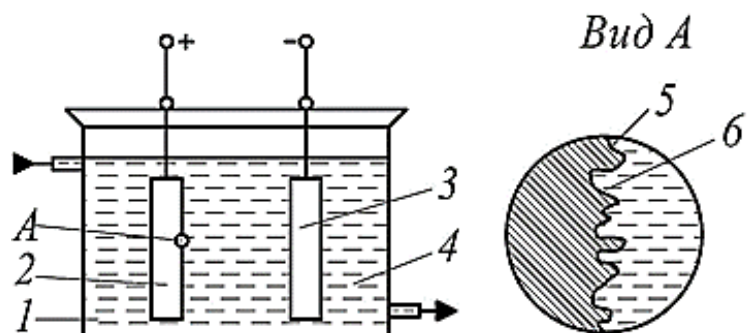
Електроконтактна обробка *електроконтактною обробкою*
 ґрунтується на місцевому нагріванні *плоскої поверхні*
 заготовки в місці контакту з електродом-інструментом і видаленні
 розм'якшеного або навіть розплавленого металу із зони обробки механічним
 шляхом при відносному русі заготовки та інструмента. Джерелом тепла в зоні
 обробки є імпульсні дугові розряди. Видалення металу із заготовки 1 (рис. 11.3)
 здійснюється у повітряному середовищі обертовим диском-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 точності і
 якості поверхні, але дає високу продуктивність зняття металу з заготовки.

11.2 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.

11.2.1 Електрохімічне полірування



Електрохімічне
полірування виконують у ванні

Рисунок 11.4 – Схема електрохімічного
полірування

1 з електролітом (рис. 11.4). В залежності від оброблюваного матеріалу електролітом є розчини кислот або лугів. Заготовку 2 підключають до анода; електродом-катодом 3 є свинцева, мідна або сталевна пластина. Для більшої інтенсивності процесу електроліт підігрівають до температури 40...80°C.

При подачі струму на електроди починається процес розчинення матеріалу заготовки-анода. Розчинення відбувається головним чином на виступах 5 мікронерівнощ 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.

11.2.2 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. 11.5).

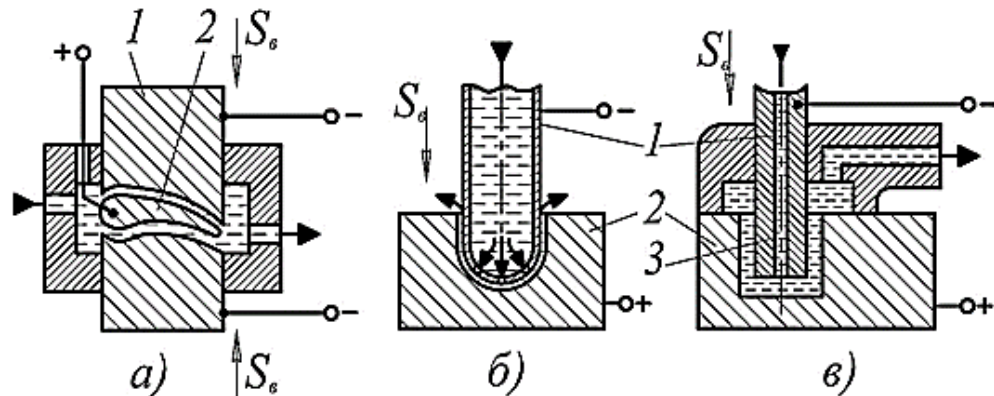


Рисунок 11.5 – Схеми електрохімічної розмірної обробки:

На рис. 11.5 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.

Струмień 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 оброблюваної 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 NaCl , NaNO_3 і Na_2SO_4 .

11.2.3 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.11.6, 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.

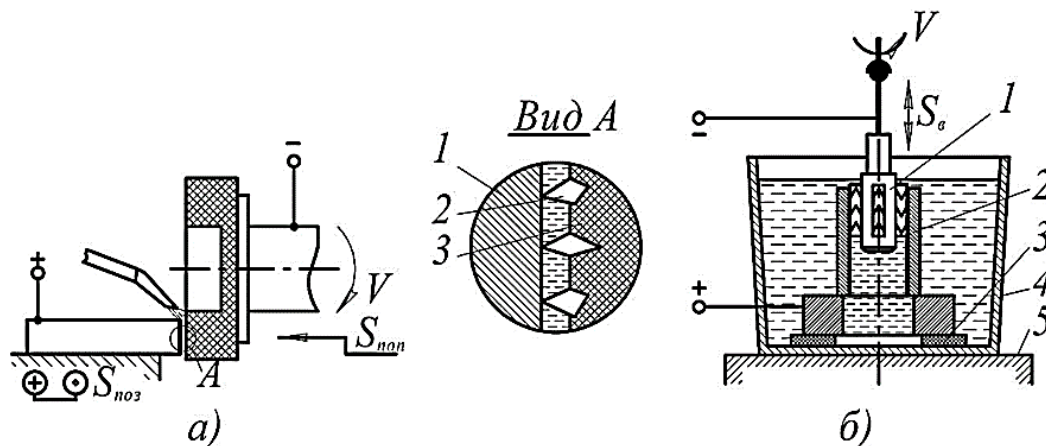


Рисунок 11.6 – Схема електроабразивного шліфування (а) і електрохімічного хонінгування (б).

Чистову обробку поверхонь можна проводити електрохімічним хонінгуванням (рис.11.6, 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.

11.3 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 мікронерівністю 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.

На рис. 11.7 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).

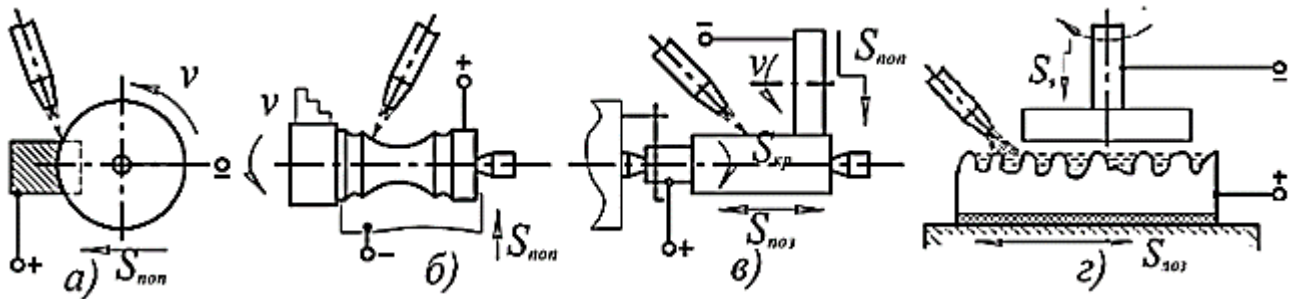


Рисунок 11.7 – Приклади анодно-механічної обробки

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

11.4 Ультразвукові та променеві методи

11.4.1 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. 11.8 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 притискають до заготовки силою 1...60 Н.

Ультразвуковим методом обробляють 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

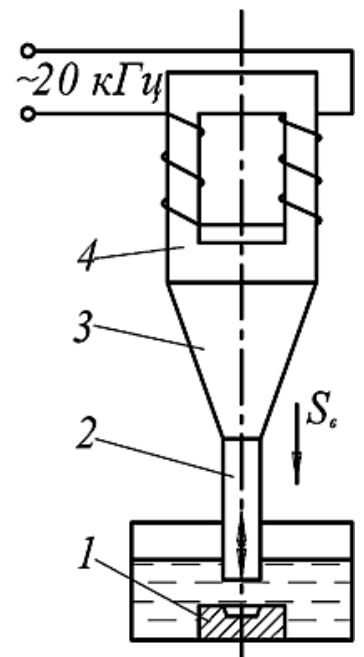


Рисунок 11.8 –
Схема
ультразвукової
обробки

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 (HRC 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.

11.4.2 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 дуже малих площах (до 10^{-7} см²), викликає практично миттєве нагрівання поверхні деталі до 6000°C, внаслідок чого навіть найбільш важкоплавкий метал в цій зоні випаровується. А на відстані 1 мкм від кромки променя температура не перевищує 300°C. 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 обробляють отвори діаметром 1 мм...10 мкм, прорізають пази, ріжуть заготовки, виготовляють тонкі плівки і сітки з фольги. Обробляють 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 мільйонні частки секунди і концентрується у сфокусованому промені діаметром кілька мікрометрів, що забезпечує температуру 6000...8000°C.

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.

1. Електроерозійна обробка. Верстат DK 7732 вирізає вирубний штамп: <https://www.youtube.com/watch?v=I-2xRdHJti0>
2. Лазерна очисна машина для видалення іржі: <https://www.youtube.com/watch?v=uUAWief6Gbs>
3. Лазерне гравіювання: <https://www.youtube.com/watch?v=AJG5-tq-Uh0>

Контрольні питання

1. На яких явищах ґрунтуються електроерозійні методи обробки?
2. Суть, схема і застосування електроіскрової обробки.
3. Суть, схема і застосування електроконтактної обробки.
4. На яких явищах ґрунтується електрохімічна обробка?
5. Суть і схема електрохімічного полірування.
6. Суть і схема розмірної електрохімічної обробки.
7. Суть і схема електроабразивної обробки.
8. В чому полягає суть анодно-механічної обробки?
9. Наведіть приклади та схеми анодно-механічної обробки.
10. На якому принципі ґрунтується ультразвукова обробка?
11. Наведіть схему ультразвукової обробки.
12. На яких принципах ґрунтуються променеві методи обробки?
13. Які методи променевої обробки Ви знаєте?
14. Для яких виробів доцільне застосування променевих методів обробки?

ТЕМА 12

12. АГРЕГАТНІ ВЕРСТАТИ ТА АВТОМАТИЧНІ ЛІНІЇ

12.1 Агрегатні верстати

В сучасний час багато галузей промисловості вимагають масового виробництва деталей. Для здійснення цього не раціонально використовувати універсальні металорізальні верстати, так як час, що витрачається на виготовлення на них деталей високо, а продуктивність низька

У таких випадках часто застосовують автоматичні лінії. Номенклатура виготовляються на них деталей звичайно обмежена, але зате досягається висока продуктивність і низька собівартість виробів. Так само одним з методів підвищення продуктивності є застосування агрегатних верстатів.

Агрегатний верстат - спеціальний металорізальний верстат, побудований на базі нормалізованих, кінематично не пов'язаних між собою вузлів (агрегатів). Ці верстати застосовуються у великосерійному і масовому виробництві. На агрегатних верстатах можна виконувати свердління, розсвердлювання, зенкування, розточування, фрезерування, нарізування внутрішніх і зовнішніх різьб, деякі види токарної обробки.

Агрегатні верстати в основному використовуються для виготовлення корпусних деталей. Агрегатні верстати призначені для обробки складних і відповідальних деталей в умовах серійного і масового виробництва. Найбільші технологічні можливості верстатів забезпечуються в тому випадку, коли оброблювана деталь в процесі різання нерухома, а головне рух і рух подачі повідомляються ріжучим інструментам.

Цим досягається найбільша концентрація операції: можна робити обробку деталей одночасно з декількох сторін багатьма ріжучими інструментами при автоматичному управлінні робочим циклом.

Найбільшого поширення набули агрегатні верстати свердлильно-розточний і деяких інших груп. Вони дозволяють робити свердління, зенкування, розгортання і розточування отворів, Різьбонарізання і різьбонакатування внутрішніх і зовнішніх поверхонь, підрізання торців, фрезерування та інші операції.

Переваги агрегатних верстатів:

- 1) короткі терміни проектування;
- 2) простота виготовлення, завдяки уніфікації вузлів, механізмів і деталей;

3) висока продуктивність, обумовлена багатоінструментальною обробкою заготовок з декількох сторін одночасно;

4) можливість багаторазового використання частини агрегатів при зміні об'єкта виробництва;

5) можливість обслуговування верстатів оператором низької кваліфікації

12.1.1Компоновка агрегатних верстатів

Компоновка агрегатних верстатів залежить від конструкції оброблюваної деталі і кількості поверхонь, що оброблюються. В зв'язку з цим їх компонують за різними схемами.

На рисунку 12.1 зображені компоновочні однопозиційні схеми агрегатних верстатів із стаціонарним пристосуванням.

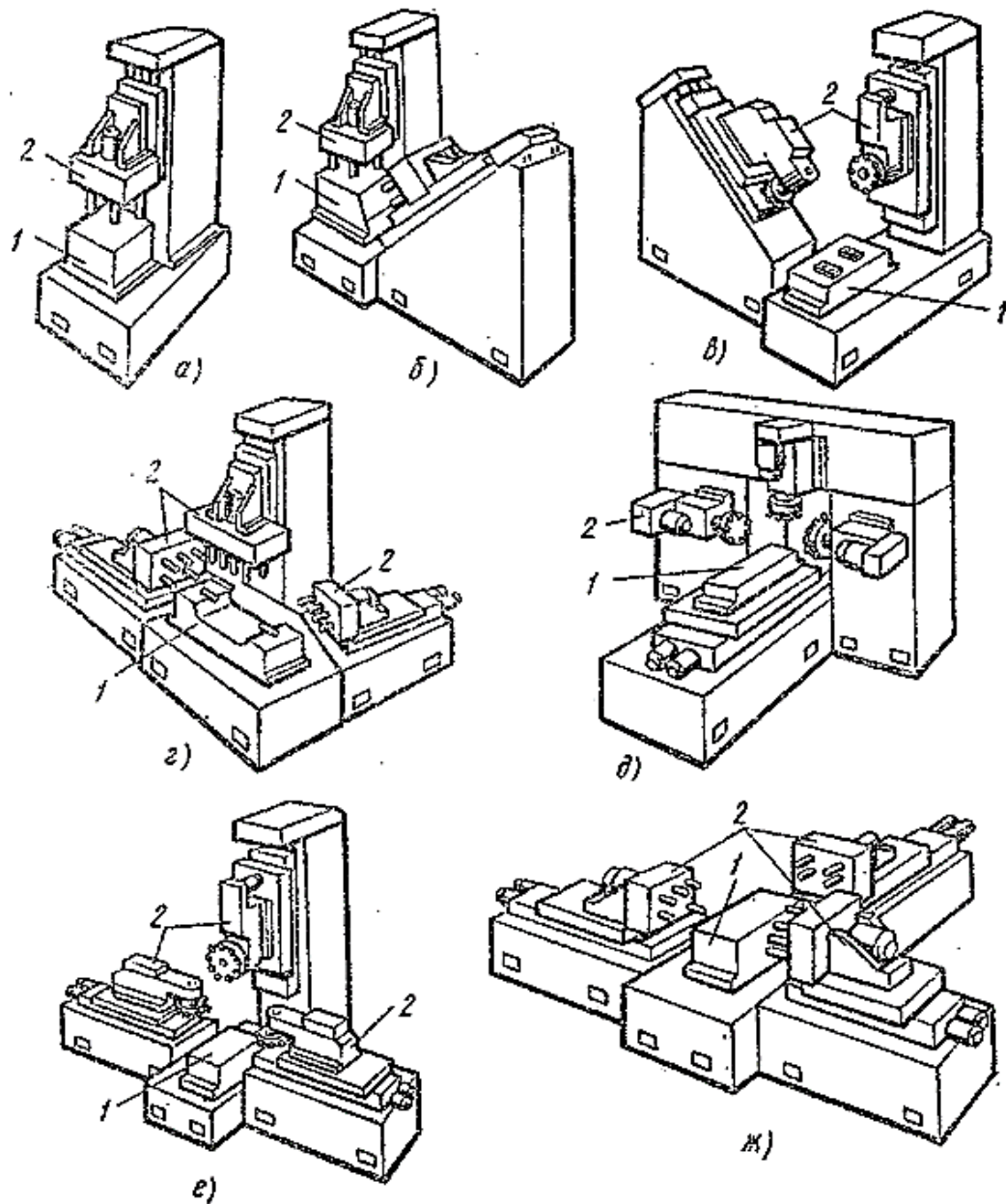


Рисунок 12.1 - Типові компоновочні схеми агрегатних верстатів із стаціонарним пристосуванням

а) вертикальна компоновка з обробкою деталі 1 силовою головкою з одного боку;

б, в) вертикальна і похила компоновка з обробкою деталі 1 двома силовими головками з двох сторін;

г) горизонтальна і вертикальна компоновка з обробкою деталі 1 з трьох сторін силовими головками 2.

Компоновочні схеми агрегатних багатопозиційних верстатів з поворотним столом

Рисунок 12.2 а, в – вертикальна компоновка з обробкою деталі однією і двома голівками. Деталь 1 встановлена на поворотному столі 2;

Рисунок 12.2 б, г, е – горизонтальна компоновка; обробка деталі 1, встановленої на столі 2, здійснюється з однієї, двох і трьох сторін. Зміна позиції проводиться обертанням стола 2;

Рисунок 12.2 д – вертикально-горизонтальна компоновка обробки деталі 1, встановленої на столі 2 проводиться з трьох сторін.

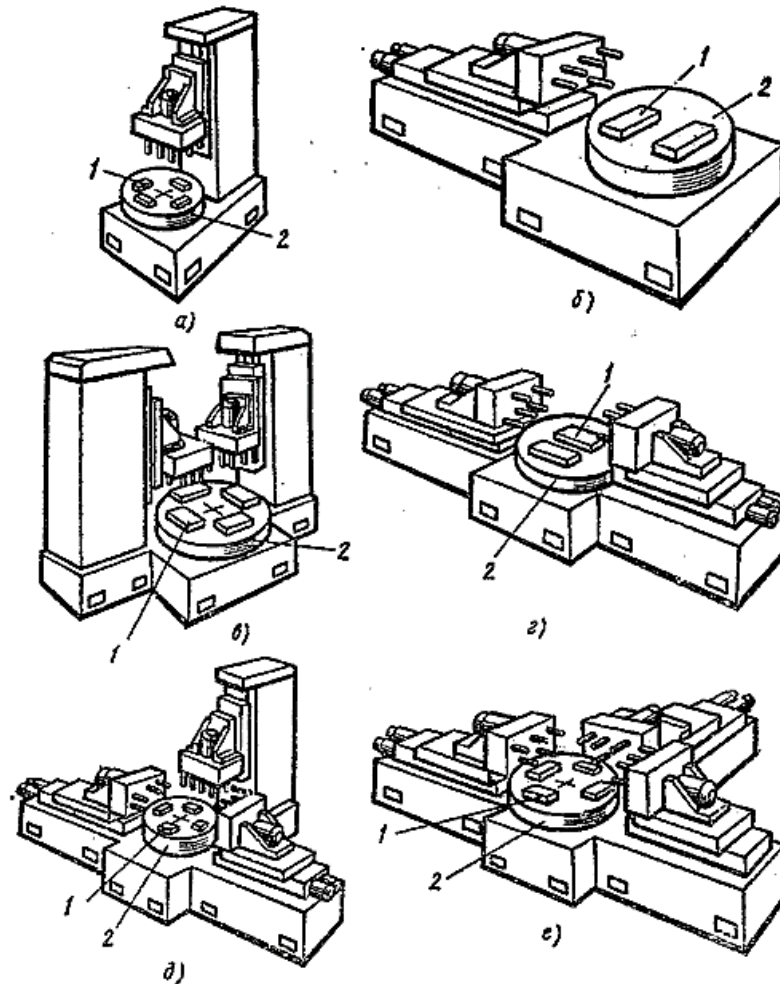


Рисунок 12.2 - Типові компоновки агрегатних багатофункціональних верстатів з поворотним столом

12.1.2 Нормалізовані вузли і деталі агрегатних верстатів

Як було зазначено вище, агрегатні верстати створюються із уніфікованих вузлів, агрегатів і деталей. Рівень уніфікації при створенні агрегатних верстатів досягає 90 %.

Розглянемо на прикладі агрегатного верстата (див. рис. 12.3) його уніфіковані вузли і деталі.

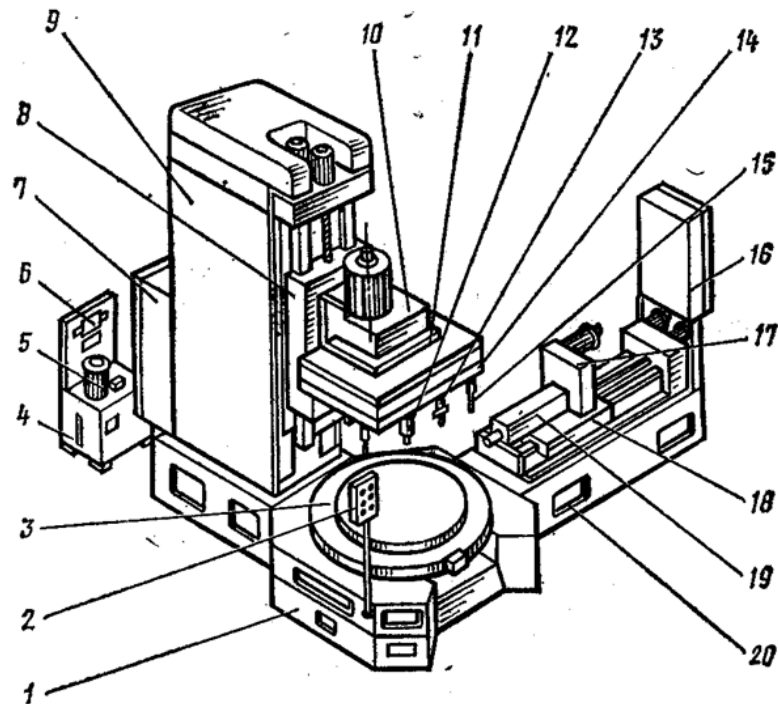


Рисунок 12.3 - Уніфіковані вузли і деталі агрегатних верстатів:

1. - базові деталі: станина 1, стойка 9, бокова станина 20;
2. - силові механізми: силовий стіл 8, а в інших типах верстатів – силові головки; шпиндельна коробка 14, розточна бабка 19, свердлильна бабка 10;
3. - механізми транспортування (переміщення) заготовок: поворотний розділювальний стіл 3, двохпозиційний стіл для прямолінійного переміщення заготовок 18;
4. - механізм головного руху: коробка швидкостей 17;
5. - гідрообладнання: гідробак 4, насосна установка, гідропанель 6;
6. - електрообладнання: центральний і налагоджувальний пульты 2, електрошкаф силових механізмів 16, електрошкаф верстата;
7. - допоміжні механізми: подовжувач 15, різьбовий копір 13, розточувальна панель 12.

До спеціальних механізмів відносяться: кондукторні втулки, шпиндельні коробки, фіксаторні пристрої, гідро- і пневмоциліндри тощо.

12.1.3 Класифікація агрегатних верстатів

За компоновкою агрегатні верстати розділяються на однопозиційні і багатопозиційні.

- однопозиційні агрегатні верстати можуть мати одну або декілька силових головок (див. рис. 12.4, а - ж);

За типом приводу силові головки розділяються на:

- електромеханічні – гвинтові і кулачкові;
- гідравлічні;
- пневмогідравлічні;
- пневматичні.

За родом здійснення рухів головки діляться на групи:

- самодіючі;
- несамодіючі.

В самодіючих силових головках від одного приводу здійснюється головний рух – обертання шпинделя і рух подачі.

В несамодіючих силових головках головний рух і рухи подачі здійснюються від самостійних приводів.

За технологічним призначенням силові головки розділюються на: свердлильні, різьбонарізні, розточні, шліфувальні, фрезерувальні, токарні, хонінгувальні і ін.

Розглянемо конструкцію силових головок за типом приводу.

12.1.4.2 Електромеханічні силові головки з плоским кулачком (рис.12.5)

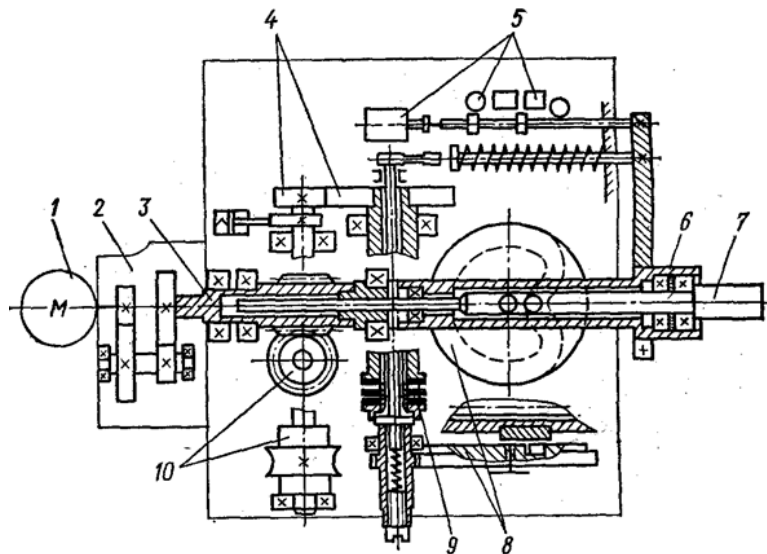


Рисунок 12.5 - Електромеханічна самодіюча силова голівка з плоским кулачком

Плоско-кулачкові головки призначаються для виконання свердлильних, розточних, різьбонарізувальних робіт, фрезерувальних робіт з невеликим навантаженням. Зміна подачі, підводу і відводу інструмента визначається профілем плоского кулачка.

Принцип роботи: пиноль 6 із шпинделем 7 отримує обертання від електродвигуна М і редуктора 2. Осьова подача пинолі із шпинделем

здійснюється плоским кулачком 8, який приводиться в рух черв'ячною передачею 10 і змінними колесами 4.

12.1.4.3 Електромеханічні силові головки з барабанним кулачком (рис.12.6)

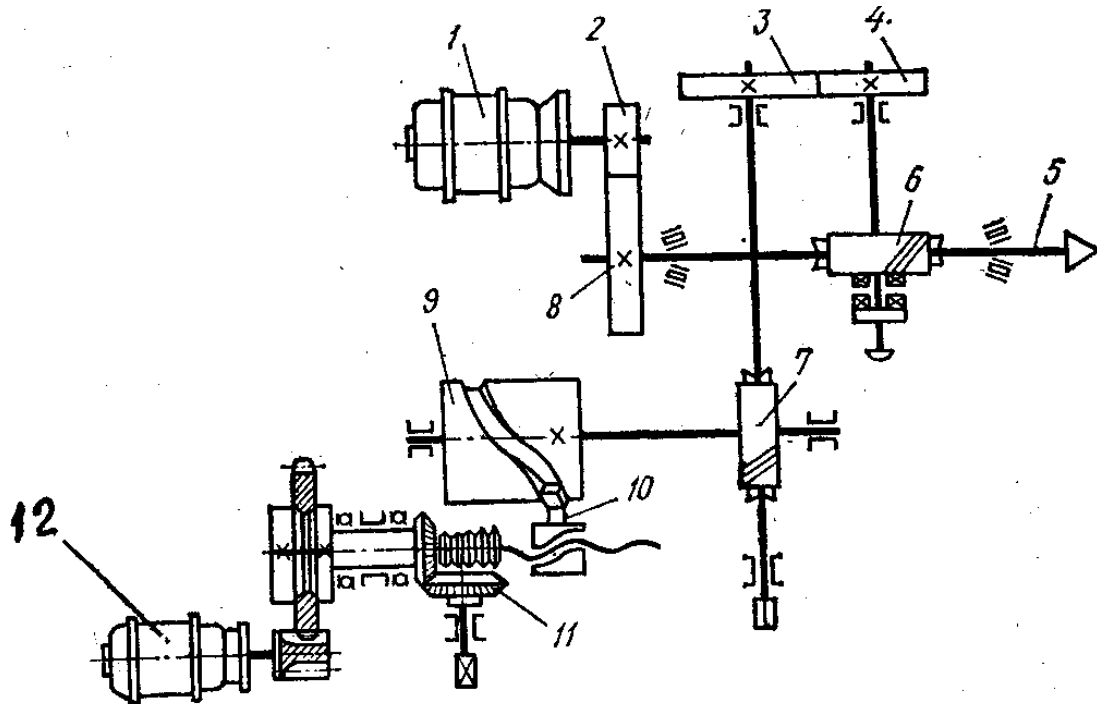


Рисунок 12.6 - Барабанно-кулачкова самодіюча силова голівка

Ці головки використовуються для свердильно-фрезерних і різьбонарізних операцій.

Принцип роботи: обертання шпинделю 5 передається від електродвигуна 1 і зубчаті передачі 2, 8.

Подачу отримує корпус силової головки із шпинделем і інструментом від шпинделя 5, черв'ячну передачу, зубчасту передачу 4, 3 і черв'ячну передачу 7. При цьому барабан (кулачок) отримує обертання. На барабані 9 передбачений гвинтовий паз, в який входить нерухомий палець 10. При обертанні барабана палець отримує осьове переміщення разом з корпусом головки, і тим самим забезпечується подача. Для прискорених переміщень силової головки – підведення, відведення – використовується електродвигун 12, який після закінчення обробки включається і через зубчаті передачі і ходовий гвинт відводить силову голівку в вихідне положення. Для прискореного відведення силової головки двигун 12 обертається в зворотному напрямі.

12.1.4.4 Гвинтові електромеханічні самодіючі головки (рис.12.7)

Гвинтові електромеханічні головки застосовуються для свердління, розточувальних та різьбонарізних операцій.

Принцип роботи: головний рух – обертання шпинделя 5, здійснюється від електродвигуна М1, вал 1 і зубчаті подачі 3, 4 (див. рис. 12.7).

Рух подач отримує корпус силової головки від вала 1, через черв'ячну передачу 2, обертання передається валу 7, на якому наявні дві електромеханічні муфти 6 і 8. Коли включена муфта 6, рух робочої подачі передається валу 11 через змінні колеса $e - f$, а при включенні муфти 8 – через змінні колеса $c - d$ і, далі вал 11, черв'ячну передачу 10 обертає гільзу 13, в якій закріплена гайка 14 ходового гвинта 12. Прискорені переміщення (підведення відведення) головка отримує від реверсивного електродвигуна М 2, який обертає ходовий гвинт 12 при нерухомій гайці 14 і гільзі 13.

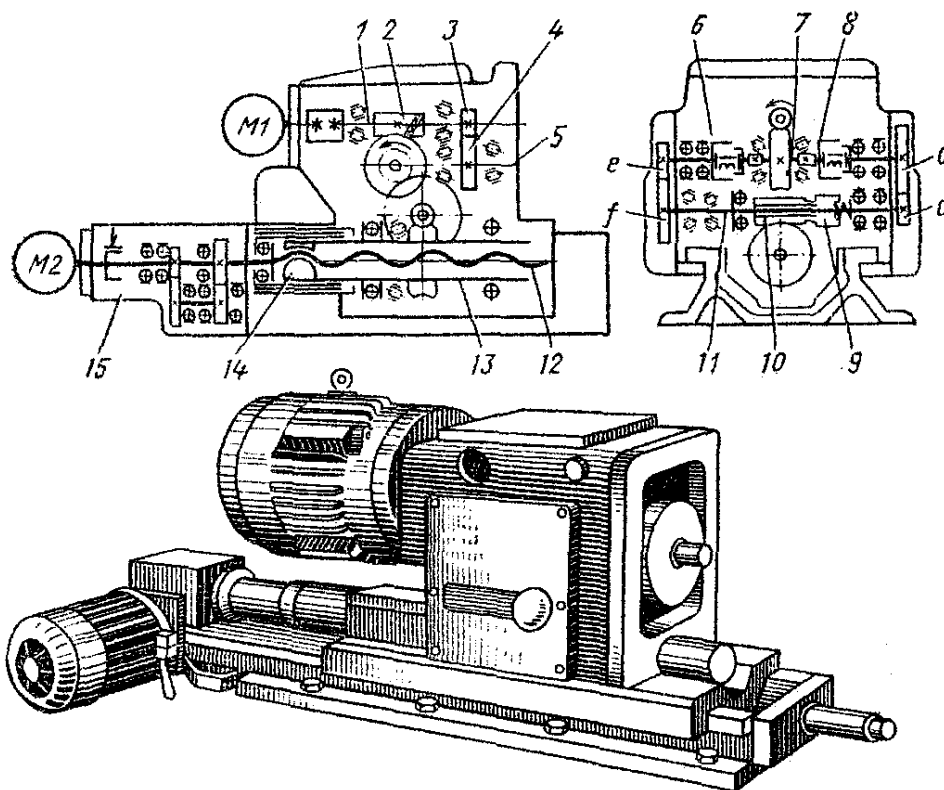


Рисунок 12.7 - Гвинтова самодіюча електромеханічна головка

12.1.4.5 Гідравлічні самодіючі електромеханічні головки

Гідравлічні силові головки забезпечують отримання великих потужностей і осьових сил. Ці головки дозволяють автоматично виконувати сполосні цикли роботи.

На цих головках виконуються свердління, фрезерування, розточування отворів, різноманітні токарні роботи тощо.

Розглянемо роботу гідравлічної силової головки (рис. 12.8).

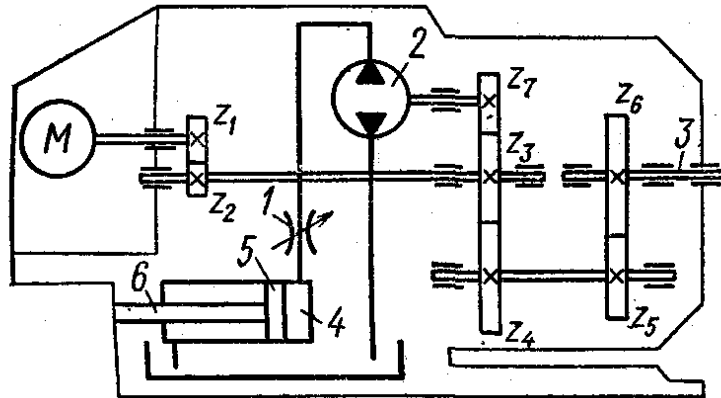


Рисунок 12.8 - Схема гвинтової самодіючої електромеханічної головки

Головний рух – обертання шпинделя 3 – виконується від електродвигуна М через зубчаті передачі $Z_1 - Z_2$, $Z_3 - Z_4$, $Z_5 - Z_6$.

Рух подачі здійснюється від насоса 2, за допомогою якого масло нагнітається в праву порожнину 4 гідроциліндра – робочий хід, або в ліву порожнину – холостий хід (відведення головки).

Регулювання швидкості переміщення головки – робочий хід, холостий хід, забезпечується дроселем 1; насос 2 отримує обертання через зубчасту пару $Z_3 - Z_7$.

12.1.4.6 Пневмогідравлічні силові головки

Призначені для виконання більш легких робіт, як свердління, зенкерування, розгортання отворів і ін.

На рисунку 12.9 зображена схема силової головки з пневмогідравлічним приводом подачі.

Силові головки даного типу відносяться до несамодіючих, тому що привод головного руху і подачі розділені.

Головний рух – обертання шпинделя – здійснюється від електродвигуна 1 через зубчаті передачі $Z_1 - Z_2$, $Z_3 - Z_4$ на шпиндель 2.

Рух подачі здійснюється за допомогою стиснутого повітря, яке проходячи через отвір штока поршня 8 потрапляє в праву порожнину циліндра 6, внаслідок чого циліндр разом з корпусом силової головки буде переміщуватись направо відносно жорстко закріпленого штока і поршня, і буде відбуватись обробка. Масло, яке витискається із порожнини циліндра 9, через дросель 7 буде

зливатись в бак 5, регулювання подачі здійснюється дроселем 7. При поверненні солової головки в вихідне положення виконується подача стиснутого повітря в масляний бак 5. При цьому масло із бака 5 направляється в ліву порожнину циліндра 9 і переміщує циліндр разом з головкою 3 справа наліво.

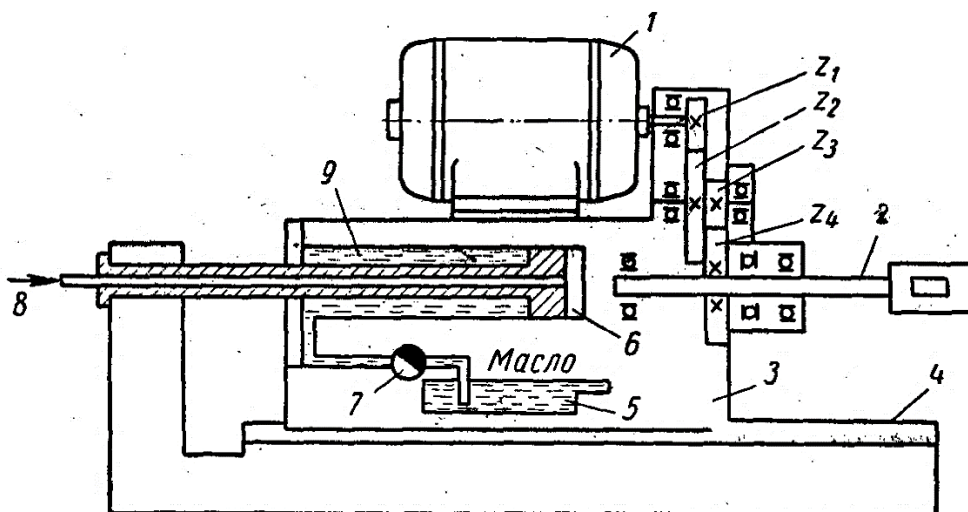


Рисунок 12.9 - Схема силової головки з пневмогідравлічним приводом подачі

12.1.4.7 Пневматичні силові головки

Призначені для свердління отворів діаметром до 6 мм.

Обертання шпинделя досягається за допомогою турбінки, встановленої в корпусі головки, там же розташований пневмоциліндр подачі. До стикання інструмента з виробом відбувається переключення на робочу подачу. Після закінчення обробки стиснуте повітря поступає в ліву порожнину пневмоциліндра і силова головка повертається в вихідне положення.

12.1.5 Силові столи

Призначені для встановлення на них інструментальних бабок – фрезерувальних, свердлильних, і інших з самостійним приводом обертання шпинделя для виконання робочого циклу: швидкого підводу, робочої подачі і швидкого відведення. Привід подачі у силових столів можуть бути гідравлічні або електромеханічні приводи.

На рисунку 12.10 зображений силовий стіл з електромеханічним приводом подачі.

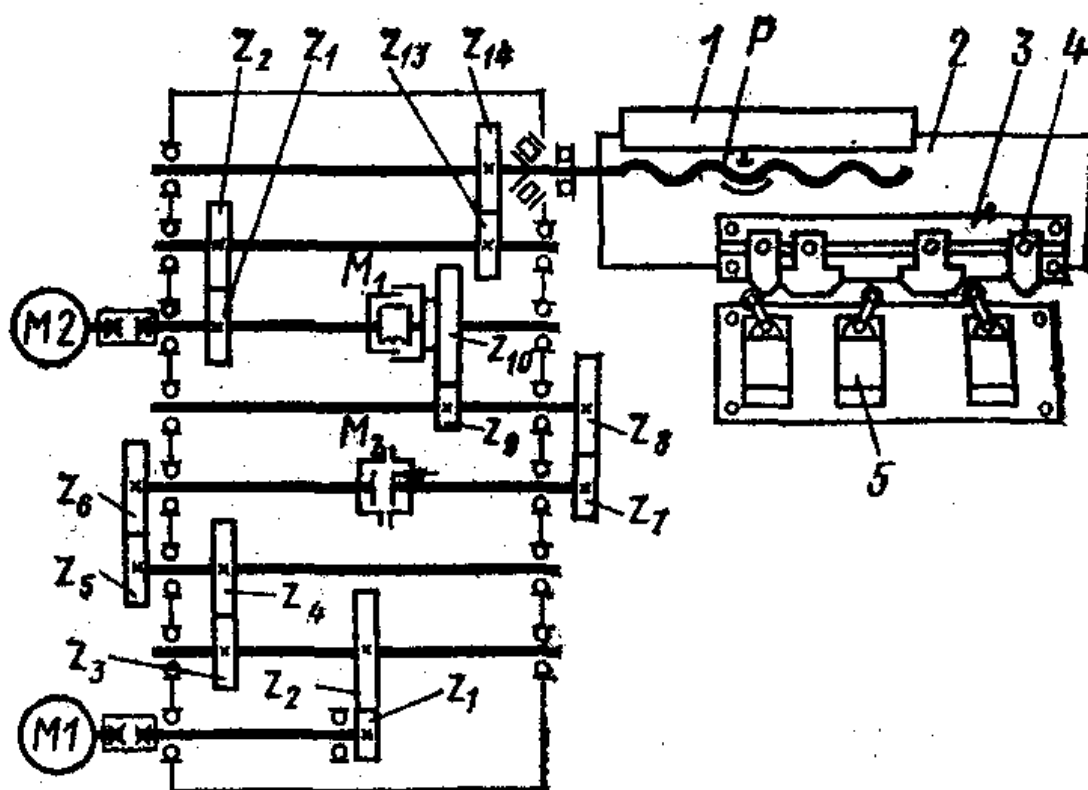


Рисунок 12.10 - Силовий стіл з електромеханічним приводом подачі

Швидке підведення і відведення столу 2 з плитою 1 здійснюється від електродвигуна М2 через зубчаті передачі $Z_{11} - Z_{12}$, $Z_{13} - Z_{14}$ (муфта М 1 вимкнена). Робоча подача столу 2 здійснюється від електродвигуна М 1 через зубчаті передачі $Z_1 - Z_2$, $Z_3 - Z_4$, змінні колеса $Z_5 - Z_6$, запобіжну муфту М2, зубчаті передачі $Z_7 - Z_8$, $Z_9 - Z_{10}$ (муфта включена), зубчаті передачі

$Z_{11} - Z_{12}$, $Z_{13} - Z_{14}$. Величина подачі змінюється змінними колесами $Z_5 - Z_6$. При необхідності отримання двох робочих подач в циклі встановлюють двошвидкісний електродвигун М1.

Керування циклом роботи столу виконується від рухомих упорів 4, закріплених на лінійці 3, діючих на кінцеві вимикачі 5.

12.1.6 Шпиндельні механізми

До шпиндельних механізмів відносяться шпиндельні коробки, свердлильні, фрезерувальні і револьверні бабки.

12.1.6.1 Шпиндельні коробки

Призначені для розміщення в них робочих шпинделів і передач руху від вихідного валу силової головки до шпинделів.

В основному шпиндельні коробки призначені для виконання свердлильно-розточних операцій, а іноді для нарізання різьби в отворах, тоді подача мітчика здійснюється по індивідуальним копірним гайкам. На рисунку 12.11 приведена шпиндельна коробка, яка складається із власного корпусу 2, задньої плити 1, передньої кришки 3.

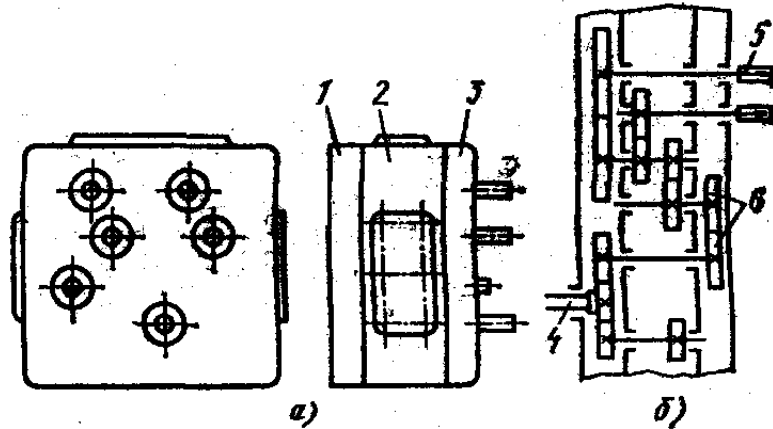


Рисунок 12.11 - Шпиндельні коробки: а – загальний вид; б - розгортка по вісям

Робочі шпинделі 5 отримують обертання від привідного валу 4 силової головки через декілька зубчатих передач. Змінні зубчаті колеса 6 використовують для зміни частоти обертання шпинделів 5.

Шпиндельні коробки частіше випускають з постійними відстанями між шпинделями, а іноді з розсувними шпинделями.

12.1.7 Розточні і фрезерні бабки

Призначені для обробки одним шпинделем. Револьверна бабка дозволяє вести обробку послідовно кількома інструментами. Для надання інструменту руху подачі бабка встановлюється на силовий стіл, який надає бабці задану подачу.

12.2. Агрегатні верстати з ЧПК

12.2.1 Загальні відомості

Агрегатні верстати з ЧПК призначені для обробки отворів свердлами, зенкерами, розгортками, розточними різцями, різьбонарізання, контурного фрезерування деталей типу корпусів, арматури, плит, панелей і ін., обробки торцових поверхонь, внутрішніх і зовнішніх канавок і ін.

Агрегатні верстати з ЧПК, що переналагоджуються, є ефективними засобом автоматизації багатомономенклатурного виробництва. Переналадка верстата на обробку різноманітних деталей не займає багато часу і включає в собі заміну керуючої програми, а іноді ще пристрою для встановлення заготовки і інструментальних наладок в магазині.

У зв'язку з цим агрегатні верстати з ЧПК знайшли використання в дрібносерійному і серійному виробництвах.

12.2.2 Конструктивні особливості агрегатних верстатів з ЧПК і їх основні вузли

Агрегатні верстати з ЧПК як правило відносяться до багатоцільових верстатів. Вони оснащуються револьверними головками або інструментальними магазинами, заготовка встановлюється на координатно- силовому столі і може оброблюватись з декількох сторін за один установ. Ці верстати можуть мати від однієї до трьох силових голівок, які керуються від пристрою ЧПК по трьом або двом координатним вісям.

Верстати випускають з горизонтальним і вертикальним розташуванням осей шпинделя, з поворотним, нахило-поворотним або повздовжнім столом.

На рис 12.12 представлений агрегатний верстат з ЧПК з поворотним столом і трьома силовими голівками – шпиндельними бабками 3, які переміщуються в вертикальному напрямку по координатним осям Y, V, Q.

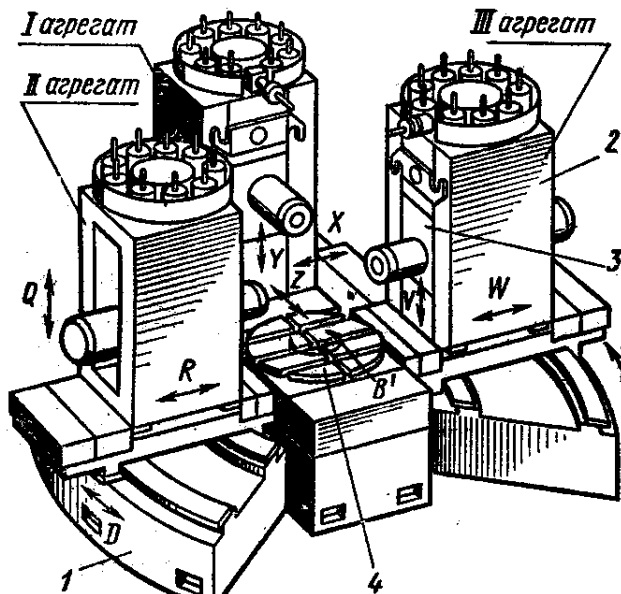


Рисунок 12.12 - Агрегатний верстат з ЧПК

Стійки 2 із шпиндельними бабками 3 встановлюються або на хрестоподібному столі, як показано на агрегаті I і переміщуються по координатним вісям X, Z, або на хрестово-поворотному столі 1 (Стійка агрегатів

II і III і переміщуються по координатам R, D, V, E. Відповідно, шпиндельна бабка агрегату I отримує переміщення по координатам X, Y, Z, а шпиндельні бабки агрегатів II і III по координатам Q, R і V, W і обертаються по координатам D, E.

Агрегатні верстати з ЧПК оснащуються позиційними і комбінованими системами ЧПК, які забезпечують управління роботою верстат в автоматичному режимі в цілому, і окремо, механізмом зміни інструментів, координатними переміщеннями робочих органів верстата вибір режимів різання і ін.

12.3. Автоматичні лінії

12.3.1 Призначення, область використання і класифікація автоматичних ліній

Автоматичною лінією (АЛ) називають сукупність верстатів і іншого технологічного обладнання, встановленого послідовно у відповідності до технологічного процесу і з'єднаного між собою автоматичним транспортом.

АЛ призначені для виготовлення деталей в умовах крупносерійного і масового виробництва.

Випускають АЛ переналагоджувані, які можуть використовуватись і в серійному виробництві.

АЛ застосовуються в різних областях машинобудування з широкою номенклатурою операцій: токарних, свердлильно-розточних, шліфувальних, різьбонарізних, ливарних, зварювальних, термічних, збиральних і ін.

12.3.2 Класифікація АЛ

АЛ класифікують по різним ознакам:

а - за типом вбудованих верстатів: із універсальних верстатів напівавтоматів і автоматів, спеціальних і агрегатних верстатів;

б - в залежності від об'єкту випуску деталі – на однопоточні (послідовної дії) і багатопоточні (паралельно-послідовної дії);

в - від способу передачі заготовок від верстата до верстата – лінії із наскрізним транспортуванням з переміщенням деталей скрізь місця їх затискання. Ці лінії використовують при обробці корпусних деталей на агрегатних верстатах (рис. 3.1).

На початку АЛ проводиться завантаження заготовок, а в кінці лінії знімання готових деталей. Переміщення деталей від верстата до верстату здійснюється за допомогою транспортера.

г - за розташуванням обладнання АЛ лінії розділяються на замкнуті і незамкнуті.

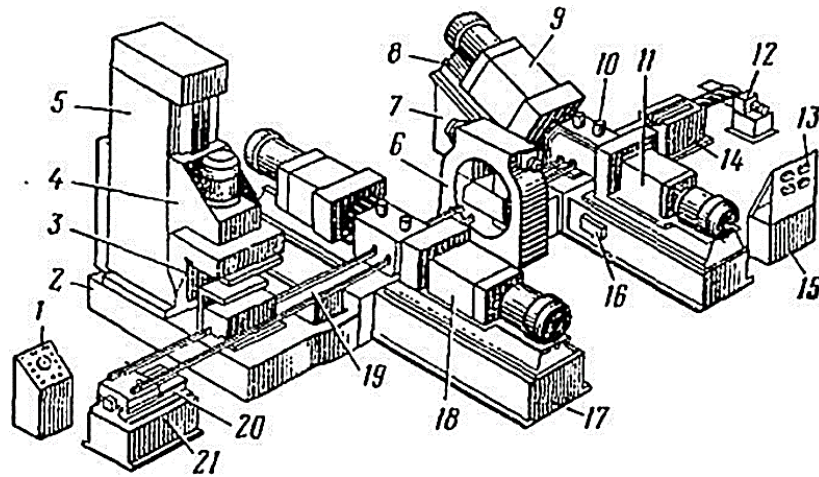


Рисунок 12.13 - Автоматична лінія з агрегатних верстатів: 1 - пульт керування; 2, 14, 21 - підставки; 3 - пристосування; 4 - не самодіюча силова головка, 5 - вертикальна станина; 6 - барабан; 7 - похилі підставки; 8 - салазки; 9, 11, 18 - автоматичні силові головки; 10 - циліндр затиску заготовки; 12 - привід транспортування стружки; 13 - припливна гідро апаратура; 16 - гідростанція; 16 - насос для подачі мастильного матеріалу; 17 - станина - підставка; 19 - поворотний стіл; 20 - конвеєр

Замкнуті АЛ бувають кругові і прямокутні. Кругові АЛ мають невелику кількість технологічних операцій, переміщення деталей від верстата до верстату здійснюється поворотним столом. Наприклад, верстати-комбайни (рис. 12.14).

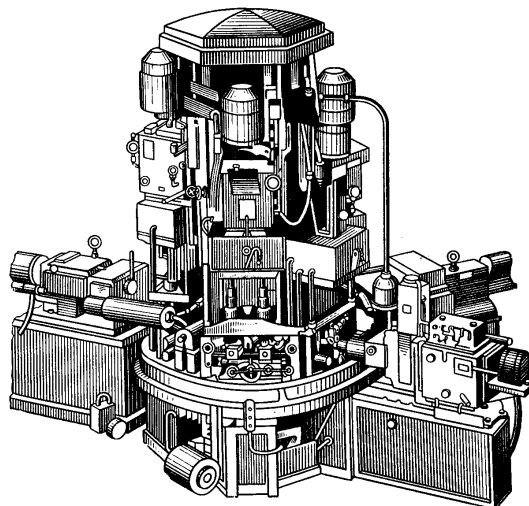


Рисунок 12.14 - Верстат-комбайн з поворотним столом

На спільній станії верстату змонтовані дев'ять агрегатних верстатів, розташованих послідовно до виконання технологічних операцій.

Деталь встановлюється в спеціальному пристосуванні на поворотному столі. Одна із дев'яти позицій верстата є завантажувальною. Всі бокові і вертикальні верстати працюють узгоджено з тактом, який відповідає лімітуючому часу, а стіл повертається в періоди, коли всі верстати закінчили свою роботу і інструменти відведені в початкове положення.

д- за видом обробки деталей розрізняють АЛ: для корпусних деталей; для валів; для зубчатих коліс; дисків; для кілець шарикопідшипників і роликотопідшипників; для дрібних деталей – гвинтів, штифтів, роликів тощо.

е- за видом зв'язку між верстатами АЛ – з жорстким і гнучким зв'язком. На рисунку 12.15, а-г наведені схеми АЛ.

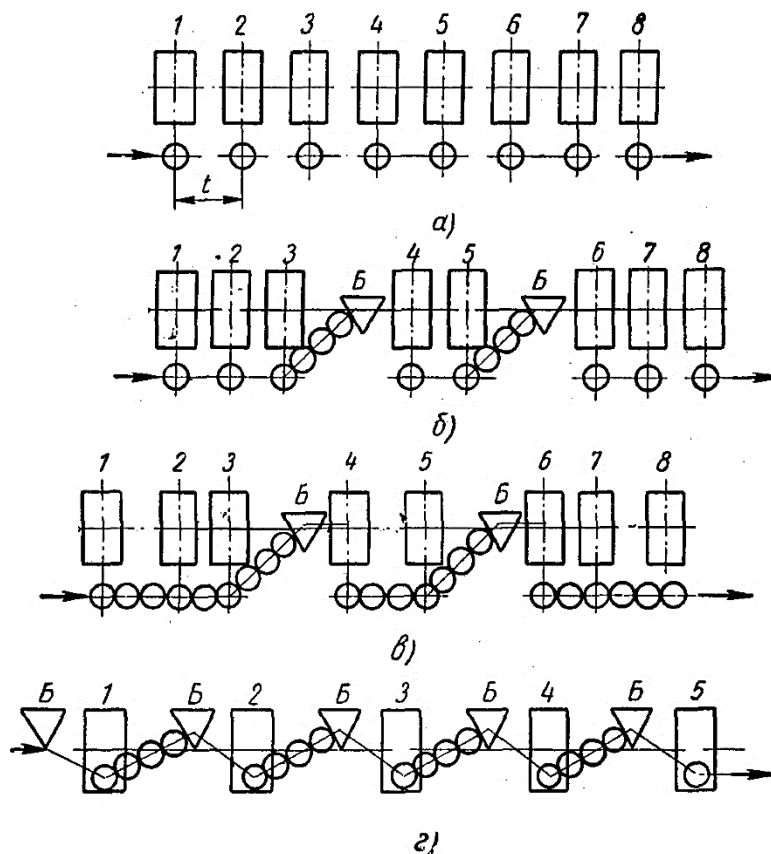


Рисунок 12.15 - Принципові схеми автоматичних ліній

В автоматичних прямоточних лініях з жорстким зв'язком оброблювані деталі по транспортеру переміщуються від верстата до верстату (рис. 12.15, а). У випадку поломки одного із верстатів лінія зупиняється, доки не буде усунута несправність верстата.

На рис. 12.15, б, в, г представлені схеми прямоточних АЛ з гнучким зв'язком. Між групою верстатів або після кожного верстата встановлюють бункери або приймачі-накопичувачі деталей, в яких збираються деталі. У

випадку поломки одного верстата наступні верстати або їх група будуть вести обробку, живлення яких здійснюється від бункерів або приймачів-накопичувачів.

12.3.3 Обладнання автоматичних ліній

Як було зазначено, автоматичні лінії комплектуються агрегатними спеціальними або універсальними верстатами. Лінії із агрегатних верстатів знаходять найбільше поширення при організації нового виробництва або при капітальній реконструкції підприємства. Ці лінії застосовуються в крупносерійному і масовому виробництві. З появою агрегатних верстатів з ЧПК з'явилась можливість створювати переналагоджувані АЛ і використовувати їх в серійному виробництві при більш обмеженому об'ємі випуску продукції.

Автоматичні лінії, створювані із універсальних верстатів, використовують у випадку реконструкції діючого виробництва. Універсальні верстати автомати і напівавтомати оснащуються автоматичними завантажувальними і транспортувальними пристроями. Автоматичні лінії, складені із універсальних верстатів, можуть бути з жорстким або гнучким зв'язком.

При цьому універсальні верстати можуть переналагоджуватись на обробку інших однотипних деталей.

Автоматичні лінії із спеціальних верстатів мають обмежене використання, тому що їх вартість висока і строки освоєння і введення в технологічний цикл великі. Крім того, ці автоматичні лінії створюються для однієї конкретної деталі, і у випадку зняття з виробництва деталі, замінити обробку на лінії на іншу деталь неможливо.

12.3.4 Транспортувальні пристрої для переміщення деталей

В АЛ для переміщення оброблюваних деталей з однієї позиції на іншу застосовують різноманітні транспортні засоби: транспортери, механічні руки, лотки, труби і ін.

Наприклад, для переміщення корпусних деталей, а також деталей, закріплених в пристосуваннях-супутниках, використовують різні транспортери.

Найбільше поширення в АЛ отримали стрічкові, ланцюгові транспортери і ін.

Крокові штангові транспортери (рис 12.16, а).

Штанга 1, на якій встановлені собачки 2, здійснює зворотно-поступальний рух і при русі вліво собачки 2 притискаються до деталі 3, пересуваючи їх на

заданий шаг. При переміщенні штанги 1 направо собачки просковзують під деталями і штанга повертається у вихідне (початкове положення).

- Крокові штангові транспортери з прапорцями (рис. 12.16, б).

На штанзі 1 закріплені прапорці 2 і при переміщенні штанги з прапорцями вліво прапорці захоплюють деталі і переміщують їх в задану позицію. Після чого штанга 1 з фланком 2 повертається, вивільнюючи деталі і повертається в початкове положення.

Грейферні транспортери (рис. 12.16, в).

Штанга 1 з прапорцями 2 переміщує деталі вліво на 1 шаг, далі штанга з прапорцями спускається вниз, вивільнюючи деталі і повертається назад в вихідне положення.

Рейнейрні транспортери (рис. 12.16, г).

Захвати 2, закріплені на штанзі, захоплюють заготовки 1, піднімають їх і штанга із захватами переміщується на величину шага. Після чого захвати вивільняють заготовки і штанга повертається в вихідне положення.

Штовхальні транспортери (рис. 12.16, д).

Штовхач 1 – гідро-або пневмоциліндр діє безпосередньо на деталі 2, переміщуючи їх на величину кроку і потім повертається в вихідне положення.

Ланцюгові транспортери (рис. 12.16, е).

Деталі 1 при здійсненні руху ланцюга переміщуються на необхідну відстань, тобто на заданий крок. Ланцюгові транспортери не знайшли широкого використання в автоматичних лініях позаяк не забезпечується точне переміщення деталей, їх фіксація і базування.

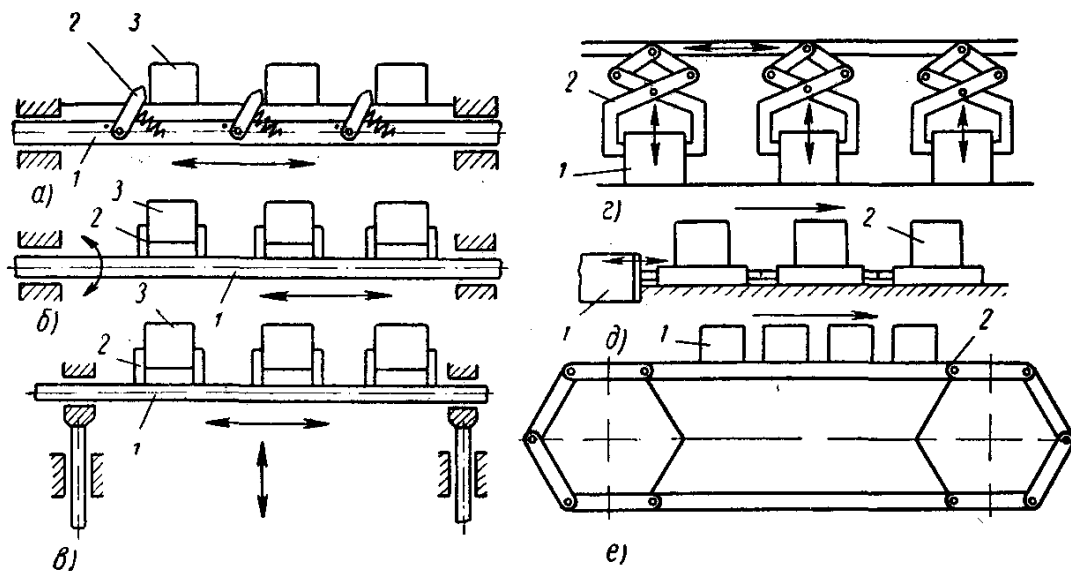


Рисунок 12.16 - Схеми транспортерів: а- кроковий штанговий транспортер з собачками; б- кроковий штанговий транспортер з флажками; в- грейферний

транспортер; г- рейнерний транспортер; д- штовхальний транспортер; е- ланцюговий транспортер

В якості транспортувальних пристроїв в автоматичних лініях застосовують лотки і труби для самостійного и примусового переміщення деталей. Як правило такі транспортувальні засоби використовують для деталей типу тіл обертання простої конфігурації: штифти, ролики, шарики підшипників, кільця і ін.. Їх використовують також в якості накопичувачів невеликих об'ємів. Вони встановлюються під різними кутами. Форма лотків буває різних типів і вибір їх залежить від форми, маси і розмірів деталі. На рис. 12.17 приведені схеми лотків різної форми.

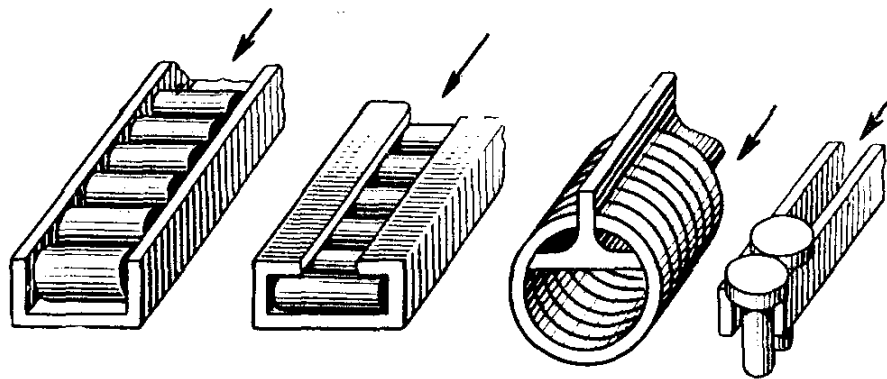


Рисунок 12.17 - Схеми лотків

12.3.5 Завантажувальні пристрої АЛ

Вибір завантажувального пристрою залежить від виду заготовки, її розмірів і маси.

- Завантаження верстатів АЛ заготовками із прутка:

При виготовленні деталей на токарно-одношпиндельних і багатошпиндельних токарних автоматах використовують прутки $L = 4000$ мм або $L = 6000$ мм. Пруток вставляється в направляючу трубу, отвір шпинделя і затискається. Після обробки деталей вона відрізається, пруток за допомогою механізму подає заготовку до упору, пересувається і обробляється наступна деталь і т.д. Після того, як пруток буде повністю використаний, робітник знову здійснює завантаження.

- Завантаження верстатів АЛ штучними заготовками:

При одному транспортувальному пристрої-транспортері, коли заготовки мають великі розміри і масу, наприклад, відливки, їх встановлюють на транспортер на початку автоматичної лінії базовими поверхнями або за допомогою пристосувань-супутників в направляючих транспортера і фіксують

посадкою на контрольні штифти або фіксатори двома попередньо обробленими отворами. В процесі обробки транспортер переміщує деталі на заданий крок, тобто від верстат до верстату (рис. 12.18).

Для дрібних штучних заготовок в таких виробництвах, як метизне, виробництво підшипників і ін. (рис. 12.18)

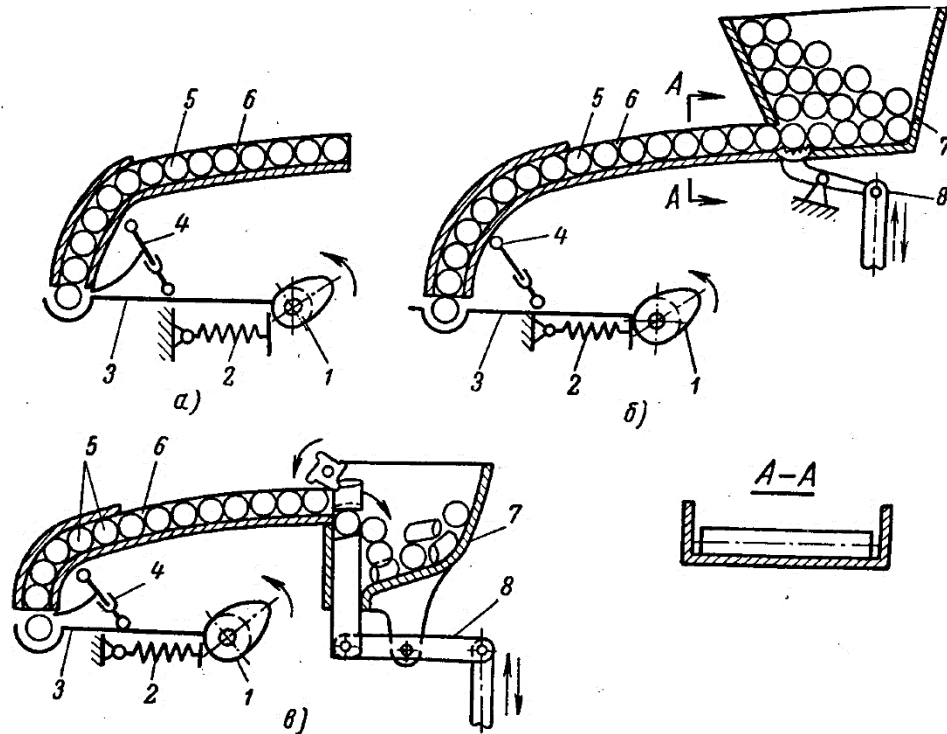


Рисунок 12.18 - Схеми завантажувальних пристроїв АЛ

Магазинні завантажувальні пристрої (рис. 12.18, а):

Заготовки 5 вкладаються в магазині у вигляді лотка 6 і із лотка за допомогою живильника 3, який приводиться ексцентриком-кулачком 1, доставляється до місця обробки. Відсікач 4 призначений для утримання заготовок у лотку 6 в момент переміщення живильнику. Повернення живильнику 3 у початкове положення здійснюється за допомогою пружини 2.

- Бункерно-магазинні завантажувальні пристрої (рис. 12.18, б):

Відрізняється від магазинного тим, що має бункер 7, в якому завантажений запас заготовок. Всі заготовки повинні мати певну орієнтацію. Із бункера 7 за допомогою подавача 8 заготовки направляються в лоток 6 і далі процес ідентичний магазинному завантажувальному пристрою.

- Бункерні завантажувальні пристрої (рис. 12.18, в):

В бункер 7 запас заготовок засипається навалом, при цьому за допомогою механізму 8 заготовки поштучно направляються в лоток, а далі напрямок руху

заготовки здійснюється так, як і в бункерно-магазинному завантажувальному пристрої.

Бункерний завантажувальний пристрій, як правило, застосовується для заготовок простих геометричних форм, невеликих розмірів і маси.

12.3.6 Накопичувальні пристрої АЛ

Для зменшення втрат робочого часу, пов'язаного з наладкою окремих верстатів АЛ, її розділяють на окремі ділянки, кожний із яких при зупинці інших може працювати самостійно. Для того, щоб кожна ділянка лінії могла працювати незалежно від інших, перед початком кожної ділянки створюють багатоопераційні заділи. Для прийому, зберігання і видачі деталей із між операційних заділів на лініях застосовують спеціальні автоматичні накопичувачі. Накопичувальні пристрої діляться на два типи: транзитні (прохідні) і тупикові.

Транзитні накопичувачі обладнані так, що заготовки переміщуються в них при нормальній роботі лінії, тобто для видачі із накопичувача однієї заготовки необхідно переміщувати всі заготовки, які в ньому знаходяться.

Тупикові накопичувачі розроблені так, що при безперервній роботі двох суміжних ліній потік деталей з попередньої ділянки поступає на послідовний, оминаючи накопичувач. Накопичувач включається в роботу лише у випадку зупинки попередньої ділянки лінії.

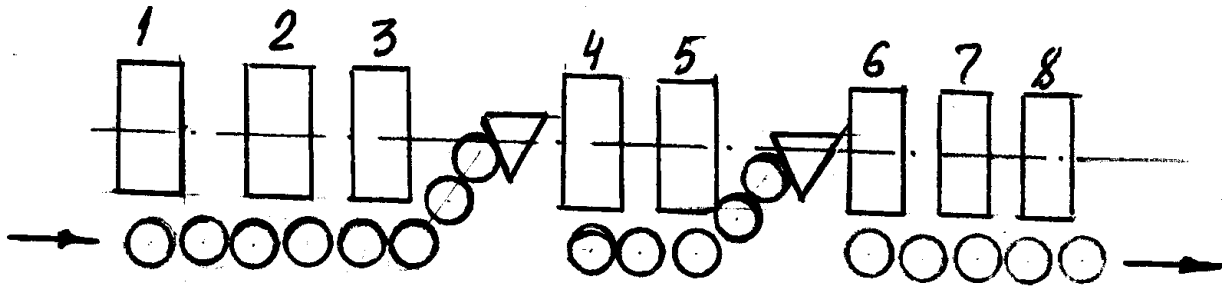


Рисунок 12.19 - Схема автоматичної лінії з транзитним прийомником-накопичувачем

12.3.7 Конструкції автоматичних ліній

12.3.7.1 Автоматичні лінії, складені із універсальних верстатів

Ці АЛ складаються із звичайних універсальних верстатів-автоматів і напіваавтоматів, модернізованих верстатів, цикл роботи яких повністю автоматизується, за допомогою автооператорів і обладнані спеціальним автоблокуванням.

На групових АЛ, складених із універсальних токарних верстатів, можна обробляти до 15 типорозмірів деталей, близьких за технологічним процесом і конструктивним розміром.

Груповий ритможивителем регулює певний темп живителя кожного типорозміру кожного типорозміру оброблюваних деталей. Рим руху кожного типу заготовок налаштовується змінними колесами.

12.3.7.2 Автоматичні лінії із агрегатних верстатів

Ці лінії застосовують для обробки корпусних деталей та інших деталей складної конфігурації. Оброблювані заготовки, які послідовно проходять через всі позиції обробки, не знімаються з транспортера. В кожній робочій позиції заготовки фіксуються і затискаються в стаціонарних пристосуваннях. На рисунку 12.20 зображена АЛ із агрегатних верстатів.

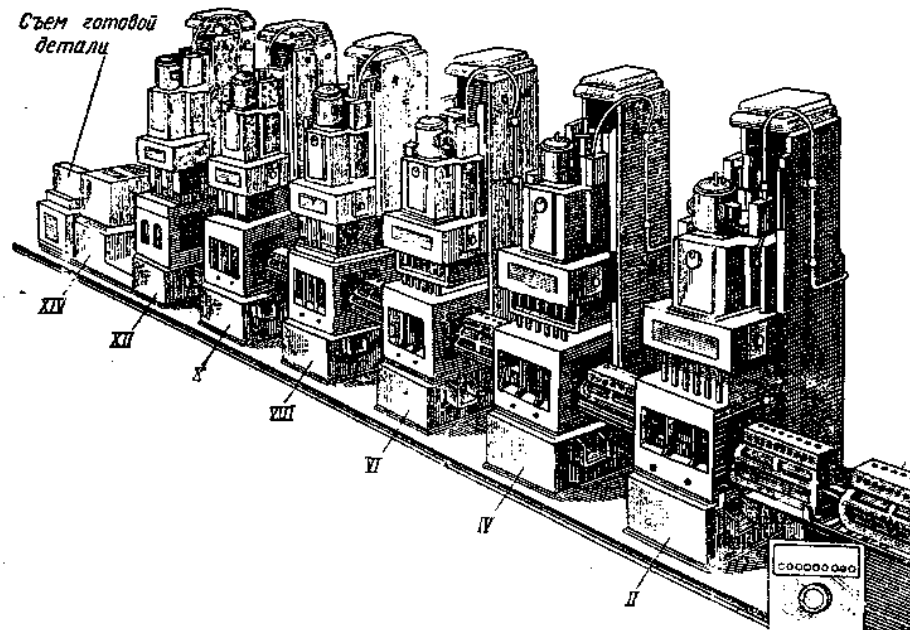


Рисунок 12.20 - Схема компоновки автоматичної лінії із агрегатних верстатів

Заготовки складної, незручної для базування форми закріплюють в одно- або багатомісних пристосуваннях-супутниках. Супутник представляє із себе плиту, верхня частина якої пристосована для фіксації і закріплення заготовок, а нижня частина спрягається з транспортером АЛ із затискуючими пристроями верстатів. Супутник супроводжує заготовку від початку АЛ до її кінця, а після зняття готової деталі повертається до початку АЛ, для того щоб прийняти наступну заготовку. Для повертання супутників на початок АЛ необхідний

додатковий транспортер, який розташовують впродовж основного транспортера, над ним або збоку.

12.3.7.3 Роторні автоматичні лінії

Ці лінії складені із роторних верстатів, пов'язаних між собою транспортувальними роторами.

Роторні лінії використовуються в основному для обробки невеликих штампованих деталей, і деталей із прес-порошків. Ці лінії мають високу продуктивність, легко пере налаштовуються і можуть бути використані в серійному і масовому виробництві.

На рисунках 12.21 і 12.22 показані схеми автоматичних роторних ліній.

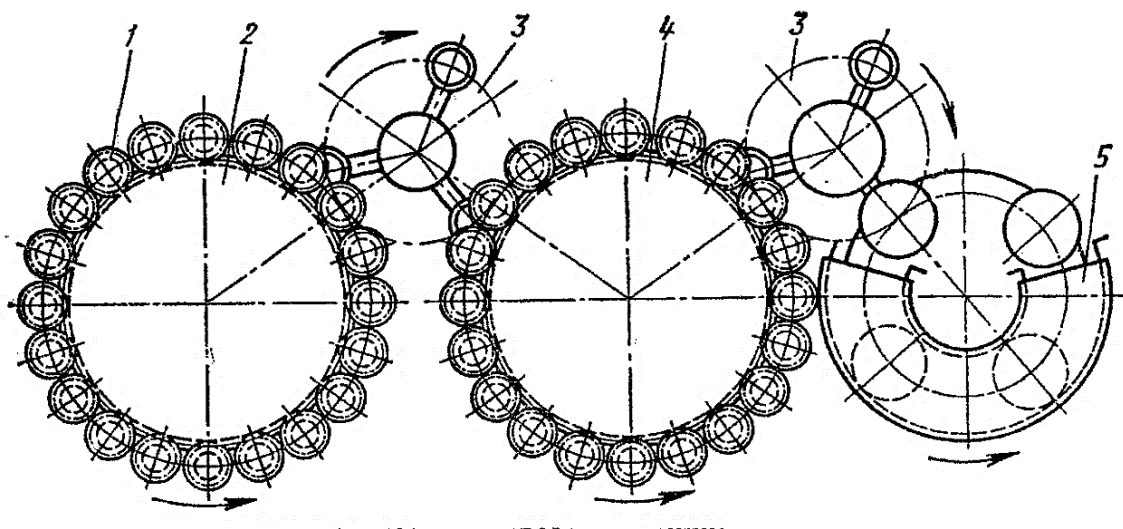


Рисунок 12.21 - Схема автоматичної роторної лінії: 1 – робочі шпинделі; 2 – ротор свердління; 3 – транспортний ротор; 4 – ротор розсортування отворів деталі; 5 – ротор закалки

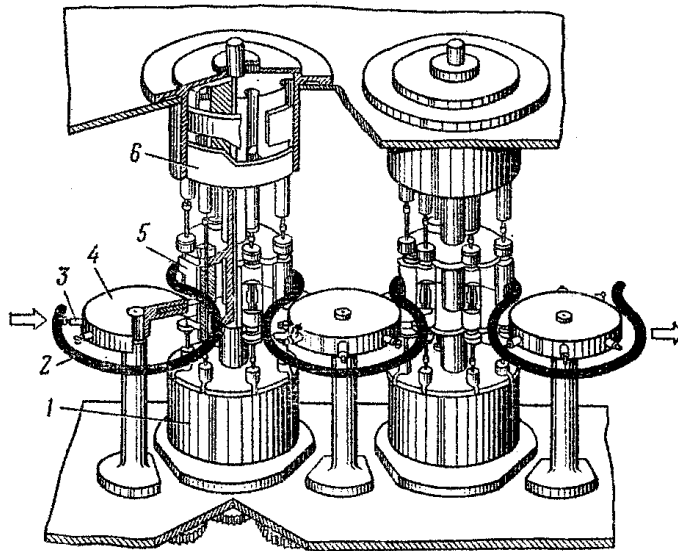


Рисунок 12.22 - Група верстатів автоматичної роторної лінії: 1 – роторні верстати; 2 – шлях, який проходить оброблювана заготовка по верстатах і конвеєрній лінії; 3 – кліщі (захвати) транспортного ротору для захвату деталі, 4 – транспортувальні ротори для переміщення заготовок на роторні верстати; 5 – блок інструментів; 6 – копір для позовжнього (осьового) переміщення інструмента

Необхідні обертання інструменту, заготовці, робочому і транспортувальному роторам надається від електродвигуна через систему зубчатих, черв'ячних, і інших видів передач.

Поступальний (осьовий) рух інструмент або заготовка отримує від відповідних копирів, або від гідросистеми.

Контрольні запитання

1. Подати визначення, призначення і область використання агрегатних верстатів.
2. Вказати переваги агрегатних верстатів перед спеціальними верстатами.
3. Дати пояснення компоувальних схем агрегатних верстатів із стаціонарним пристосуванням.
4. Назвати уніфіковані вузли і деталі агрегатних верстатів.
5. Надати класифікацію агрегатних верстатів за їх компоновкою.
6. Надати поняття: самодіючі і не самодіючі силові головки.
7. Вказати різновиди силових голівок за типом приводу.
8. Пласко-кулачкові силові головки: призначення і принцип роботи.
9. Барабанно-кулачкові силові головки: призначення і принцип роботи.

10. Гвинтові електромеханічні силові головки: призначення і принцип роботи.
11. Гідравлічні силові головки: призначення і принцип роботи.
12. Пневмогідравлічні силові головки: призначення і принцип роботи.
13. Силові столи агрегатних верстатів: призначення і принцип роботи силового стола з електромеханічним приводом стола.
14. Шпиндельні механізми агрегатних верстатів, їх різновиди і принцип роботи.
15. Агрегатні верстати з ЧПК, їх призначення, область використання.
16. Конструктивні особливості агрегатних верстатів з ЧПК.
17. Основні вузли агрегатних верстатів з ЧПК, їх основні вузли і рухи по координатним вісям.
18. Дати визначення автоматичної лінії верстатів і вказати область їх використання.
19. Класифікація автоматичних ліній верстатів за різними ознаками.
20. Вказати, із яких верстатів створюються автоматичні лінії і їх особливості.
21. Вказати призначення транспортувальних пристроїв АЛ, їх різновиди і пояснити принцип роботи.
22. Призначення завантажувальних пристроїв АЛ і від чого залежить вибір їх конструкції.
23. Назвати різновиди завантажувальних пристроїв АЛ і пояснити принцип їх роботи
24. Призначення накопичувальних пристроїв АЛ.
25. Автоматичні лінії, складені із універсальних верстатів, їх особливості.
26. Автоматичні лінії, складені із агрегатних верстатів, їх призначення і деталі, оброблювані на них.
27. Роторні автоматичні лінії, обладнання і принцип роботи.

ТЕМА 13

13. МЕХАТРОНІКА

13.1 Основні поняття та визначення мехатроніки

Мехатроніка знаходиться у стадії становлення, і оскільки до сьогоднішнього дня її визначення і базова термінологія ще повністю не сформовані, то доцільно розглянути визначення, які виражають суть предмету мехатроніки як в широкому, так і у вузькому (спеціальному) розумінні.

Загальне визначення мехатроніки в широкому розумінні: "Мехатроніка – це нова галузь науки і техніки, присвячена створенню та експлуатації машин і систем з комп'ютерним управлінським рухом, яка базується на знаннях в області механіки, електроніки та мікропроцесорної техніки, інформатики та комп'ютерного управління руху машин і агрегатів".

В даному визначенні підкреслені три елементи мехатронних систем, в основу побудови яких закладена ідея глибокого взаємозв'язку механіки, електроніки та комп'ютерної техніки. Найбільш поширеним графічним символом мехатроніки стали три пересічних кола (рис. 13.1), поміщені в зовнішню оболонку "Виробництво" – "Менеджмент" – "Вимоги ринку". Таким чином, системна інтеграція трьох зазначених складових є необхідною умовою побудови мехатронної системи.

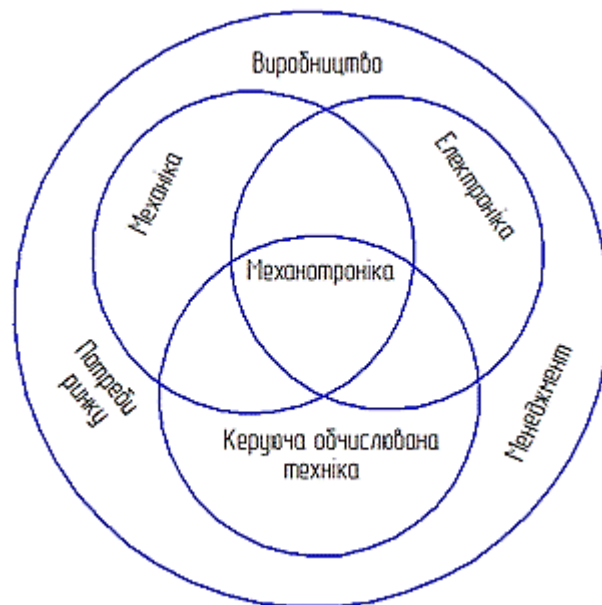


Рисунок 13.1 - Визначення мехатронних систем за Ю. В. Подураєвим

У «Oxford Illustrated Encyclopedia» можна прочитати: Мехатроніка – японський термін для опису технологій, що виникли на основі електротехніки, машинобудування і програмного забезпечення. Включає проектування,

виробництво і вивчає функціонування машин з «розумною» поведінкою, тобто діючих за заданою програмою, їх зв'язку з іншими матеріалами (штучний інтелект, вимірювальне обладнання, системи управління).

Відомо кілька визначень, опублікованих у періодичних виданнях, працях міжнародних конференцій і симпозіумів, де поняття про мехатроніку конкретизується і спеціалізується.

На основі розглянутих вище визначень пропонується наступне спеціальне формулювання предмета мехатроніки: "Мехатроніка – наука, яка вивчає синергетичне об'єднання вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними і комп'ютерними компонентами з метою проектування і виробництва якісно нових модулів, систем, машин і комплексів машин з інтелектуальним керуванням функціональних рухів".

13.2 Особливості мехатронних систем:

1. Мехатроніка вивчає особливий методологічний (концептуальний) підхід в побудові машин з якісно новими характеристиками. Важливо підкреслити, що цей підхід є досить універсальним і може бути застосований в машинах і системах різного призначення. Однак слід зазначити, що забезпечення високої якості управління мехатронною системою можна тільки з урахуванням специфіки конкретного керованого об'єкта. Тому вивчення мехатроніки доцільно здійснювати за спеціальностями, предметом яких є конкретні класи виробничих машин і процесів.

2. У визначенні підкреслюється синергетичний характер інтеграції складових елементів в мехатронних об'єктах. Синергія (грец.) – це спільна дія, спрямована на досягнення єдиної мети. При цьому важливим є те, що складові частини не просто доповнюють один одного, але об'єднуються таким чином, що утворена система має якісно новими властивостями. В мехатроніці всі енергетичні та інформаційні потоки спрямовані на досягнення єдиної мети – реалізації заданого керованого руху.

3. Інтегровані мехатронні елементи вибираються розробником вже на стадії проектування машини, а потім забезпечується необхідна інженерна і технологічна підтримка при виробництві та експлуатації машини. В цьому радикальна відмінність мехатронних машин від традиційних, коли найчастіше користувач був змушений самотійно об'єднувати в систему різноманітні механічні, електронні та інформаційно – керуючі пристрої різних виробників. Саме тому більшість складних комплексів (наприклад, деякі гнучкі виробничі

системи у вітчизняному машинобудуванні) показали на практиці низьку надійність і невисоку техніко-економічну ефективність.

4. Методологічною основою розробки мехатронних систем служать методи паралельного проектування (concurrent engineering methods). При традиційному проектуванні машин з комп'ютерним управлінням послідовно проводиться розробка механічної, електронної, сенсорної та комп'ютерної частин системи, а потім вибір інтерфейсних блоків. Парадигма паралельного проектування полягає в одночасному і взаємопов'язаному синтезі всіх компонентів системи.

5. Базовими об'єктами вивчення мехатроніки є мехатронні модулі, які виконують рухи, як правило, по одній керованій координаті. З таких модулів, як з функціональних кубиків, компонуються складні системи модульної архітектури.

6. Мехатронні системи призначені, як трактується у визначенні, для реалізації заданого руху. Критерії якості виконання руху МС є проблемно-орієнтованими, тобто визначаються постановкою конкретної прикладної задачі. Специфіка задач автоматизованого машинобудування полягає в реалізації переміщення вихідної ланки – робочого органу технологічної машини (наприклад, інструменту для механообробки). При цьому необхідно координувати управління просторового переміщення МС з керуванням різних зовнішніх процесів. Прикладами таких процесів можуть служити регулювання силової взаємодії робочого органу з об'єктом робіт при механообробці, контроль і діагностика поточного стану критичних елементів МС (інструменту, силового перетворювача), управління додатковими технологічними впливами (тепловими, електричними, електрохімічними) на об'єкт робіт при комбінованих методах обробки, управління допоміжним устаткуванням комплексу (конвеєрами, завантажувальними пристроями тощо), видача і прийом сигналів від пристроїв електроавтоматики (клапанів, реле, перемикачів). Такі складні координовані рухи мехатронних систем будемо надалі називати функціональними рухами.

7. В сучасних мехатронних системах для забезпечення високої якості реалізації складних і точних рухів застосовуються методи інтелектуального управління (advanced intelligent control). Дана група методів спирається на нові ідеї в теорії керування, сучасні апаратні і програмні засоби обчислювальної техніки, перспективні підходи до синтезу керованих рухів мехатронних систем.

Слід зазначити, що мехатроніка як нова область науки і техніки, знаходиться в стадії свого становлення, її термінологія, межі та класифікаційні ознаки ще не визначені. На нинішньому етапі першочергове значення має виявлення сутності нових принципів побудови і тенденцій розвитку машин з

комп'ютерним керуючим рухом, а відповідні семантичні поняття та визначення безумовно з часом визначаються.

Історія становлення мехатроніки. Історію мехатроніки прийнято відраховувати з 1969 року, коли японська фірма Yaskawa Electric ввела новий термін "Мехатроніка" як комбінацію слів "Механіка" і "Електроніка". У 1972 році фірма зареєструвала цей термін як товарний знак. Слід зауважити, що у вітчизняній літературі ще на початку 50-х років використовувався подібним же чином утворений термін – "Механотрон". Так називалися електронні лампи з рухомими електродами, які застосовувалися в якості датчиків малих переміщень, прискорень, вібрацій і т.п. Починаючи з 80-х років термін "Мехатроніка" частіше застосовується у світовій технічній літературі як назва цілого класу машин з комп'ютерним управлінням рухом. Спочатку Мехатронічними системами вважалися тільки регульовані електроприводи. Потім сюди стали відносити автоматичні двері, торгові автомати, мобільні засоби і фотокамери з автофокусуванням. В 80-х роках клас мехатронних систем поповнився верстатами з числовим програмним управлінням, промисловими роботами і новими видами побутових машин (посудомийних, пральних тощо). В останнє десятиліття дуже велика увага приділяється створенню мехатронних модулів для сучасних автомобілів, нового покоління технологічного обладнання (верстатів з паралельною кінематикою, роботів з інтелектуальним управлінням), мікромашин, новітньої комп'ютерної та офісної техніки.

Як основа класифікаційної ознаки в мехатроніці є доцільним прийняти рівень інтеграції складових елементів. Відповідно до цієї ознаки можна розділяти мехатроні системи за рівнями або за поколіннями, якщо розглядати їх появу на ринку наукової продукції історично.

Мехатроні модулі першого рівня складаються з об'єднання двох вихідних елементів. Типовим прикладом модуля першого покоління може бути "мотор-редуктор", де механічний редуктор і керований двигун виготовляються як єдиний функціональний елемент. Мехатронні системи на основі цих модулів знайшли широке застосування при створенні різних засобів комплексної автоматизації виробництва (конвеєрів, транспортерів, поворотних столів, допоміжних маніпуляторів).

Мехатронні модулі другого рівня з'явилися в 80-х роках у зв'язку з розвитком нових електронних технологій, які дозволили створити мініатюрні датчики та електронні блоки для обробки сигналів. Об'єднання приводних модулів із зазначеними елементами привела до появи мехатронних модулів руху, склад яких повністю відповідає введеному вище визначенню, коли досягнута

інтеграція трьох пристроїв різної фізичної природи: механічних, електротехнічних і електронних. На базі мехатронних модулів даного класу створені керовані енергетичні машини (турбіни і генератори), верстати та промислові роботи з числовим програмним керуванням.

Розвиток третього покоління мехатронних систем обумовлено появою на ринку порівняно недорогих мікропроцесорів і контролерів на їх базі та направлено на інтелектуалізацію всіх процесів, що протікають в мехатронній системі, в першу чергу – процесу управління функціональними рухами машин і агрегатів. Одночасно йде розробка нових принципів і технологій виготовлення високоточних і компактних механічних вузлів, а також нових типів електродвигунів (в першу чергу високомоментних, безколекторних та лінійних), датчиків зворотного зв'язку та інформації. Синтез нових прецизійних, інформаційних і вимірювальних наукомістких технологій дає основу для проектування і виробництва інтелектуальних мехатронних модулів і систем.

Надалі мехатронні машини і системи будуть об'єднуватися в мехатроні комплекси на базі єдиних інтеграційних платформ. Мета створення таких комплексів – поєднання високої продуктивності і одночасно гнучкості техніко-технологічного середовища за рахунок можливості її реконфігурації, що дозволить забезпечити конкурентоспроможність і високу якість продукції на ринках ХХІ століття.

13.3 Принципи побудови мехатронних систем

Розглянемо узагальнену структуру машин з комп'ютерним керуванням, орієнтованих на задачі автоматизованого машинобудування, яка показана на рис. 13.2. В основу побудови даної схеми покладена широко відома структура автоматичних роботів, введена академіком Е. П. Поповим.

Зовнішнім середовищем для машин розглянутого класу є технологічне середовище, яке містить різне основне і допоміжне обладнання, технологічну оснастку і виконавчу роботу.

При виконанні мехатронною системою заданого функціонального руху виконавчих робіт надають впливи на робочий орган. Прикладами таких впливів можуть служити сили різання для операцій механообробки, контактні сили і моменти сил при складанні, сила реакції струменя рідини при операції гідравлічного різання.

Зовнішні середовища умовно можна розділити на два основні класи: детерміновані та недетерміновані. До детермінованих відносяться середовища, для яких параметри збуджуючих впливів і характеристик об'єктів робіт можуть

бути заздалегідь визначені з необхідною для проектування мехатронних систем ступенем точності. Деякі середовища є непередбачуваними за своєю природою (наприклад, екстремальні середовища: підводні, підземні і т.п.). Характеристики технологічних середовищ як правило можуть бути визначені за допомогою аналітично-експериментальних досліджень і методів комп'ютерного моделювання. Наприклад, для оцінки сил різання при механообробці проводять серії експериментів на спеціальних дослідницьких установках, параметри вібраційних впливів вимірюють на вібростендах з подальшим формуванням математичних і комп'ютерних моделей різних впливів на основі експериментальних даних.

Однак для організації та проведення подібних досліджень часто потрібні занадто складна і дорога апаратура та вимірювальні технології. Так для попередньої оцінки силових впливів на робочий орган при операції роботизованого видалення облою з литих виробів необхідно виміряти фактичну форму і розміри кожної заготовки. В таких випадках доцільно застосовувати методи адаптивного управління, які дозволяють автоматично коректувати закон руху мехатронною системою безпосередньо в хід встановлення.

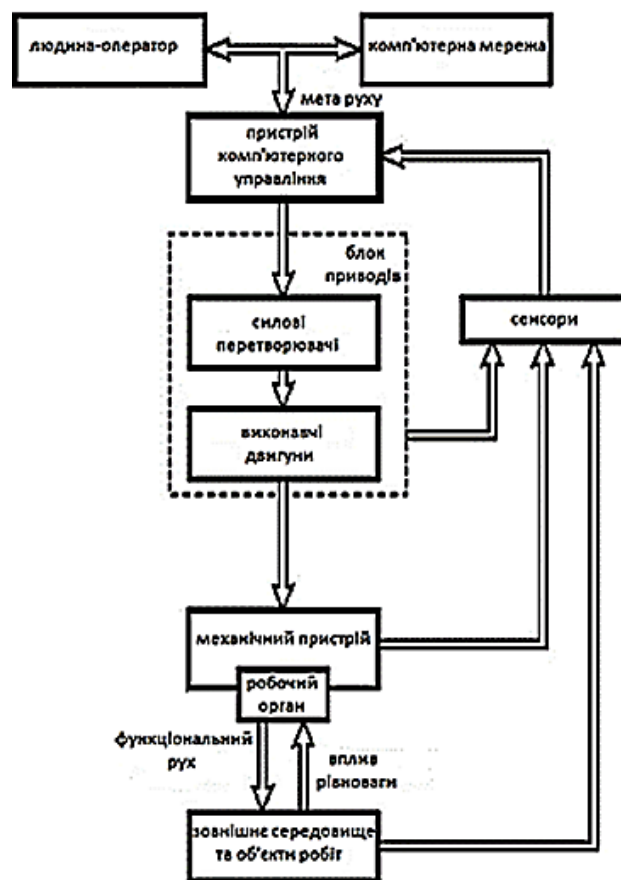


Рисунок 13.2 - Узагальнена схема машини з комп'ютерним керуванням рухом

До складу традиційних машин входять наступні основні компоненти: механічний пристрій, кінцевою ланкою якого є робочий орган; блок приводів, що включає силові перетворювачі і виконавчі двигуни; пристрій комп'ютерного управління, верхнім рівнем для якого є людина-оператор, або інша ЕОМ, що входить в комп'ютерну мережу; сенсори, призначені для передачі в пристрій управління інформації про фактичний стан блоків машини та рух мехатронних систем.

Таким чином, наявність трьох обов'язкових частин - механічної (точніше електромеханічної), електронної та комп'ютерної, пов'язаних енергетичними та інформаційними потоками, є первинним ознакою, що відрізняє мехатронні системи.

Електромеханічна частина включає механічні ланки і передачі, робочий орган, електродвигуни, сенсори і додаткові електротехнічні елементи (гальма, муфти). Механічний пристрій призначений для перетворення рухів ланок в необхідний рух робочого органу. Електронна частина складається з мікроелектронних пристроїв, силових перетворювачів і електроніки вимірювальних ланцюгів. Сенсори призначені для збору даних про фактичний стан зовнішнього середовища і об'єктів робіт, механічного пристрою і блоку приводів з подальшою первинною обробкою і передачею цієї інформації в пристрій комп'ютерного керування (ПКК). До складу ПКК мехатронної системи зазвичай входять комп'ютер верхнього рівня і контролери управління рухом.

13.4 Основні функції керування мехатронних систем:

1. Управління процесом механічного руху мехатронного модуля або багатовимірної системи в реальному часі з обробкою сенсорної інформації.

2. Організація керування функціональними рухами мехатронних систем, яка передбачає координацію керування механічним рухом мехатронних систем і супутніми зовнішніми процесами. Як правило, для реалізації функції керування зовнішніми процесами використовуються дискретні входи / виходи пристрою.

3. Взаємодія з людиною-оператором через людино-машинний інтерфейс в режимах автономного програмування (off-line) і безпосередньо в процесі руху МС (режим on-line).

4. Організація обміну даними між периферійними пристроями, сенсорами та іншими пристроями системи.

Завданням мехатронної системи є перетворення вхідної інформації, що надходить з верхнього управління, в цілеспрямований механічний рух з керуванням на основі принципу зворотного зв'язку.

Характерно, що електрична енергія (гідравлічна або пневматична) використовується в сучасних системах як проміжна енергетична форма.

Суть мехатронного підходу для проектування полягає в інтеграції в єдиний функціональний модуль двох або більше елементів можливо навіть різної фізичної природи. Іншими словами, на стадії проектування з традиційної структури машини виключається сепараторний пристрій (принаймні один інтерфейс) при збереженні фізичної сутності перетворення, виконуваного даними модулем.



Рисунок 13.3 - Ієрархічна структура мехатронної системи

В ідеальному для користувача варіанті мехатронний модуль, отримавши на вхід інформацію про цілі керування, виконуватиме з бажаними показниками якості заданого функціонального руху. Апаратне об'єднання елементів в єдині конструктивні модулі повинно обов'язково супроводжуватись розробкою інтегрованого програмного забезпечення. Програмні засоби мехатронних систем повинні забезпечувати безпосередній перехід від задуму системи через її

математичне моделювання до керування функціональним рухом у реальному часі.

Застосування мехатронного підходу при створенні машин з комп'ютерним керуванням визначає їх основні переваги в порівнянні з традиційними засобами автоматизації:

- відносно низьку вартість завдяки високому ступеню інтеграції, уніфікації та стандартизації всіх елементів і інтерфейсів;
- висока якість реалізації складних і точних рухів внаслідок застосування методів інтелектуального управління;
- високу надійність, довговічність і перешкодозахищеність;
- конструктивну компактність модулів (аж до мініатюризації в мікромашину);
- поліпшені масогабаритні і динамічні характеристики машин внаслідок спрощення кінематичних ланцюгів;
- можливість комплексування функціональних модулів у складні системи і комплекси під конкретні завдання замовника.

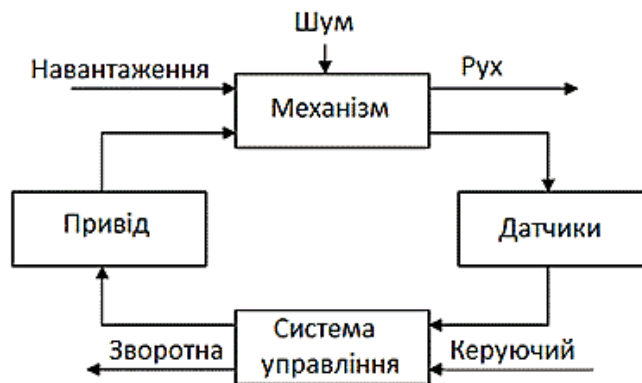


Рисунок 13.4 - Структура мехатронної системи

13.5 Системи керування мехатронними пристроями

Системи керування мехатронними засобами – це системи, які призначені для формування та видачі керуючих завдань виконавчому пристрою, відповідно до заданої програми.

В загальному випадку система автоматичного керування (рис. 13.5) складається з: об'єкта керування (ОК), вимірювального пристрою (ВП), задаючого пристрою (ЗП), сумуючого пристрою, підсилювача (П) і виконавчого механізму (ВМ).

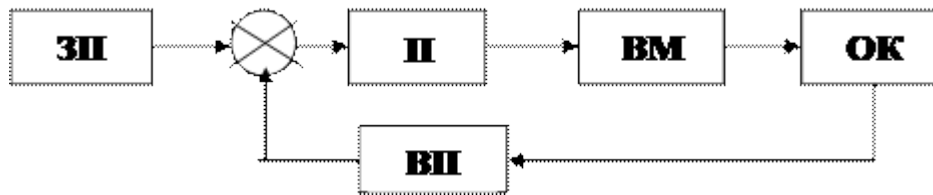


Рисунок 13.5 - Загальна структурна схема САК

Як приклад системи керування мехатронним об'єктом розглянемо підсистему керування сучасним автомобілем – визначення дистанції безпеки і швидкості (рис. 13.6). Ця технологія забезпечує можливість керувати відстанню між транспортним засобом і перешкодою (або іншим транспортним засобом) інтегруючи датчик cruise control і ABS systems. Структурна реалізація даної підсистеми керування показана на рис. 1.7.

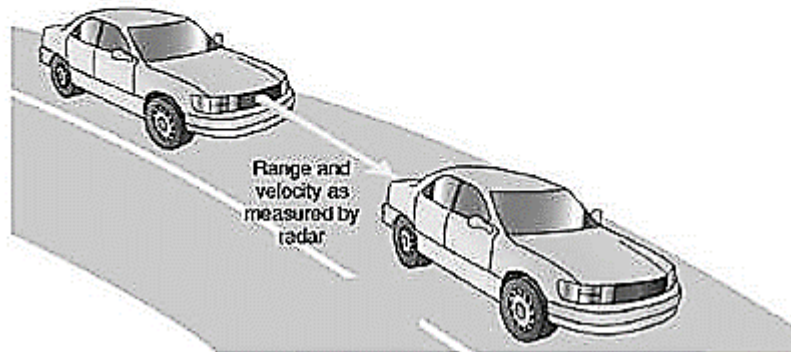
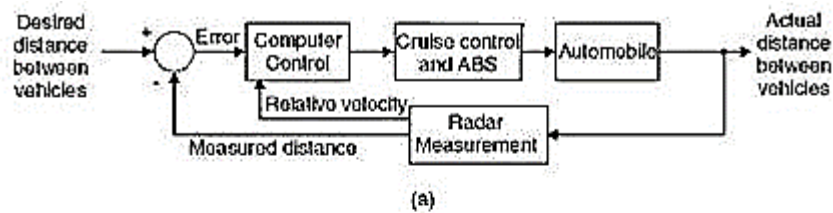


Рисунок 13.6 - Підсистема керування сучасним автомобілем – cruise control и ABS systems (Robert H. Bishop [1, 2])

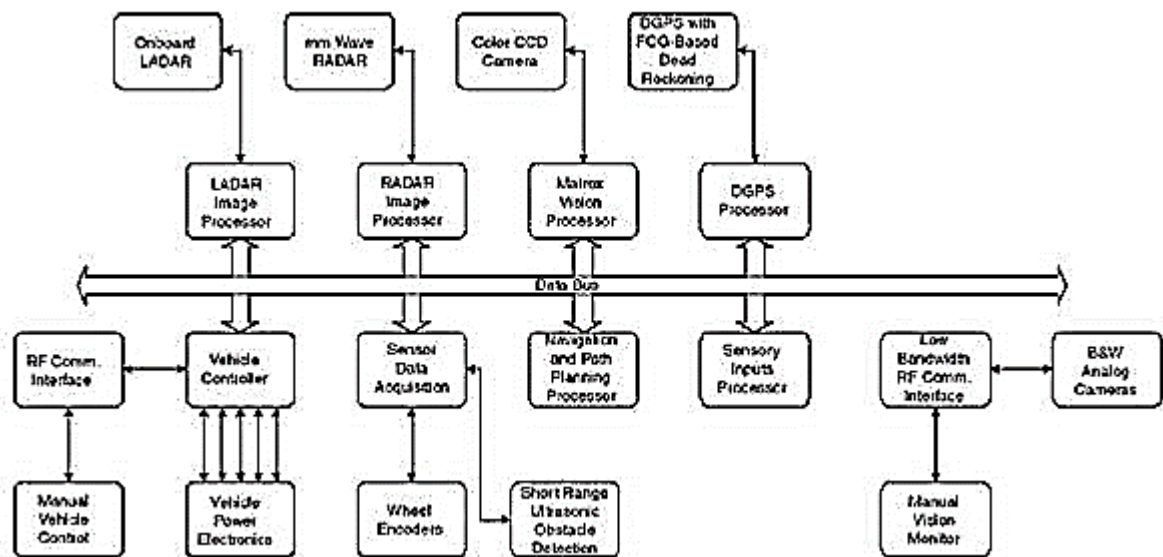


Рисунок 13.7 - Структурна реалізація підсистеми керування автомобілем (Robert H. Bishop [1, 2])

Рисунок 13.8 показує типову мехатронну систему з механічними, електричними, і комп'ютерними компонентами. Процес системного збору даних починається з виміру фізичного значення датчиком. Датчик здатний виміряти деякий сигнал, у формі рівня напруги або форми хвилі.

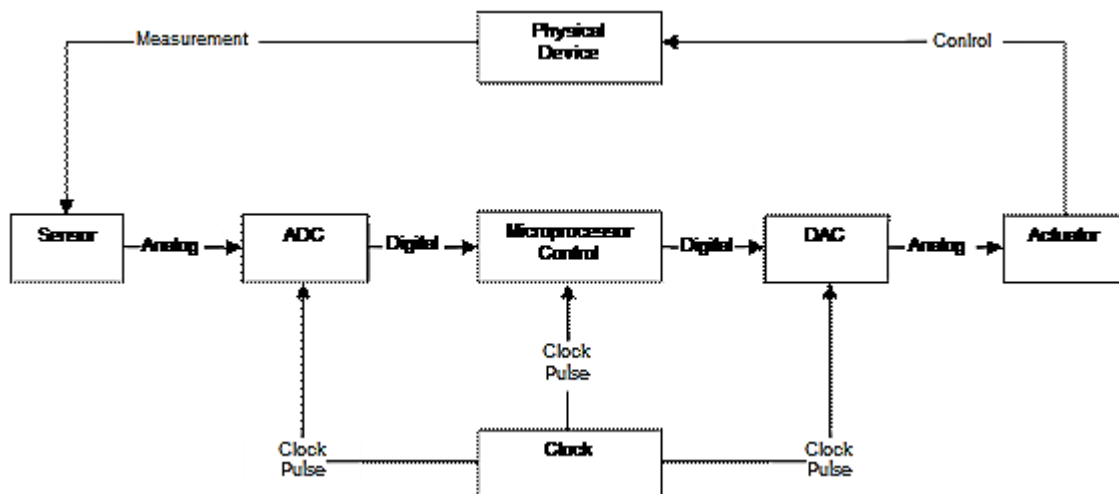


Рисунок 13.9 - Система керування мехатронним об'єктом (Robert H. Bishop [1, 2])

Цей аналоговий сигнал посиляють аналого-цифровий конвертер (аналого-цифровий перетворювач). Зазвичай використовуючи процес послідовного наближення, аналого-цифровий перетворювач відображає аналоговий вхідний сигнал на цифровий пристрій виводу. Це цифрове значення складено з набору

подвійних значень названих бітами (представлене з 0 і 1). Набір бітів представляє десяти або шістнадцяти числовий номер, який може використовуватися мікроконтролером. Мікроконтролер складається з мікропроцесора плюс пам'ять та інші доступні пристрої. Програма в мікропроцесорі використовує це цифрове значення поряд з іншими введеннями та попередньо завантаженими значеннями названими калібруваннями, щоб визначити команди виводу. Подібно введенню на мікропроцесор, ці висновки знаходяться в цифровій формі і можуть бути представлені набором бітів. Цифро-аналоговий конвертер (ЦАП) використовується, щоб конвертувати цифрове значення в аналоговий сигнал. Аналоговий сигнал використовується приводом головок для керування фізичними пристроями або для впливу на фізичне середовище. Датчик виробляє нові виміри і повторюється процес, таким чином, щоб завершити цикл керування зі зворотним зв'язком. Синхронізація для цієї повної операції здійснюється з допомогою годинника.

Проектувальник, перед яким стоїть завдання синтезу високоякісної системи в умовах значної невизначеності змушений шукати рішення в класі роботизованих систем. Методи синтезу систем управління припускають, що моделі об'єкта і регулятора відомі, і вони мають постійні параметри. Однак модель реальної фізичної системи завжди буде неточною з наступних причин:

- зміна параметрів в силу тих чи інших обставин;
- динамічні властивості, не враховані в моделі;
- не враховане запізнювання часу;
- зміна положення робочої точки (положення рівноваги);
- шум датчика;
- епередбачувані зовнішні обурення.

Метою синтезу роботизованої системи є гарантія необхідної якості незалежно від похибок і зміни параметрів моделі. Система, яка має допустимі зміни якості при зміні або неточності її моделі, називається роботизована.

Роботизована система керування має необхідну якість незважаючи на істотну невизначеність характеристик об'єкта керування.

Структура системи, яка включає потенційні невизначеності, зображена на рис. 13.10. Дана модель враховує шум датчика $N(8)$, непередбачуване заперечення $0(8)$ і об'єкт керування $0(8)$ з неврахованою динамікою або параметрами, схильними до зміни. Всі ці фактори можуть бути дуже значними, тому проблема полягає в тому, щоб система, яка синтезується, зберігала бажану якість.

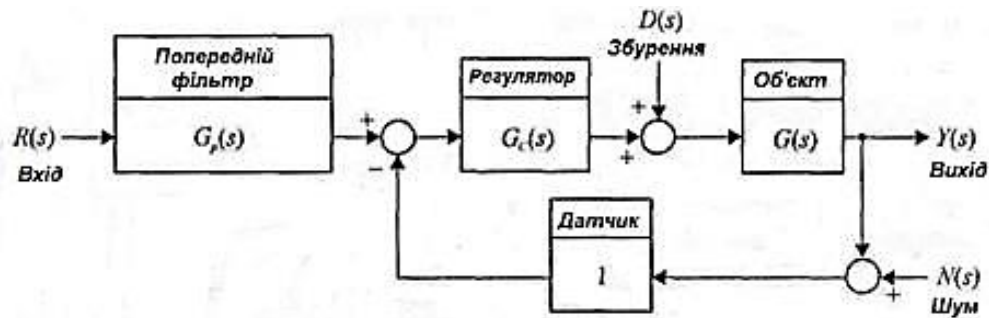


Рисунок 13.10 - Структура роботизованої системи керування

Роботизована система повинна (1) мати низьку чутливість, (2) зберігати стійкість і (3) задовольняти вимоги, що ставляться до її якості, у досить широкому діапазоні зміни параметрів. Суть терміну роботизованість полягає в чутливості системи до факторів, які не враховувалися на етапах аналізу і синтезу – наприклад, збурення, шум датчика, що впливає на її динаміку, які не показані в моделі системи параметрів. Система повинна мати здатність протидіяти впливу цих факторів при виконанні завдань, заради яких вона проектувалася.

Система керування позиціонуванням тунельного мікроскопа повинна бути точною до порядку нанометрів. Одним з основних її елементів є п'єзодатчик, який змінює свій розмір залежно від наданої напруги до кристалу. «Апаратура» тунельного мікроскопа забезпечується найтоншим вольфрамовим зондом, кінець якого заточений так, що він може складатися тільки з одного-єдиного атома і мати ширину 0,2 нм. п'єзoeлектрична система керування підводить кінець зонда до поверхні провідникового зразка на відстань одного-двох нанометрів – так близько, що електронні хмари атома на кінці зонда і найближчого до нього атома зразка частково перекриваються. Датчик зворотного зв'язку визначає зміну тунельного струму і перетворює його в напругу, яка використовується для керування переміщенням по осі z . П'єзoeлектричний керуючий пристрій переміщує зонд по вертикалі так, щоб стабілізувати тунельний струм і підтримувати постійним зазор між кінцем зонда і поверхнею зразка. Система керування положенням зонда зображена на рис. 13.11, (а), а її структурна схема приведена в частині (б) цього малюнка.

Всі системи автоматичного керування діляться за різними ознаками на такі основні класи.

1. За основними видами рівнянь динаміки процесів керування:
 - а) лінійні системи;
 - б) нелінійні системи.

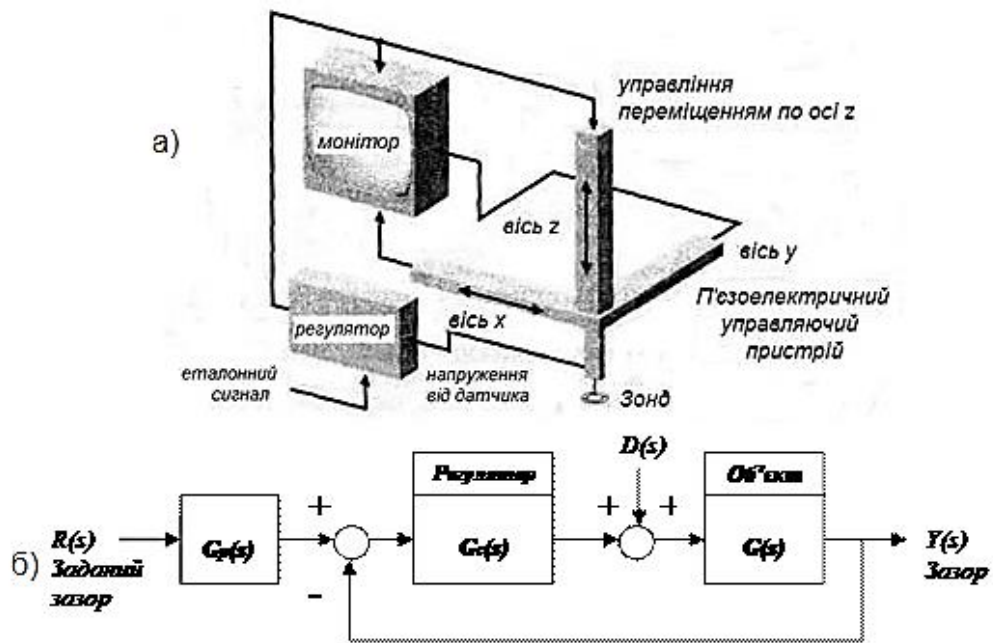


Рисунок 13.11 - Система керування тунельним мікроскопом (а), структурна схема (б)

2. Залежно від коефіцієнтів рівнянь і виду рівнянь як лінійні, так і нелінійні системи поділяються на:

- а) системи, які описуються звичайними диференціальними рівняннями з постійними коефіцієнтами;
- б) системи, які описуються звичайними диференціальними рівняннями зі змінними коефіцієнтами;
- в) системи, які описуються рівняннями окремих похідних;
- г) системи з запізненням, які описуються рівняннями з затримкою аргументу.

3. За характером виведення сигнали розрізняють:

- а) безперервні системи;
- б) дискретні системи, серед яких виділяють імпульсні, релейні, цифрові.

4. За характером процесів керування:

- а) детерміновані системи – системи з певними змінними і процесами;
- б) стохастичні системи – системи з випадковими змінними і процесами.

5. За характером функціонування.

Залежно від того, за яким законом змінюється задане значення регульованої величини, системи автоматичного керування поділяються на:

- а) системи стабілізації, які підтримують стабільність регульованої величини;
- б) системи програмного регулювання, в яких задане значення регульованої величини змінюється за певною, заздалегідь вибраною, тимчасовою програмою;

в) слідкуючі системи, в яких задане значення регульованої величини змінюється відповідно до стану деякого заданого вектора змінних у часі;

г) системи оптимального керування, в яких показник ефективності залежить не тільки від поточних значень координат, як в екстремальному регулюванні, але й, також, від характеру їх зміни в минулому, теперішньому і майбутньому, і виражається деяким функціоналом. Знаходження оптимального керування передбачає вирішування досить складної математичної задачі відповідними методами, крім того, органічною складовою частиною системи є комп'ютер;

д) адаптивні системи, в яких автоматично змінюються значення в зворотному напрямі, власні параметри або структура при непередбачених змінах зовнішніх умов на підставі аналізу стану або поведінки системи так, щоб зберігалася задана якість її роботи. Системи зі зміною заданого значення регульованої величини називають екстремальними, зі зміною параметрів – самоналаштуванням, зі зміною структури – самоорганізовані.

13.6 Електричний, гідравлічний та пневматичний приводи мехатронних систем

Приводи мехатронних пристроїв у значній мірі визначають динамічні характеристики маніпуляторів, їх – прискорення, швидкість руху РО, точність позиціонування та ін. Від типу й конструкції привода залежать експлуатаційні показники, габаритні розміри, споживання енергії, рівень шумів, можливість експлуатації мехатронних пристроїв у різних середовищах.

Існує ряд показників, за якими можна класифікувати приводи мехатронних пристроїв. Задачі створення досконалого, економічного та компактного електропривода присвячено багато спеціальної літератури; тому на загальновідомих положеннях зупинятися не будемо, а постараємося відзначити тільки ті специфічні особливості, які є характерними для мехатронних пристроїв та ПР. Доречно зазначити, що задача створення приводів для них має багато загального з задачею створення приводів для металорізних верстатів з ЧПК.

За видом використовуваної енергії приводи мехатронних пристроїв можна поділити на пневматичні, гідравлічні, електромеханічні, комбіновані та високочастотні (рис. 13.12).

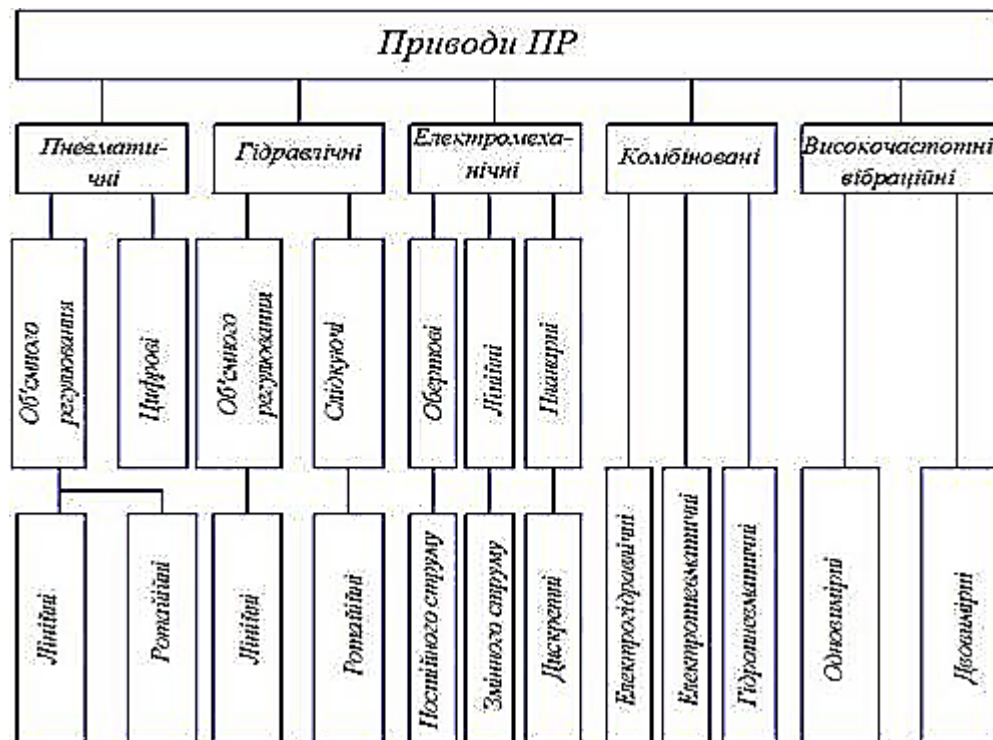


Рисунок 13.12 - Класифікація приводів мехатронних пристроїв та роботів з низкою специфічних особливостей та вимог, а саме:

1. Сучасні МП працюють з використанням великої кількості керованих координат (від трьох до семи) та складної кінематичної схеми, кожна з координат керується окремим приводом.
2. Для виконання заданої технологічної операції необхідно забезпечити групове керування приводами координат.
3. Особливе значення має задача забезпечення високої точності позиціонування МП по кожній координаті при напруженому динамічному режимі роботи та великій кількості кінематичних пар.
4. Широко змінюється діапазон навантажень привода з переважанням інерційних зусиль, що в значній мірі визначає вибір типу привода.
5. Приводи, зокрема виконавчі елементи їх, повинні мати мінімальні розміри та масу.
6. Приводи тривалий час мають працювати в нерухомому, загальмованому стані.
7. Потрібні великий ресурс роботи та висока надійність приводів при значних динамічних навантаженнях і безрегламентній експлуатації їх.

Одна з важливих характеристик привода ПР – принцип відліку його координат, який може бути відносним (за приростами). Ці поняття належать головним чином до дискретних приводів.

При виборі типу привода необхідно враховувати ряд різних факторів і обставин:

- характер навантаження на РО маніпулятора та його проміжні ланки;
- кінематичні характеристики маніпулятора, тобто його необхідні кутові та лінійні переміщення, швидкості, прискорення, закони руху РО, перехідні процеси розгону й гальмування;
- число точок і точність позиціонування (відтворення) криволінійної траєкторії, а також точність стабілізації контурної швидкості;
- умови експлуатації робота й насамперед характеристик навколишнього середовища – тиск повітря, температуру, вологість, пожежонебезпеку, забруднення, в тому числі механічні дії, необхідний ресурс, бажаний ККД та інші фактори.

Певних меж використання в ПР приводів різного типу не існує. Пневмоприводи краще застосовувати в простих роботах з цикловим керуванням і невеликою вантажністю (до 10 кг). У роботах середньої та великої вантажності, як правило, використовують гідропривод. Останнім часом усе частіше застосовується електромеханічний привод. Вибір типу привода багато в чому визначається існуючим – або припущеним до використання пристроєм керування ним.

Приводи перелічених вище типів широко застосовуються в різних галузях техніки. Проте використання приводів у мехатроніці зумовлено

Пневмоприводи мають обмежене використання в мехатронних пристроях, використовуються лише в ПР найпростіших конструкцій з цикловим пристроєм керування. Як показує статистика, 40–50 % усіх моделей ПР оснащено пневмоприводом. Вище відзначалось, що пневмопривод установлюється тільки в ПР невеликої вантажності (до 10 кг).

Основні переваги пневмоприводів ПР – це:

- простота та надійність конструкції їх;
- висока швидкість вихідної ланки (при лінійному переміщенні — до 1000 мм/с, при обертанні до 60 об/хв);
- використання стиснутого повітря як енергопередавального робочого тіла, що забезпечує екологічну чистоту всієї конструкції робота;
- можливість застосування стиснутого повітря заводської пневмомережі тиском 0,5–0,6 МПа;
- висока точність позиціонування при роботі по жорстких упорах;
- можливість використання в агресивному та пожежонебезпечному середовищах;
- високий ККД (до 0,8);
- простота компоновки елементів пневмопривода;

- низька вартість конструкції й малі витрати на обслуговування.

До недоліків, пневмоприводів ПР слід віднести:

- неможливість здійснення програмного переміщення без упорів (виключаючи цифрові пневмоприводи);
- нестабільність швидкості вихідної ланки при зміні навантаження (внаслідок стисливості повітря);
- обмеженість кількості точок позиціонування ПР (найчастіше дві точки) в приводах з цикловим керуванням;
- для збільшення кількості точок позиціонування ПР потрібні спеціальні конструкції позиціонуючих пристроїв;
- необхідність демпфування руху вихідної ланки привода в кінці ходу, оскільки при великих швидкостях його руху при підході до упорів можливі сильні удари РО робота по упорах;
- створення шуму при роботі ПР.

Аналіз і узагальнення досвіду, а також тенденцій створення МП вітчизняної та зарубіжної робототехніки показує, що все більше поширення дістають електромеханічні приводи МП. В останні роки такі приводи оснащуються високомоментними двигунами постійного струму, асинхронними двигунами з частотним керуванням, безколекторними двигунами постійного струму та силовими кроковими двигунами. Електроприводи цих типів забезпечують регулювання швидкості у великому діапазоні й мають добрі масогабаритні характеристики.

Особливостями електромеханічних приводів є розширений (до $0,05 \text{ Н} \times \text{м}$) діапазон малих моментів, підвищена (до $15\ 000 \text{ об/хв}$) максимальна частота обертання, зменшена інерція двигунів, можливість вмонтовування в двигуни електромагнітних гальм і різних датчиків, а також механічних і хвильових передач.

Основні достоїнства електромеханічних приводів такі:

- висока швидкодія;
- широкий діапазон регулювання частоти обертання;
- компактна конструкція двигунів, перетворювачів і можливість створення вмонтованих датчиків швидкості та положення;
- рівномірність обертання;
- високий крутний момент на максильній швидкості;
- висока надійність;
- висока точність позиціонування завдяки застосуванню цифрової вимірювальної системи з високоточними датчиками в колі 33;

- низькі рівні шуму та вібрації;
- висока можливість взаємозамінності двигунів;
- зручність підведення електроенергії (стандартними проводами).

До недоліків електромеханічних приводів слід віднести:

- наявність щіток у колекторах двигунів постійного струму;
- обмежене використання в вибухонебезпечних середовищах;
- наявність додаткового кінематичного ланцюга між двигуном і РО робота.

Основним елементом електромеханічних приводів, який безпосередньо перетворює електричну енергію в механічну, є електродвигун. Керують останнім найчастіше за допомогою відповідних перетворювальних і керуючих пристроїв, які формують статичні та динамічні характеристики привода, що відповідають вимогам відповідного і механізму. Мова йде не тільки про надання обертального чи поступального руху механізму або машині, але головним чином про забезпечення оптимального режиму роботи їх, при якому досягається найбільша продуктивність при високій точності.

За ступенем керованості електромеханічні приводи можуть бути:

нерегульованими – для приведення в рух виконавчого органа робочої машини з однією робочою швидкістю (параметри привода змінюються тільки внаслідок дії збурень);

регульованими – для надання змінної чи постійної швидкості виконавчому органу машини (параметри привода можуть змінюватися під дією керуючого пристрою);

програмно-керованими – керованими відповідно до заданої програми; сліdkуючими – такими, що автоматично відробляють переміщення виконавчого органа робочої машини з певною-точністю відповідно до задавальних сигналів, які змінюються довільно;

адаптивними – такими, що автоматично вибирають структуру та параметри СК при зміні умов роботи машини для досягнення оптимального за вибраними критеріями режиму.

Електромеханічні приводи можна класифікувати і за родом передаточного пристрою. В, цьому відношенні вони поділяються на: редукторні (електродвигун передає обертальний рух РО через редуктор); без редукторні (передавання руху від електродвигуна здійснюється чи безпосередньо РО, чи через передаточний пристрій, що не має редуктора).

За рівнем автоматизації розрізняють такі електромеханічні приводи: неавтоматизовані з ручним керуванням (такі приводи тепер зустрічаються рідко, переважно в установках малої потужності, побутовій та медичинській техніці

тощо); автоматизовані, керовані автоматичним регулятором параметрів; автоматичні, в яких керуюча дія виробляється автоматичним пристроєм без участі оператора.

Електромеханічні приводи двох останніх типів застосовуються найчастіше. При цьому розрізняють замкнений електромеханічний привод (охоплений 33) і розімкнений.

У структурній схемі замкненого автоматизованого електромеханічного привода (рис. 13.13, а) можна виділити три основні складові частини:

1) механічну, що включає РО і передаточний пристрій (редуктор), призначений для передавання механічної енергії електродвигуна виконавчому органу робочої машини для зміни виду та швидкості руху, а також зусилля (моменту обертання);

2) електродвигун, призначений для перетворення електричної енергії в механічну;

3) СК, що складається з силового перетворювача, пристрою керування, задавального пристрою та датчиків 33.

Силовий перетворювач призначений для живлення електродвигуна та створення керуючої дії на нього. Він перетворює рід струму, напругу чи частоту або змінює інші показники якості електроенергії, що підводиться до двигуна. Пристрій керування перетворювачем дістає командні сигнали від задавального пристрою, а інформацію про поточний стан електропривода та ТП – від датчиків 33, за допомогою яких струм, напруга, частота обертання, момент і положення (переміщення) РО перетворюються у відповідні електричні сигнали, які й подаються в пристрій керування. В ньому поточні стани привода та ТП порівнюються із заданими і при наявності непогодження виробляється керуючий сигнал, який діє через перетворювач на привод в напрямку усунення непогодження з потрібними точністю та швидкістю.

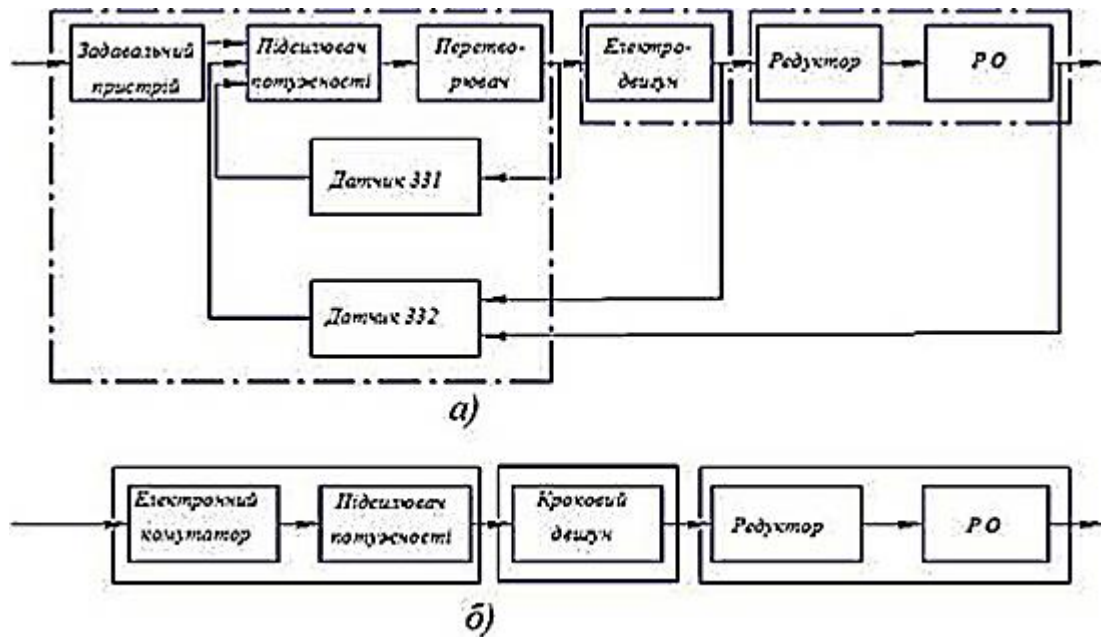


Рисунок 13.13 - Структурні схеми замкнутого (а) та розімкненого (б) автоматизованих електромеханічних приводів

У ПР досить часто застосовується автоматизований електромеханічний привод замкнутого типу з двигунами постійного струму.

У структурній схемі розімкненого електромеханічного привода (рис. 4.2, б) можна виділити три основні складові частини:

1) механічну, що включає РО і передавальний пристрій (редуктор), призначений для передавання механічної (енергії електропривода виконавчому органу робочої машини для зміни виду та швидкості його руху. В деяких випадках у механічну частину привода включають додатково гідропідсилювач моментів. Це роблять тоді, коли електродвигун має малу потужність. Однак такий електропривод слід вважати електрогідравлічним;

2) кроковий електродвигун;

3) СК, що складається з електронного комутатора, який перетворює вхідний сигнал у відповідну напругу, та підсилювача потужності, що забезпечує відповідний струм фази.

Розімкнений дискретний електромеханічний привод з різними типами крокових двигунів досить широко застосовується в ПР. Цей привод не має датчиків 33, що значно спрощує його структуру та функціональну схему. Крок двигуна можна вибрати досить малим. Тому дискретний електромеханічний привод відтворює всі види механічного руху, доступні неперервному приводу.

Відзначені особливості дають змогу визначити дискретний електромеханічний привод з кроковим двигуном як синхронно-імпульсний

слідкуючий привод, який поєднує в собі можливості глибокого частотного регулювання кутової швидкості (До нуля) з можливостями числового задання шляху РО.

Інші типи розімкнених електромеханічних приводів поки що в ПР застосування не знайшли.

Замкнений електромеханічний привод в останні роки все ширше використовують у ПР завдяки його очевидним перевагам перед іншими типами приводів.

Для роботи ПР потрібні малогабаритні електродвигуни потужністю 100 Вт – 2 кВт. За нашого часу створюються двигуни з друкованим ротором, гладким ротором і т. д. Дуже бажано мати в таких двигунах вмонтований датчик швидкості – тахогенератор, щоб дістати більш компактну конструкцію електромеханічного привода.

У приводі ПР можна встановлювати електродвигуни постійного струму серій ДП, ДПУ, ДК-1, ДК-2, ПБВ.

Особливої уваги заслуговує утворення ЗЗ в замкненому електромеханічному приводі. ЗЗ за швидкістю, як правило, здійснюють за допомогою тахогенератора, встановлюваного на валу електродвигуна. Наявність цього ЗЗ дає змогу стабілізувати його частоту обертання, а отже, й швидкість переміщення виконавчого органа робота. Схемні рішення такого електропривода докладно розглядаються в курсі «Електричний привод».

Аналіз і узагальнення даних про вітчизняні й зарубіжні ПР дають змогу зробити висновок про те, що гідравлічні й електрогідравлічні приводи використовуються приблизно в 30 % моделей роботів. Як правило, Гідроприводи застосовуються в ПР середньої, великої та надвеликої вантажності.

Велике поширення гідроприводів у робототехніці зумовлено такими достоїнствами їх:

- використанням як робоче тіло нестисливої рідини, що дає змогу здійснити керування ПР за заданою програмою, дістати високу стабільність швидкості його ланки при зміні навантаження в широких межах і високу точність позиціонування;

- безступінчастістю регулювання швидкості вихідної ланки ПР; великим коефіцієнтом підсилення за потужністю та великими зусиллями, що передаються;

- відносно малою масою виконавчих пристроїв;

- великим досвідом розробки та експлуатації в різних галузях техніки; широкою номенклатурою елементів гідропривода, що випускаються промисловістю.

До недоліків гідроприводів, у тому числі тих, які застосовуються в робототехнічних пристроях, слід віднести:

- використання як робочого тіла рідини, що потребує створення спеціальних насосно-акумуляторних установок (НАУ), причому для збереження мобільності й автономності ПР ці установки мають монтуватися в конструкції робота, а це різко збільшує його масу;

- використання в основному робочої рідини на нафтовій основі, що виключає можливість застосування ПР з таким приводом у вакуумі (космосі), пожежо- та вибухонебезпечному середовищах;

- обмеженість ресурсу робочої рідини, що призводить до частоті заміни всього об'єму рідини, фільтрів і т. д.;

- менше решти однакових умов значення ККД порівняно з пневмоприводами;

- застосування як робочого тіла різних масел, в'язкість яких залежить від температури, що потребує попереднього прогрівання всієї системи (крім того, зі зміною температури рідини при роботі гідропривода змінюється його швидкість);

- можливість підтікання сальникових ущільнень та інших пристроїв у процесі експлуатації гідропривода.

Основний виконавчий орган будь-якого гідропривода – гідроциліндр. У таких пристроях, як гідромотори, теж використовують гідроциліндри. Розміри їх вибирають на підставі статичного розрахунку, виходячи з прийнятого тиску, заданого технологічного навантаження, потрібної довжини ходу та максимальної швидкості руху гідроциліндра. При статичному розрахунку визначають також розміри перерізів трубопроводів для підведення й відведення робочої рідини, умовні переходи розподільних і регулювальних пристроїв, необхідні витрати робочої рідини.

Швидкодію, дійсні швидкості руху робочої рідини та зусилля, що розвиваються, встановлюють у ході динамічного розрахунку гідроциліндра.

При динамічному аналізі пристроїв неперервної дії насамперед цікавляться стійкістю та якістю перехідних процесів дискретних пристроїв, (до них належить поршень), які мають, як правило, більший запас стійкості. Основне ж значення для гідроциліндра мають динаміка процесів розгону та гальмування рухомих пристроїв його виконавчих органів при вмиканні й зупині їх, а також параметри

усталеного режиму руху цих органів і стабільність їх. Розв'язуючи диференціальні рівняння, що описують динаміку дискретних виконавчих органів, знаходять динамічні характеристики їх. Точні результати дістають при врахуванні всіх факторів, які впливають на характер руху виконавчих органів. Вирішальне значення при цьому має врахування зміни сил опору руху, тисків у порожнинах, а також витрат рідини в лініях її підведення та відведення.

На характер руху виконавчих органів гідроциліндра значно впливають апаратура керування та допоміжні пристрої. Звичайно ця апаратура включає (рис. 13.14): гідрозолотник 1, манометр 2, гідроаккумулятор 3 (його може не бути), регульований дросель 4, зливальний бак 5, зливальний трубопровід 6, забірний трубопровід 7, електродвигун 8 гідронасоса 9, регульований запобіжний клапан 10, масляний фільтр 11.

Вище відзначалось, що на динамічні характеристики гідравлічних виконавчих органів впливають апаратура керування та допоміжні пристрої, зокрема пневмогідравлічні акумулятори. Останні виконують дві функції:

1) забезпечують додаткове подавання робочої рідини в систему в ті моменти її роботи, коли споживання рідини різко зростає (наприклад, при одночасному вмиканні кількох виконавчих органів – приводів координат);

Тиск у робочій порожнині гідроциліндра та перепад тисків на його лінії, які визначають зусилля, що розвивається виконавчим органом, і швидкість переміщення поршня, – величини змінні, які залежать від навантаження K . на шток поршня, сил тертя та протитиску.

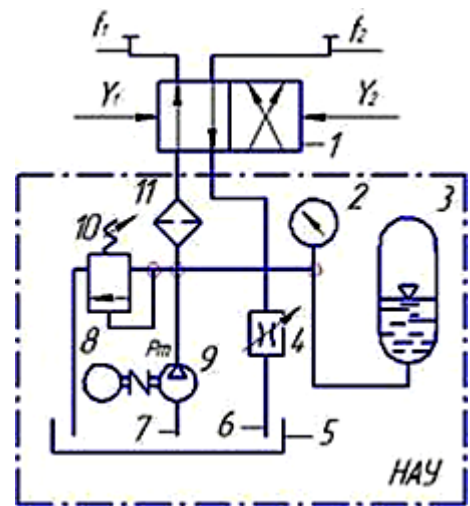


Рисунок 13.14 - Схема гідроциліндра двосторонньої дії з НАУ

13.7 Датчики мехатронних систем. Класифікація і характеристики

Датчик – це пристрій, що сприймає зовнішні впливи і реагує на них зміною електричних сигналів.

Термін зовнішні впливи широко використовується в цій книзі, тому його необхідно правильно сприймати. Під зовнішнім впливом розуміється кількісна характеристика об'єкта, його властивість чи якість, які необхідно сприйняти і перетворити в електричний сигнал. У деяких книгах для цих цілей

використовується термін вимірювана величина, що має аналогічне значення, проте в цьому терміні робиться акцент на кількісній характеристиці сенсорної функції.

Призначення датчиків – реакція на певну зовнішню фізичний вплив і перетворення його в електричний сигнал, сумісний з вимірювальними схемами. Іншими словами, можна сказати, що датчик – це перетворювач фізичної величини (часто неелектричної) в електричний сигнал. Під терміном електричний сигнал розуміється сигнал, який може бути перетворений за допомогою електронних пристроїв, наприклад, посилено або переданий по лінії передачі. Вихідними сигналами датчиків можуть бути напруга, струм або заряд, які описуються наступними характеристиками: амплітудою, частотою, фазою або цифровим кодом. Цей набір характеристик називається форматом вихідного сигналу. Таким чином, кожен датчик характеризується набором вхідних параметрів (будь-якої фізичної природи) і набором вихідних електричних параметрів.

Будь датчик є перетворювачем енергії. Незалежно від типу вимірюваної величини завжди відбувається передача енергії від досліджуваного об'єкта до датчика. Робота датчика – це особливий випадок передачі інформації, а будь-яка передача інформації пов'язана з передачею енергії. Очевидним є той факт, що передача енергії може проходити в двох напрямках, тобто вона може бути як позитивною, так і негативною, наприклад, енергія може передаватися від об'єкта до датчика, і, навпаки, від датчика до об'єкта. Особливим випадком є ситуація, при якій енергія дорівнює нулю, але і в цьому випадку відбувається передача інформації про існування саме такої особливої ситуації. Наприклад, інфрачервоний датчик температури виробляє позитивне напруга, коли об'єкт тепліше датчика (інфрачервоне випромінювання направлено в сторону датчика), або негативна напруга, коли об'єкт холодніше датчика (інфрачервоне випромінювання направлено від датчика на об'єкт). Коли датчик і об'єкт мають однакову температуру, інфрачервоний потік дорівнює нулю, і вихідна напруга також дорівнює нулю. У цій ситуації і поміщена інформація про рівність температур датчика і об'єкта.

Поняття датчик необхідно відрізнити від поняття перетворювач. Перетворювач конвертує один тип енергії в інший, тоді як датчик перетворює будь-який тип енергії зовнішнього впливу в електричний сигнал. Прикладом перетворювача може служити гучномовець, що конвертує електричний сигнал в змінне магнітне поле для подальшого формування акустичних хвиль. Тут мова не йде ні про яке сприйняття зовнішньої інформації. (Цікаво відзначити той факт,

що якщо гучномовець підключити до входу підсилювача, він буде працювати як мікрофон. У цьому випадку його можна назвати акустичним датчиком.) Перетворювачі можуть виконувати також функції приводів. Привід можна визначити як пристрій, протилежне датчику, оскільки він перетворює електричну енергію, як правило, в неелектричну енергію. Прикладом приводу є електричний мотор, що перетворює електричну енергію в механічну.

На рис. 13.15 показаний комплекс, що складається з комбінації різних датчиків, приводів і сигналізаторів, застосовуваний у корпорації МББап для підвищення безпеки автомобіля.

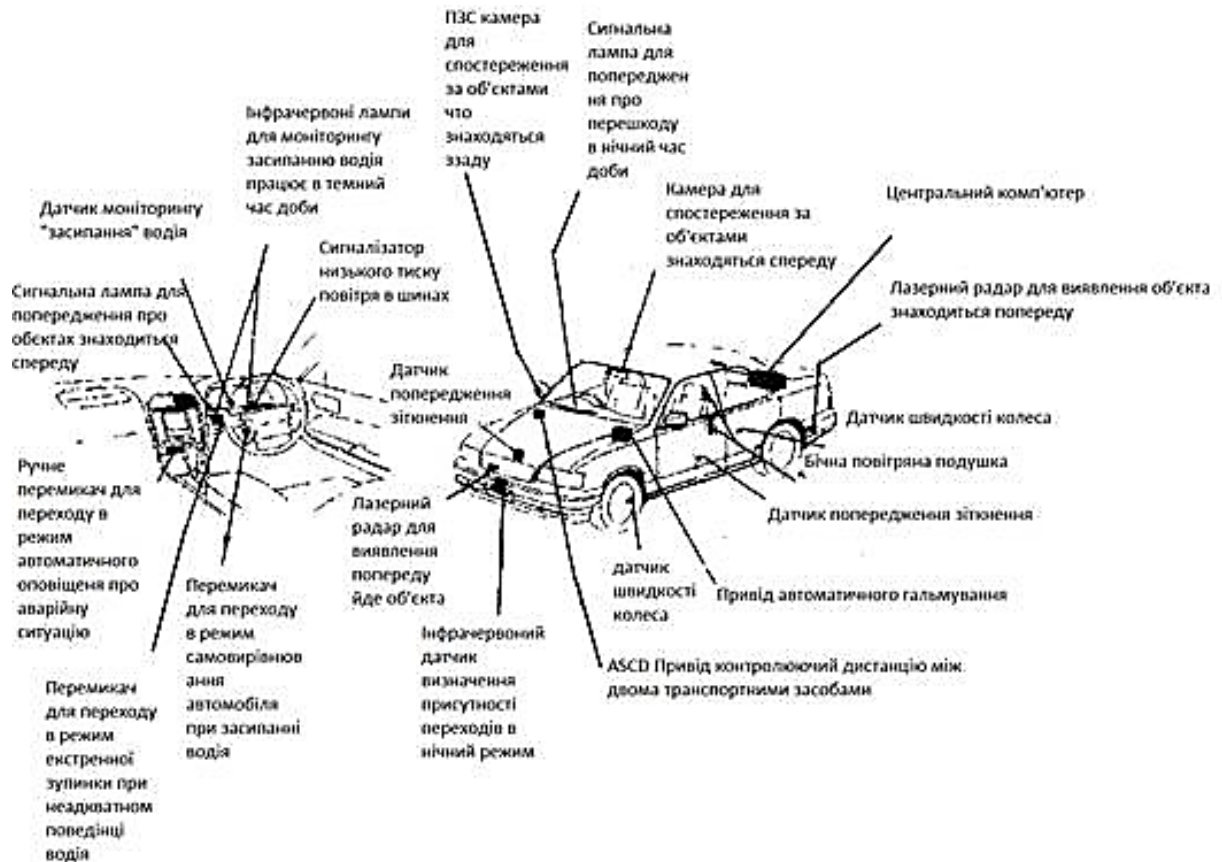


Рисунок 13.15- Система безпеки автомобіля (з дозволу Nissan Motor Company)

До його складу входять дві системи, що борються із засипанням водія за кермом автомобіля. Дія однієї з цих систем спрямоване на попередження водія, а інший – на вирівнювання курсу автомобіля. Для виконання цих функцій необхідні спеціальні датчики, роль яких можуть грати сенсори стеження за очним яблуком водія і детектори нахилу його голови. У систему видачі сигналу необхідності екстреного гальмування, побудовану на основі датчиків мікрохвильового, ультразвукового і інфрачервоного діапазонів, часто входить

пристрій випереджаючого включення індикаторів гальмування, що дозволяє заздалегідь попередити про небезпеку водіїв транспортних засобів, що їдуть позаду. До складу системи попередження про перешкоди входять інфрачервоні детектори та радар. Адаптивна система круїз-контролю починає працювати в момент, коли водій занадто наблизився до попереду йде транспортному засобу: при цьому швидкість автомобіля негайно знижується для забезпечення безпечної дистанції. Пристрій моніторингу пішоходів визначає присутність людей на дорозі в темний час доби і в зонах, закритих для огляду, і попереджає про це водія автомобіля. Система контролю смуги руху визначає ситуації, при яких відхилення автомобіля відбувається не з волі водія. При цьому система оповіщає водія про відхід зі смуги і автоматично вирівнює транспортний засіб.

Розрізняють три класи датчиків:

- аналогові датчики, тобто датчики, що виробляють аналоговий сигнал;
- цифрові датчики, що генерують послідовність імпульсів або двійкове слово;
- бінарні (двійні) датчики, які виробляють сигнал тільки двох рівнів: "включено/вимкнено" (інакше кажучи, 0 або 1).

13.8 Технологічні машини – гексаподи

Технологічні машини – гексаподи. Мехатронний підхід покладений в основу машин з концептуально новим принципом побудови – так званих гексапод. Ці технологічні машини (верстати, координатно-вимірювальні машини, роботи) мають стрижневу конструкцію і побудовані на мехатронних модулях лінійного руху, в основі їх конструктивної схеми лежить платформа Стюарта.

Машина-гексапод (рис. 13.16) виконана на базі шести ШВП 2 з відповідними датчиками переміщення і високомоментними двигунами, що здійснюють осьове переміщення гвинтів. Одним кінцем ШВП шарнірно сполучені з основою 1, а іншим – X, Y, Z та ω_z шарнірно з рухливою верхньою платформою 4, на якій розташований виконавчий орган – інструментальна головка 3. Інструментом можуть служити фрези, свердла, різці, шліфувальні круги, вимірювальні наконечники. Програмно переміщаючи гвинти, можна управляти положенням виконавчого органу: переміщати його у вертикальному і горизонтальному напрямках, повертати в трьох площинах.

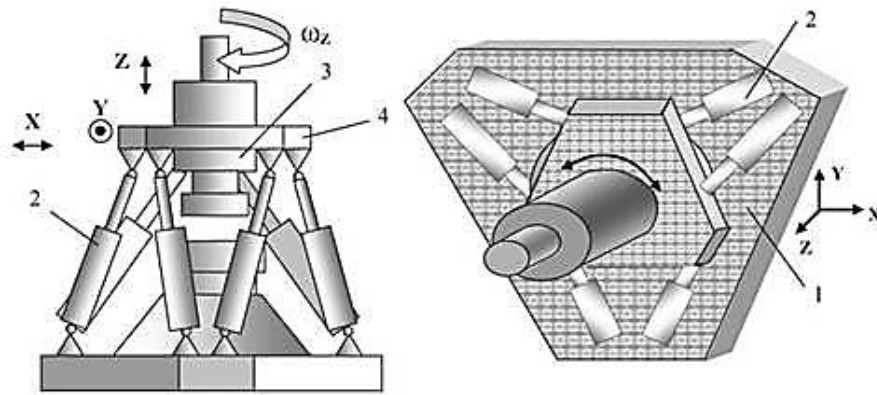


Рисунок 13.18 - Схема машини-гексапода

Основними перевагами гексаподних машин є:

- скорочення часу підготовки виробництва та підвищення його рентабельності за рахунок об'єднання обробних, розмічальних і вимірювальних функцій в єдиній мехатронній системі;
- висока точність вимірювань і обробки, яка забезпечується підвищеною жорсткістю стрижневих механізмів (до 5 разів), застосуванням прецизійних датчиків зворотного зв'язку і лазерних вимірювальних систем, використанням комп'ютерних методів корекції (наприклад, теплових впливів);
- підвищена швидкість рухів (швидкість швидких переміщень досягає 10 м / с, робочих рухів – до 2,5 м/с);
- відсутність направляючих (в якості несучих елементів конструкції використовуються приводні механізми), звідси поліпшені масогабаритні характеристики і матеріаломісткість;
- високий ступінь уніфікації мехатронних вузлів, що забезпечує технологічність виготовлення і збірки машини і конструктивну гнучкість;
- висока якість управління рухом завдяки малій інерційності механізмів, застосуванню лінійних мехатронних модулів руху як об'єктів управління, використання методів автоматизованої підготовки та виконання в реальному часі керуючих програм, наявності дружнього інтерфейсу «людина-машина».

Серед українських науковців, які займаються питаннями розробок машин-гексаподів, це НТУУ "КПІ" – завідувач кафедри конструювання верстатів та машин д.т.н., проф. В.Б. Струтинський та доцент кафедри конструювання верстатів та машин О.В. Литвин.

У 2003 р. був створений перший серійний верстат типу МПК – Гексамех-1 (рис. 13.17). Верстат призначений для обробки виробів складної просторової форми в авіакосмічній, автомобільній, суднобудівельній промисловості. Типові оброблювані вироби: балки, нервюри, лонжерони, панелі, ливарні і мастер-моделі, оснащення.

За конструкцією гексаподи бувають двох типів: координатно-вимірювальні машини (КВМ) і технологічні модулі (ТМ) для механообробки.

Технологічні модулі призначені для фасонної обробки з високою точністю виробів методами фрезерування, шліфування, свердління, полірування, а також для виконання операцій гравіювання, розточування, розмітки. Робоча зона гексапод-ТМ варіюється у різних моделей в діапазонах: по осі X – від 500 мм до 3000 мм, по осі Y – Від 400 мм до 1400 мм, по осі Z – від 350 мм до 750 мм. Максимальний кут повороту рухомої платформи щодо кожної з осей становить в серійних моделях 30 град, швидкість її руху управляється програмно в інтервалі 0,01–120 мм/с.

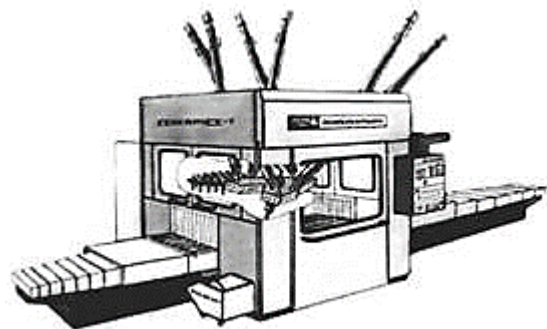


Рисунок 13.17 - Загальний вигляд гексапода моделі Гексамех-1

Гексаподи мають ефективні масогабаритні показники в порівнянні з верстатами традиційної компоновки. Так, ТМ-500 при габаритах 1800x1550x2300 мм має масу 2800 кг, а найбільш потужний ТМ-3000 має габарити 5000x3500x3800 мм при масі 6500 кг. На ТМ встановлюються мехатронні модулі типу «мотор-шпиндель» потужністю від 1,5 кВт до 5 кВт з регульованою частотою обертання в діапазонах 200–12000 об/хв, або 600–24000 об/хв.

Контрольно-вимірювальні машини виконують автоматичні вимірювання та контроль розмірів деталей (в тому числі легкодеформуючих виробів) від конструкторських або технологічних баз. Похибки вимірювань для КІМ-500 (машина базового виконання) не перевищують 0,8 мм (лінійні вимірювання, розмір $L = 300$ мм) і 1,5 мм для просторових вимірів ($L = 250$ мм). У машинах спеціального прецизійного виконання ці показники сягають відповідно 0,3 мм і 0,5 мм (при розмірах $L = 500$ мм). Вимірювання виконуються за допомогою спеціальної головки-щупа, оснащеної датчиками механічного або токового торкання. Контактне зусилля при струмовому торканні не перевищує 0,0003 Н, що дозволяє вимірювати податливі і дрібноструктурні деталі.

Подальший розвиток технологічних машин-гексапод пов'язане із застосуванням інтелектуальних лінійних мехатронних модулів, а також зі створенням ефективного математичного та програмного забезпечення для вирішення завдань планування та управління їх рухом у реальному часі (13.18).



Рисунок 13.18. - Різновиди машин гексаподів

Промослова машина-гексапод наведено на рис. 13.19.



Рисунок 13.19 - Промослова машина-гексапод

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна література

1. Технологія машинобудування: підручник / П. П. Мельничук, А.І. Боровик, П.А. Лінчевський. – Житомир: ЖДТУ, 2005. - 884 с.
2. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
3. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. за- кладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І.Грабченко, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 3-є вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ–2000, 2018. – 471 с.
4. Яковенко І. Е., Пермяков О. А., Фесенко А. В. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 – Прикладна механіка, 133 –Галузеве машинобудування / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, А.В. Фесенко – Харків: НТУ «ХПІ», 2022. – 421с.
5. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс]: навчальний по- сібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»; 133 «Галузеве машинобудування» / Ю. М. Малафєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. - Електронні текстові дані (1 файл: 6,71 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 201
6. Технологія машинобудування: підручник / П. П. Мельничук, А.І. Боровик, П.А. Лінчевський. – Житомир: ЖДТУ, 2005. - 884 с.
7. Буц Б. Д., Приходько В. Є., Ткачов Ю. В. Розрахунок режимів різання металів: Навч. посіб.-Д.: РВВ ДНУ, 2005.-76 с.

Допоміжна література

1. Марченко С. В. Технологія конструкційних матеріалів [Текст]: навч. посіб. С.В. Марченко, О.П. Гапонова, Т.П. Говорун, Н.А. Харченко. Суми: СумДУ, 2016. -146 с.
2. Системи автоматизованого програмування верстатів з ЧПК : навчальний посібник / С. Л. Міранцов, В. І. Тулупов, С. Г. Онищук, Ю. Б. Борисенко, Є. В. Мішура, О. С. Ковалевська – Краматорськ : ДДМА, 2011. – 152 с.

3. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Дерібо О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В. — Вінниця : ВНТУ, 2023. — 116 с.

4. Технологічні основи машинобудування: конспект лекцій для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / уклад.: С. Ю. Олійник, С. Г. Онищук, В. І. Тулупов. – Краматорськ: ДДМА, 2020. – 155 с.

Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Відеоурок: Конструкційні матеріали на металевій основі та їх технологічні властивості: https://www.youtube.com/watch?v=mOj8J_Ykzl0
2. Відеоурок: Технологія отримання та вдосконалення твердих сплавів: <https://www.youtube.com/watch?v=hyHjkUiGsEU>
3. Відеоурок: Основні частини і елементи токарного різця: https://www.youtube.com/watch?v=2BXr_2TYpBU
4. Відеоурок: Призначення та класифікація металообробних верстатів: <https://www.youtube.com/watch?v=xePKRHL0NkQ>
5. Відеоурок: Токарно-карусельний верстат 1516Ф3: <https://www.youtube.com/watch?v=s5eSvCgY8kM>,
<https://www.youtube.com/watch?v=4hTfT8uM5mM>
6. Відеоурок: Свердління і розсвердлювання наскрізних отворів: <https://www.youtube.com/watch?v=rKMqp6QzhGg>
7. Відеоурок: Протяжка шліців: <https://www.youtube.com/watch?v=MRo2VVC8T8I>
8. Відеоурок: Обробка шестерні на стругальном верстаті: https://www.youtube.com/shorts/zqexKXB_NhA
9. Відеоурок: Робота на зубодовбальному верстаті 5A122: <https://www.youtube.com/watch?v=9NZ1kiK8-hk>
10. Відеоурок: Верстат 5A122 , конструкція, робота в циклі, кінематика: <https://www.youtube.com/watch?v=6LVMhDFyhk4>
11. Відеоурок: Оснастка при зубообробці: <https://www.youtube.com/watch?v=LXL01DoNI3Q>

12. Відеоурок: Суперфінішування:
<https://www.youtube.com/watch?v=t8WjiYLIvTs>
<https://www.youtube.com/watch?v=dl6ltUlUqhg>
13. Відеоурок: Притирання:
<https://www.youtube.com/watch?v=8hixrxDpBE>,
<https://www.youtube.com/watch?v=sKt1rB0rjTU>
14. Відеоурок: Принцип роботи ультразвукового верстата:
<http://surl.li/aydmhf>
15. Відеоурок: Принцип електроконтактної обробки: <http://surl.li/vioqqm>
16. Відеоурок: Принцип електроконтактної обробки: <http://surl.li/hrxmup>
17. Відеоурок: Лазерна обробка - <http://surl.li/snpclw>
18. Електронно-променева обробка- <http://surl.li/zvqcsr>
19. Сайт дистанційної освіти ННІ УПА:
<https://moodle.karazin.ua/course/view.php?id=10368>

Електронне навчальне видання комбінованого використання
Можна використовувати в локальному та мережному режимі

Кондратюк Олег Леонідович

ОСНОВИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Конспект лекцій
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
денної та заочної форм здобуття освіти за спеціальностями
А5.34 «Професійна освіта (Машинобудування)»,
А5.38 «Професійна освіта (Транспорт)»

В авторській редакції

Підписано до розміщення .10.2025. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 6,79. Обсяг 7,267 Мб. Зам. № 361/25.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна