

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1 Загальні відомості про верстати.....	
§ 1.1 Основні означення в МРВ.....	
§ 1.2 Класифікація верстатів і підсистем. Розмірні ряди верстатів.....	
§ 1.3 Основні поняття про привод.....	
РОЗДІЛ 2 Формоутворення на верстатах.....	
§ 2.1 Утворення поверхонь деталей.....	
§ 2.2 Методи утворення продукуючих ліній.....	
§ 2.3 Класифікація рухів.....	
§ 2.4 Кінематичні зв'язки та структура у верстатах.....	
§ 2.5 Основи кінематичного налагодження верстатів.....	
РОЗДІЛ 3 Затилувальні роботи та затилувальні верстати.....	
§ 3.1 Зміст затилувальних робіт. Основні переміщення при затилуванні.....	
§ 3.2 Будова токарно-затилувального верстата 1E811 і кінематичне налагодження верстата 1811.....	
РОЗДІЛ 4 Верстати для обробки циліндричних та черв'ячних зубчастих коліс.....	
§ 4.1 Аналіз переміщення інструменту і заготовки при нарізанні зубчастих коліс на зубодовбальному верстаті.....	
§ 4.2 Кінематичне налагодження верстату моделі 5140.....	
§ 4.3 Аналіз переміщення інструменту і заготовки при нарізанні зубчастих коліс на зубофрезерному верстаті.....	
§ 4.4 Кінематичне налагодження зубофрезерного верстату моделі 5K324A	
§ 4.5 Зубофрезерний напівавтомат 53A20Ф4 з ЧПК.....	
§ 4.6 Аналіз переміщення інструменту та заготовки при фінішній обробці зубців циліндричних зубчастих коліс.....	
§ 4.7 Аналіз кінематики зубошліфувального верстата моделі 5B833.....	
РОЗДІЛ 5 Верстати для обробки конічних зубчастих коліс.....	
§ 5.1 Аналіз переміщення інструменту і заготовки при нарізанні конічних прямозубих коліс.....	
§ 5.2 Кінематичне налагодження зубостругального	

напівавтомату 5236П для нарізання конічних коліс з прямими зубцями.....	
§ 5.3 Аналіз переміщення інструменту і заготовки при нарізанні конічних зубчатих коліс з коловими зубцями.....	
§ 5.4 Кінематичне налагодження зуборізного верстата моделі 5С26В.....	
РОЗДІЛ 6 Верстати для обробки тіл обертання.....	
§ 6.1 Токарно-гвинторізні верстати, їх будова і особливості кінематичного налагодження.....	
§ 6.2 Кінематика токарно-гвинторізного верстата 16К20.....	
§ 6.3 Класифікація токарних автоматів і напівавтоматів.....	
§ 6.4 Особливості конструкції і налагодження багаторізцевого токарного напівавтомата 1Н713.....	
§ 6.5 Особливості конструкції і налагодження токарно-револьверного автомата 1Б140.....	
§ 6.6 Кінематика токарного патронно - центрового верстата моделі 16К20ФЗ.....	
РОЗДІЛ 7 Різьбооброблювані верстати.....	
§ 7.1 Особливості кінематики різьбонарізання.....	
§ 7.2 Кінематика різьбофрезерного верстату моделі 5М5Б62.....	
§ 7.3 Аналіз кінематики різьбошліфування.....	
§ 7.4 Кінематика універсального різьбошліфувального верстату моделі 5822М.....	
РОЗДІЛ 8 Верстати для обробки призматичних деталей.....	
§ 8.1 Різновидності верстатів для обробки призматичних деталей. Фрезерні верстати, їх компоновка.....	
§ 8.2 Кінематика верстата моделі 6Р13РФЗ.....	
§ 8.3 Кінематика верстата моделі МА655ФЗ.....	
§ 8.4 Багатоопераційні верстати. Верстат моделі 2623 ПМФ-4.....	
РОЗДІЛ 9 Верстати шліфувальної групи.....	
§ 9.1 Класифікація, призначення і особливості конструкції шліфувальних верстатів.....	
§ 9.2 Особливості обробки при безцентровому шліфування. Кінематика безцентрово-шліфувального верстата моделі 3М182.....	
ЛІТЕРАТУРА	

ВСТУП

Початок розвитку верстатобудування має давню історію і пов'язаний з необхідністю виготовлення знарядь праці. Ще з епохи неоліту (кам'яний вік – VIII – III тис. до н.е.) відомі пристрої для свердління отворів у кам'яних знаряддях праці. В цих пристроях інструмент обертався навколо власної осі, який згодом перетворився в абразивний у вигляді точильного каменю і отримував рух за допомогою рукоятки. На ньому обробляли як кам'яні, так і металеві вироби. Згодом, на початку н. е. привод вала таких пристроїв здійснювався кривошипом з педаллю.

В V ст. до н. е. збудовано верстат, в якому оберталась деталь, а інструмент залишався нерухомим і знаходився в руках майстра. Обертання деталі здійснювалося за допомогою лука, тяги якого була обведена навколо деталі. Такі верстати використовувалися єгиптянами, греками, римлянами.

В XIV ст. для руху тяги вже використовувався додатково педальний привід. Так був створений лучковий токарний верстат.

Перші фрезерні верстати були розроблені для нарізання зубчастих коліс і містили пристрій для фрезерування та поділу (відомий з XVI ст.) при обробці заготовки.

В XVII ст. був створений верстат для нарізання зубців часових коліс (І. Біон, Франція, Я. Лейпольд, Німеччина). Пізніше А.К. Нартов, токар Петра І, створив зуборізно-фрезерний верстат для виготовлення коліс різних механізмів.

Перший стругальний верстат був створений у Франції, в 1719 р., Де ла Гіром. Верстат мав педальний привод, рухомий у вертикальному напрямку стіл і нерухомий різець.

У 1751 р. французький механік Н. Фок створив стругальний верстат з нерухомим столом і рухомим різцем. Привод верстата здійснювався вручну за допомогою маховика.

У 1769 р. для розточки циліндрів парових машин Смітсон виготовив розточний верстат, який в 1775 р. удосконалив Уілкінсон, встановивши борштангу.

В цей період основний робочий процес у верстатах виконувала рука людини, що утримувала інструмент та й джерелом енергії приводу був працюючий майстер. Тому верстати того періоду були лише складним знаряддям праці, але не робочою машиною.

Промислова революція XVIII ст. викликала потребу у створенні значної кількості робочих машин з великою кількістю однотипових і точних деталей. Це стало причиною винаходу самохідного супорта (різцетримача). При цьому машини почали виготовлятися машинами і це визначило корінні зміни у виробництві техніки.

Першим задачу створення механізованого різцетримача розв'язав А.К. Нартов у 1729 р., хоча на той час потреби в ньому ще не було. Привод верстата А.К. Нартова ще залишався ручним.

У 1772 р. в "Енциклопедії" Дідро та Д'Аламбера з'явилося зображення хрестового супорта токарного верстата. Супорт міг обертатися навколо власної осі і наближатися до оброблюваної деталі, але ще не був механізованим.

В 1794 р. англієць Г. Модслі спричинив стрімкий розвиток верстатобудування, створивши механізований супорт до токарного верстата, в якому закріплений у двох каретках різець міг переміщуватися в поздовжньому та поперечному напрямках. Верстат міг працювати безперервно та виготовляти однаково точні деталі різних розмірів. Вже через три роки він же побудував токарний верстат з самохідним супортом, змінними шестернями в приводі і чавунною станиною, а також токарно-гвинторізний верстат.

Поштовхом до розвитку вітчизняного верстатобудування стало створення А.К. Нартовим ряду токарних верстатів: копіювально-токарних; для нарізання гвинтів; для обточування цапф гармат; для відрізання приростів після плавлення металу. Солдат Яків Батищев створив верстати для одночасної обробки 12 та 24 стволів рушниць. Самоучки Лев Собакін, Олексій Сурнін, Павло Захава та ін. збагатили техніку того часу верстатами нових типів. М.В. Ломоносов побудував сферно-токарний верстат для обробки металевих сферичних дзеркал. Перенесення ідеї використання супорта на інші види верстатів привело до появи їх нових конструкцій: стругального (Р. Робертс, 1817 р.); фрезерного (І. Уїтні, 1818 р., Д. Несміт, 1836 р.); токарно-гвинторізного автомата (Й. Вітворт, 1835 р.); карусельного (І.І. Бодлер, 1839 р.) Таким чином, в 40-х роках ХІХ ст. машинобудування було оснащено верстатами, що виконували найважливіші операції металообробки. Верстати приводились в рух трансмісіями від теплового двигуна Уатта.

Проблему точності виготовлення машин вдалося розв'язати завдяки розробці англійцем Й. Вітвертом принципів і методів точної обробки. Він винайшов першу вимірювальну машину, ввів калібри і основні положення стандартизації різьб, розробив пристрої, що вимірювали оброблювальні поверхні з точністю до сотих та тисячних долей міліметра.

В кінці ХІХ ст. в машинобудуванні відбулося зрушення в сторону автоматизації виробництва. Це спонукало до створення токарного автомата (Х. Спенсор, 1873 р.), пруткового напівавтомата (Джонсон, 1870 – 1890 рр.), автомата для нарізання різьб, свердління отворів і фрезерування системи "Клівленд", багатопшпіндельного автомата та ін. Крім того, широко почали

використовуватися спеціальні верстати, що виконують одну операцію, а також верстати з індивідуальним електроприводом, який забезпечив електричну автоматизацію робочого процесу. Все це привело до бурхливого розвитку машинобудування, обсяг продукції якого з 70-х років XIX ст. до початку першої світової війни зріс в 5,5 разу. Майже 89% світової продукції випускалося в США, Англії та Німеччині.

На початку XX ст. в царській Росії верстати випускалися всього на сорока підприємствах, більша частина яких (біля 30) були кустарними майстернями з чисельністю працюючих 40...100 чоловік.

Після революції, в 1925 році, був прийнятий план індустріалізації країни, який передбачав створення потужних вітчизняних підприємств верстатобудування. Перше підприємство побудовано в Москві – завод ім. С. Орджонікідзе (1932 р.), а в 1934 р. почав випуск продукції Московський завод "Станкоконструкция", в 1935 р. – Тбіліський верстатобудівний завод. На Україні першим було побудовано завод верстатів-автоматів у Києві в 1936 р. та Краматорську (1939) – завод важкого верстатобудування.

Для проведення системних наукових досліджень і розробки типу верстатного обладнання в 1939 р. створено ЭНИМС (Москва).

Перед Великою Вітчизняною війною (1940р.) було освоєно двісті два типорозміри металорізальних верстатів (МРВ). В 1937 р. у вітчизняному верстатобудуванні був завершений перехід на індивідуальний електропривод, що на той час стало великим технічним досягненням.

Після війни верстатобудування розвивалося стрімкими темпами. Побудовано заводи в Одесі, Бердичеві, Житомирі і в інших містах України.

Успішному розвитку верстатобудування сприяла велика науково-дослідна робота вчених, інженерів та новаторів виробництва.

Засновником курсу "Кінематика верстатів" є професор Г.М. Головін. Ним розроблені теоретичні основи аналізу кінематики верстатів, розв'язані задачі налагодження гвинторізних, ділильних та диференційних ланцюгів, встановлений єдиний закон кінематичного налагодження.

Під керівництвом академіка В.І. Дикушина було розроблено теоретичні основи агрегування, які реалізовані у багатошпиндельних агрегатних верстатах і в автоматичних лініях для обробки корпусних деталей (агрегатні верстати були вперше виготовлені в Німеччині в кінці 20-х років XX ст.).

Підвищення потужності і швидкості МРВ вимагало забезпечення їх жорсткості і вібронестійкості. В роботах К.В. Вотінова та ін. розроблено питання підвищення жорсткості верстатів за рахунок конструктивних та технологічних заходів.

Великий внесок у розвиток верстатобудування зробив професор Д.Н. Решетов, за участю і керівництвом якого розроблено методики розра-

хунку конструкції МРВ і проведені розрахунки по динаміці привода, зокрема по вібрації верстатів.

Професори Ачеркан та Ігнат'єв розробили важливі положення про регульований головний привод верстатів.

В кінці 60-70-х рр. ХХ ст. отримали розвиток методи електрофізичної, електрохімічної обробки надміцних та жаростійких матеріалів. З'явилися перші промислові роботи і маніпулятори. Особливо великі зміни в машинобудуванні почалися в 70-80-х рр. ХХ ст. в зв'язку з розвитком напівпровідникової електроніки та використання її для керування і автоматизації верстатів і промислових роботів. Були створені системи з числовим програмним керуванням (ЧПК). Мікропроцесорні пристрої керування перетворили верстат у верстатний модуль, який підвищує гнучкість та універсальність з високим рівнем автоматизації. Верстатний модуль спроможний забезпечити обробку заготовок широкої номенклатури в автоматичному режимі. Для обробки корпусних деталей з'явилися багатоцільові автоматичні верстати з інструментальними магазинами і пристроями ЧПК (оброблювальні центри).

Використання гнучких виробничих систем (ГВС), основу яких складають верстати з ЧПК і промислові роботи, дає можливість при багатомоделному виробництві стимулювати підвищення техніко-економічних показників, а також здійснити швидкий перехід до нових видів продукції.

Сучасне верстатне обладнання забезпечує підвищення швидкостей робочого та допоміжних рухів з підвищенням потужності привода головного руху. Надійність верстатів підвищується завдяки широкому використанню нових засобів контролю та вимірювань і систем діагностування.

Застосування нових композиційних матеріалів для ріжучих інструментів дозволяє реалізувати швидкість різання до 1,5...2 км/хв, а швидкість подач – 20...30 м/хв.

Технічне і організаційне переоснащення галузей машинобудування тісно пов'язане з удосконаленням технології обробки, створення нових МРВ з мікропроцесорним керуванням, верстатних модулів для гнучких виробничих систем.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВЕРСТАТИ

§ 1.1 Основні означення в МРВ

Металорізальний верстат – це машина для розмірної обробки заготовок, в основному, шляхом зняття стружки. Обробці підлягають заготовки як з металу, так і з інших матеріалів. До верстатів також відноситься обладнання, в яких використовуються електрофізичні і електрохімічні методи обробки, сфокусований електронний або лазерний промінь, пластичне деформування.

Верстат потрібно розглядати як складну систему, в якій поєднуються декілька функціональних підсистем (рис. 1.1).

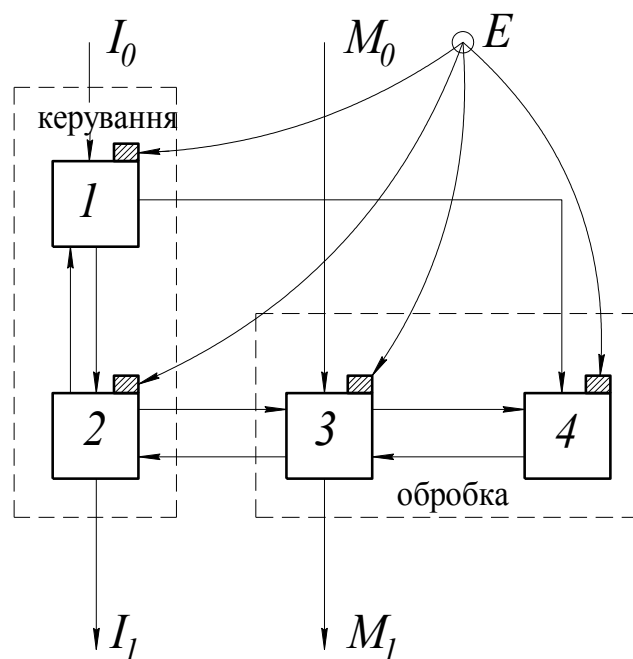


Рисунок 1.1 – Структурна схема верстата:

I_0 – вхідна інформація; I_1 — вихідна інформація;

M_0 – заготовка; M_1 – виріб; E – енергія.

Підсистема керування (1) на підставі вхідної зовнішньої інформації I_0 і додаткової внутрішньої поточної інформації від контрольно-вимірювальних пристроїв забезпечує функціонування всіх інших підсистем відповідно до поставленої задачі.

Вхідна інформація – це креслення, маршрутна технологія чи заздалегідь підготовлена керувальна програма.

Підсистема контролю (2) за допомогою датчиків збирає і постачає поточною інформацією підсистему керування.

Підсистема маніпулювання (3) забезпечує доставку заготовок M_0 до місця обробки, їх затискання в заданому положенні, переміщення до місця контролю і вимірювання, виведення готових виробів M_1 , з робочої зони верстата. Таким чином підсистема маніпулювання забезпечує проходження потоку матеріалу M_0 через робочу зону верстата в процесі обробки. Крім того, підсистема маніпулювання здійснює зміну ріжучого інструмента, пристосувань.

Підсистема обробки (4) забезпечує з необхідною точністю переміщення заготовки і інструмента, а також необхідну швидкість цих переміщень. Підсистема обробки сприймає зусилля, які виникають під час технологічного процесу.

Конструктивно верстат поділяється на декілька складових, що називаються вузлами (рис. 1.2).

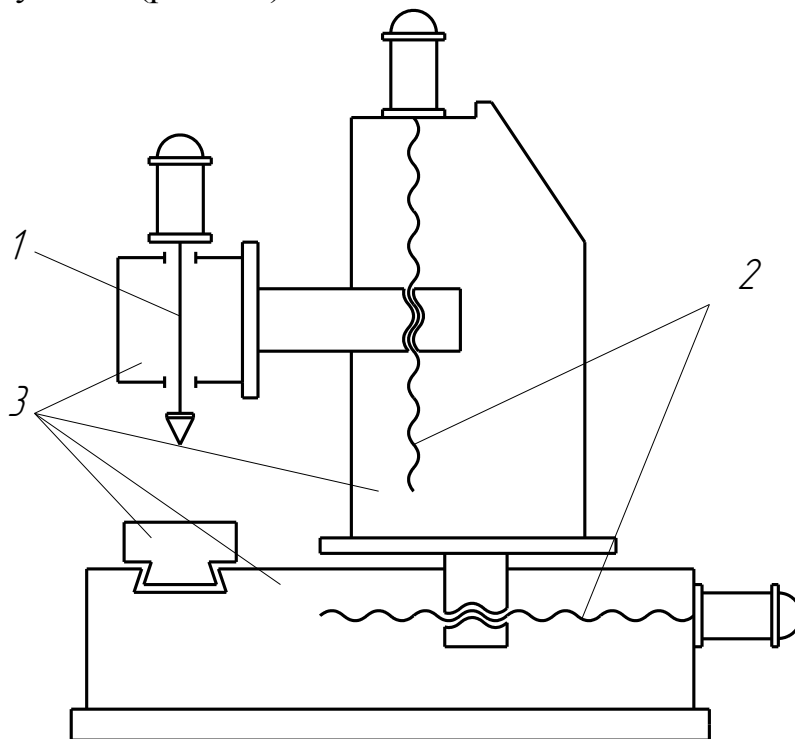


Рисунок 1.2 – Основні вузли (складальні одиниці) верстата: 1 – головний привод; 2 – приводи подач; 3 – базові вузли.

Головний привод верстата (1) надає руху інструменту або заготовці для здійснення процесу різання з відповідною швидкістю. У більшості верстатів головний привод надає оберտального руху шпинделю, в якому закріплено заготовку чи різальний інструмент.

Привод подачі (2) необхідний для переміщення інструмента відносно заготовки з метою формування поверхні, яку обробляють. У більшості верстатів привод подачі надає вузлу верстата прямолінійного руху. Поєднанням декількох прямолінійних, а інколи і обертальних, рухів можна отримати будь-яку просторову траєкторію.

Привод позиціювання потрібен для переміщення того чи іншого вузла верстата з деякої вихідної позиції в іншу задану, наприклад, при послідовній обробці декількох отворів на одній тій самій заготовці.

В багатьох верстатах з ЧПК функції приводу позиціювання та подач суміщено в одному приводі.

Несуча система верстата (3) складається з послідовно з'єднаних між собою базових деталей. З'єднання можуть бути нерухомими (стики) і рухомими (напрямні). Несуча система забезпечує необхідне взаємне розташування ріжучого інструмента і заготовки під дією силових і температурних факторів.

Маніпулювальні пристрої необхідні для автоматизації різних допоміжних рухів у верстатах для зміни заготовок, їх затискання, переміщення і повороту, зміни інструмента, вилучення стружки. До маніпулювальних пристроїв відносять поворотні пристрої, промислові роботи (ПР), транспортери, тощо.

Контрольні і вимірювальні пристрої необхідні у верстаті для автоматизації спостереження за правильним функціонуванням всіх його вузлів.

Пристрої керування можуть бути з ручним обслуговуванням оператором, а також з механічною системою керування від ЧПК. Наразі широко впроваджуються *мікропроцесорні* пристрої ЧПК для керування всіма видами верстатного обладнання.

§ 1.2 Класифікація верстатів і підсистем. Розмірні ряди верстатів

Залежно від цільового призначення верстата, відповідних технологічних операцій, що виконуються на ньому, і різального інструмента верстата поділяються на окремі типи. Верстат, що є представником розмірного ряду і має конкретні параметри, характеризує собою *типорозмір*, який, у свою чергу, може мати різні конструктивні виконання. Конкретна конструкція верстата даного типорозміру, що спроектована для заданих умов обробки, визначатиме його *модель*.

Класифікація верстатів за технологічними ознаками наведена в табл. 1, згідно з якою верстати розділені на 9 груп і 9 типів. В *літеро-цифровій класифікації* кожному верстату серійного виробництва надається шифр

Таблиця 1 – Класифікація металорізальних верстатів

Найменування	Група	Тип								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
Токарні	1	Спеціалізовані	Одношпиндельні	Багатошпиндельні	Револьверні	Свердильно-відрізні	Карусельні	Токарні і лобові	Багато-різцеві	Спеціалізовані
Свердильні і розточні	2	–	Вертикально-свердильні	Одношпиндельні	Багатошпиндельні напівавтомати	Координаторозточні	Радіально-свердильні	Розточні	Алмазно-розточні	Горизонтально-свердильні центрові
Шліфувальні, полірувальні, доводжувальні, заточні	3	–	Круглошліфувальні	Внутрішньо-шліфувальні	Обдирувальні шліфувальні	Спеціалізовані шліфувальні	–	Заточні	Плоскошліфувальні	Притирочні і полірувальні
Комбіновані і фізико-хімічної обробки	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Зубо- і різьбообробляювальні	5	Різьбо-нарізні	Зубостругальні для циліндричних коліс	Зуборізні для конічних коліс	Зубофрезерні для циліндричних коліс і шлі-цьових валків	Для нарізання черв'ячних коліс	Для обробки торців зубців коліс	Різьбо-фрезерні	–	Зубо- і різьбошліфувальні
Фрезерні	6	–	Вертикально-фрезерні консольні	Фрезерні неперервної дії	–	Копіювальні і гравірувальні	Вертикальні безконсольні	Поздовжні	Широкоуніверсальні	Горизонтально-фрезерні консольні
Стругальні, довбальні, протяжні	7	–	Поздовжні односторонні	Поздовжні двосторонні	Поперечно стругальні	Довбальні	Протяжні горизонтальні	–	Протяжні вертикальні	–
Розрізні	8	–	різцем	абразивним кругом	гладким або насичним	Відрізні, працюючі:	Пилки	дискові	ножовочні	–
Різні	9	–	Муфто- і трубообробні	Пилонасічувальні	Безцентрово-обдирувальні	Для виробування інструментів	–	Ділильні машини	Балансувачі	–

(індекс) – умовне позначення типу і моделі. Він утворюється з кількох цифр і літер. Перша цифра вказує групу, друга – тип, третя і четверта характеризують один з найважливіших розмірів верстата чи оброблюваної деталі. При *модернізації* в індекс верстата вводять літеру між першою і другою цифрами. Наприклад, шифр 2150 позначає вертикально-свердлильний верстат, з найбільшим діаметром свердління деталей зі сталі 50 мм. Після *модернізації* верстату присвоєно індекс 2A150, що відрізняє його нову модель від попередньої. *Модифікацію* базової моделі позначають будь-якою літерою наприкінці шифру, наприклад, 6H12 – позначення вертикально-фрезерного верстата, а 6H12K – копіювально-фрезерного, створеного на базі верстата попередньої моделі. Шифр *спеціальних і спеціалізованих* верстатів утворюється шляхом додання до шифру заводу порядкового номера моделі, наприклад, E3-9 – шифр спеціального верстата для нарізання зуборізних рейок, що випускається Єгор'євським верстатобудівним заводом «Комсомолец». Для верстатів з ЧПК додають ще літеру і цифру. Наприклад, у верстаті 16K20ПФ3 останні літеро-цифрові позначення вказують на наявність у верстаті *контурного керування за трьома координатами*.

Окрім вказаних верстатів в останні роки отримали широке використання верстати, на яких виконують різні операції за допомогою автоматичної зміни інструмента. Вони отримали назву *багатоопераційні* або *оброблювальні центри*.

Для виготовлення широкої номенклатури виробів, які випускаються невеликими партіями в умовах дрібносерійного чи серійного виробництва, доцільно використовувати *універсальні верстати*. Ці верстати при оснащенні ЧПК вимагають від оператора тільки окремих функцій маніпулювання та контролю. При цьому один оператор може обслуговувати декілька верстатів.

Спеціалізовані верстати призначені для обробки заготовок досить вузької номенклатури. Прикладом таких верстатів є токарний верстат для обробки колінчастих валів або різьбонарізний верстат. Спеціалізовані верстати повинні мати високу ступінь автоматизації і їх, як правило, використовують в великосерійному виробництві.

В умовах великосерійного виробництва використовують і *спеціальні* верстати, що призначені для обробки однієї чи декількох майже однакових деталей.

За допомогою верстатів з ЧПК та промислових роботів або маніпуляторів і відповідних контрольно-вимірювальних пристроїв утворюють автоматизовану універсальну технологічну одиницю, що носить назву *гнучкий виробничий модуль*.

Для створення *автоматичної лінії* використовують верстати-автомати, які розташовуються послідовно відповідно до технологічного процесу оброб-

ки і пов'язані між собою загальним транспортом та керуванням.

Верстати найпоширеніших технологічних груп утворюють *розмірні ряди*, в яких за кожним верстатом закріплено певний діапазон розмірів оброблюваних деталей.

Технологічні можливості верстата характеризуються *робочим простором*. Так, в групі токарних верстатів його технологічні можливості визначаються робочим простором у вигляді циліндра, вісь якого співпадає з віссю центрів, а в багатоопераційному - прямокутним робочим простором.

За основним розміром робочого простору чи геометричними розмірами верстата, наприклад, максимальним діаметром – для токарних верстатів, габаритними розмірами столів – для фрезерних і багатоопераційних верстатів, найбільшим ходом повзуна – для поперечно-стругальних і довбальних верстатів встановлюють ряд стандартних значень. *Розмірним рядом* називають групу однотипних верстатів, подібних за кінематичною схемою, конструкцією, зовнішнім виглядом, але з різними основними параметрами, що мають відповідні розміри. Так, для токарних верстатів співвідношення між величинами яких підпорядковано знаменнику ряду ϕ і для $\phi = 1,25$, ряд стандартних розмірів робочого простору має значення 200, 250, 320, ..., 4000 мм.

Конструкція верстатів розмірного ряду складається, в основному, з уніфікованих вузлів і деталей, однакових чи подібних. Це полегшує проектування, виготовлення й експлуатацію верстатів, здешевлює їхнє виробництво. Конструктивна схожість моделей і широка міжрозмірна уніфікація дають можливість при дрібносерійному виробництві верстатів організувати великосерійне, а в ряді випадків – масове виробництво їхніх вузлів і деталей.

Верстати *за вагою* поділяються на *легкі* (до 1 тонни), *середні* (до 10 тонн), *важкі* (понад 10 тонн).

За ступенем точності розрізняють верстати п'яти класів: нормальної – Н; підвищеної – П; високої – В; особливо високої – А; особливої – С.

§ 1.3 Основні поняття про привод

Сукупність пристроїв, що приводять у дію робочі органи металорізальних верстатів із зміною параметрів руху, називають *приводом*. Він складається з двигуна і механізмів, що передають рух робочим органам.


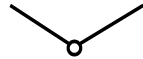
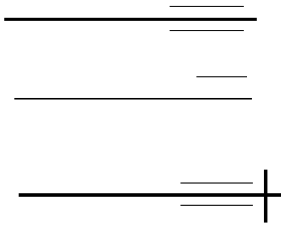
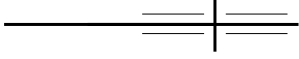
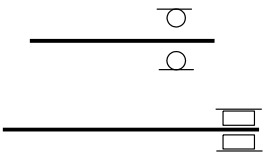
Найчастіше застосовують одношвидкісні асинхронні електродвигуни змінного струму з короткозамкнутим ротором. Ці двигуни мають жорстку механічну характеристику, а тому забезпечують сталість потужності у всьому діапазоні швидкостей при незначній зміні частоти обертання вала під

навантаженням. Не часто застосовують дво- і тришвидкісні електродвигуни. Електродвигуни постійного струму використовують в приводах важких і деяких середніх верстатів, в промислових роботах. Отримали поширення тиристорні приводи постійного струму, що мають малі розміри, велику надійність і низьку вартість, а також крокові двигуни, швидкодія яких досягає 18000 Гц. При здійсненні допоміжних рухів нерідко використовують електромагніти (соленоїди). Широкого поширення в металорізальних верстатах набув гідравлічний привод.

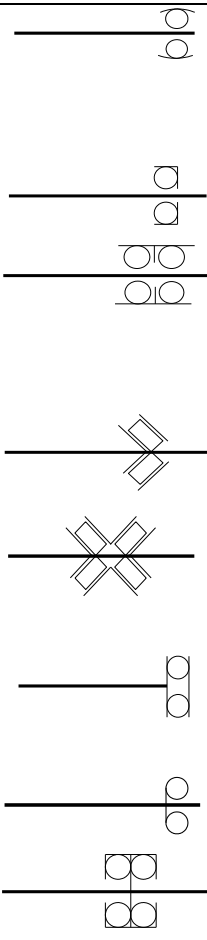
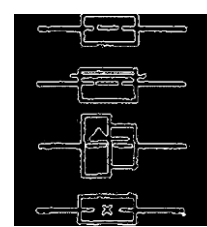
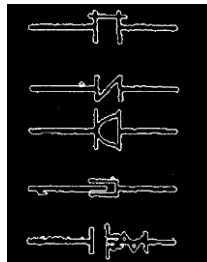
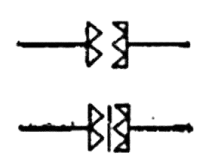
Як правило, вал електродвигуна і ведучий вал привода зв'язують між собою з'єднувальною муфтою чи однією з передач - пасовою чи зубчастою.

Рух інструмента і заготовок здійснюється робочими чи виконавчими органами верстата. Рух передається за допомогою *кінематичних ланцюгів*, що складаються з окремих передач (механічних пристроїв) – пасових, зубчастих, черв'ячних, кулачкових, гвинтових і т.д. Умовне зображення кінематичних пар, з'єднаних у певній послідовності в кінематичні ланцюги, називається *кінематичною схемою*. В табл. 2 наведено умовні зображення деталей і вузлів металорізальних верстатів згідно з ГОСТ 2.770 – 68; 2.780 – 68; 2.781 – 68; і 2.782 – 68, що використовуються в кінематичних схемах верстатів.

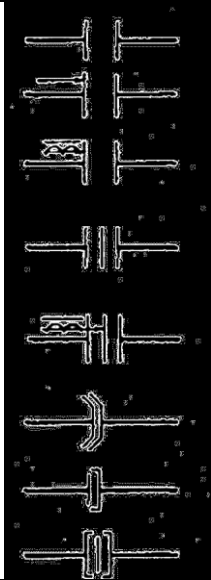
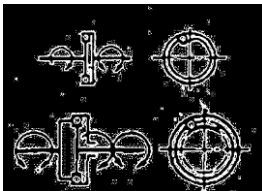
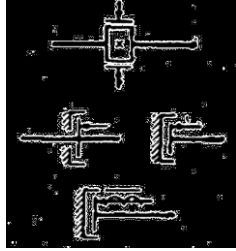
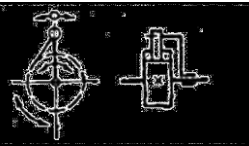

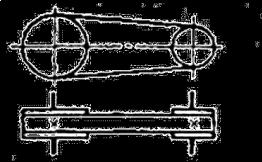
Таблиця 2 – Умовні зображення деталей і вузлів металорізальних верстатів

НАЙМЕНУВАННЯ	ПОЗНАЧЕННЯ
1	2
1. Вал, валик, вісь, стержень, шатун і т.п.	
2. Шарнірне з'єднання стержнів	
3. Підшипники ковзання і кочення (без уточнення типу) а) радіальний б) радіально-упорний: односторонній двосторонній	
4. Радіальний підшипник ковзання	
5. Підшипники кочення: а) радіальний (загальне позначення) б) радіальний роликовий	

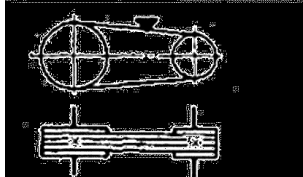
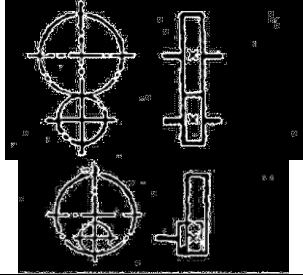
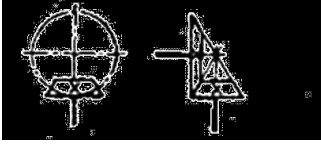
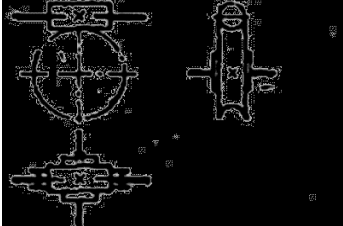
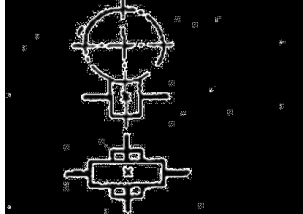
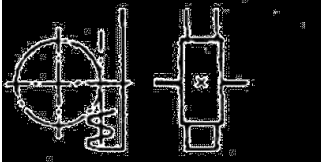
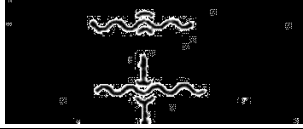

Продовження табл. 2

1	2
<p>в) радіальний самоустановлювальний</p> <p>г) радіально-упорні (загальне позначення):</p> <p>односторонній</p> <p>двосторонній</p> <p>д) радіально-упорні роликів:</p> <p>односторонні</p> <p>двосторонні</p> <p>е) упорні:</p> <p>одинарні</p> <p>подвійні</p>	
<p>6. З'єднання деталі з валом:</p> <p>а) вільне при обертанні</p> <p>б) рухливе без обертання</p> <p>в) за допомогою витяжної шпонки</p> <p>г) глухе</p>	
<p>7. З'єднання двох валів:</p> <p>а) глухе</p> <p>б) еластичне</p> <p>в) шарнірне</p> <p>г) телескопічне</p> <p>д) запобіжною муфтою</p>	
<p>8. Муфти зчеплення кулачкові (зубчасті):</p> <p>а) однобічні</p> <p>б) двосторонні</p>	

Продовження табл. 2

1	2
<p>9. Муфти зчеплення фрикційні:</p> <p>а) загальне позначення (без уточнення типу)</p> <p>б) односторонні (загальне позначення)</p> <p>в) односторонні електромагнітні (загальне позначення)</p> <p>г) двосторонні електромагнітні (загальне позначення)</p> <p>д) двосторонні електромагнітні (загальне позначення)</p> <p>е) конусні односторонні</p> <p>ж) дискові односторонні</p> <p>з) дискові двосторонні</p>	
<p>10. Муфти обгону, що самовимикаються:</p> <p>а) односторонні</p> <p>б) двосторонні</p>	
<p>11. Гальма:</p> <p>а) стрічкові</p> <p>б) дискові</p> <p>в) дискові електромагнітні</p>	
<p>12. Храпові зубцюваті механізми з зовнішнім зачепленням двосторонні</p>	
<p>13. Шків східчастий, закріплений на валу</p>	
<p>14. Передачі плоским ременем відкриті</p>	

Продовження табл. 2

1	2
15. Передачі клиноподібним ременем	
16. Передачі зубцюваті (циліндричні): а) зовнішнє зачеплення (загальне позначення без уточнення типу зубів) б) внутрішнє зачеплення	
17. Передачі зубчасті (конічні) без уточнення типу зубів	
18. Передачі зубчасті черв'ячні з циліндричним черв'яком	
19. Передачі зубчасті (гвинтові)	
20. Передачі зубчасті (рейкові) без уточнення типу зубів	
21. Гайка на гвинті, що передає рух: а) не рознімна б) роз'ємна	
22. Електродвигуни: а) загальне позначення б) n електродвигунів	





Продовження табл. 2

1	2
23. Насос постійної продуктивності: а) з постійним напрямком потоку б) з реверсивним потоком	
24. Насос з регульованою продуктивністю: а) з постійним напрямком потоку б) з реверсивним потоком	
25. Гідромотор (загальне позначення)	
26. Циліндр (загальне позначення)	
27. Циліндр одnobічної дії з поверненням штоком пружиною	
28. Циліндр двосторонньої дії: а) з одnobічним штоком б) із двостороннім штоком	
29. Циліндр диференційний	
30. Камера мембранна одnobічної дії	
31. Насос ручний	
32. Насос шестеренний	
33. Насос ротаційний лопатевий (пластинчастий)	

Продовження табл. 2

1	2
34. Насос радіально-поршневий	
35. Насос аксіально-поршневий	
36. Акумулятор гідравлічний (загальне позначення)	
37. Фільтр для рідини чи повітря	
38. Проходи (канали), що показують напрямок потоків робочого середовища	
39. Місця з'єднань проходів	
40. Розподільник 4/2 з керуванням: а) від рукоятки фіксатора б) від двох електромагнітів	
41. Розподільник 4/3 із з'єднанням нагнітальної лінії й обох відводів на бак при середньому положенні золотника з керуванням: а) від двох електромагнітів б) електрогідравлічним від двох допоміжних розподільників, від основного потоку, без регулювання часу спрацьовування	
42. Регулювальний орган а) нормально закритий б) нормально відкритий	
43. Клапан запобіжний із власним керуванням	

Продовження табл. 2

1	2
44. Клапан диференціальний чи напірний золотник	
45. Клапан редукційний	
46. Регулятор потоку (дросель)	
47. Клапан зворотний	

РОЗДІЛ 2

ФОРМОУТВОРЕННЯ НА ВЕРСТАТАХ

§2.1 Утворення поверхонь деталей

Тіло деталей машин обмежене геометричними поверхнями, які виникають у процесі обробки. Це, в основному, плоскі поверхні, колові і неколові циліндри, а також конуси, кульові поверхні, які мають певну довжину і взаємне розташування. Реальні поверхні, які отримані в результаті обробки на верстатах, відрізняються від ідеальних геометричних поверхонь. Слід кромки інструмента, тертя між його задньою поверхнею й оброблюваною поверхнею заготовки, пластичні явища при відриві окремих шарів металу, пружні деформації поверхневих шарів, вібрації та інші явища, які виникають у процесі різання, створюють на обробленій поверхні мікронерівність і хвилястість. Їхня допустима величина залежить від службового призначення поверхонь деталей машин і досягається різними методами обробки. Незважаючи на цю відмінність, реальні геометричні поверхні можуть бути отримані тими самими методами, що й ідеальні.

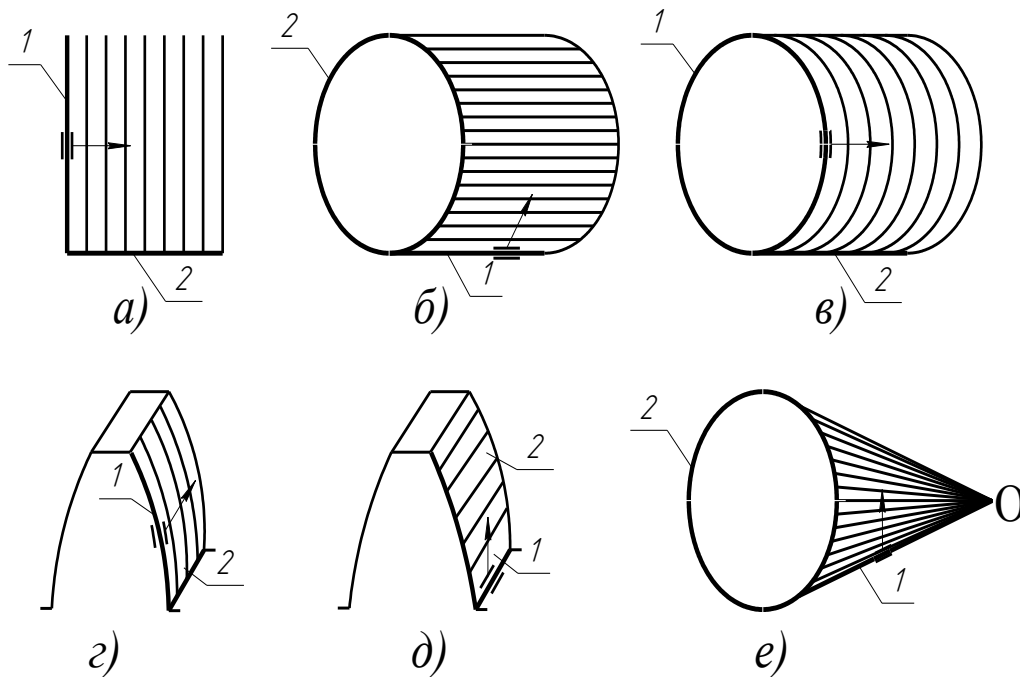


Рисунок 2.1 – Утворення поверхонь:

1 – твірна продукувальна лінія; 2 – напрямна продукувальна лінія.

Поверхні оброблених деталей можна розглядати як суцільну безліч послідовних геометричних положень (слідів) лінії, яка дістала назву *твірної продукуючої*, що рухається по іншій лінії, яку називають *напрямною продукувальною*. Наприклад, для одержання площини необхідно твірну пря-

му лінію 1 переміщувати по напрямній прямій лінії 2 (рис. 2.1, а). Циліндрична поверхня може бути отримана при переміщенні твірної прямої лінії 1 по напрямній лінії 2 – колу (рис. 2.1, б) чи твірного кола 1 уздовж напрямної прямої лінії 2 (рис. 2.1, в). Робочу поверхню зуба циліндричного колеса можна одержати, якщо твірну лінію евольвенту 1 пересувати вздовж напрямної 2 (рис. 2.1, г) чи навпаки, твірну пряму 1 - по напрямній евольвенті 2 (рис. 2.1, д).

Розглянуті поверхні називають *оберненими*, тому що їхня форма не змінюється, якщо поміняти місцями твірні лінії з напрямними. На противагу їм цього не можна зробити при утворенні *необернених поверхонь*. Наприклад, якщо лівий кінець твірної прямої лінії 1 переміщати по напрямному колу 2, то отримуємо колову конічну поверхню (рис. 2.1, е). Але, якщо коло 2 прийняти твірною і переміщувати уздовж напрямної прямої, то конуса ми не отримуємо. У цьому випадку необхідно, щоб із переміщенням кола до точки О його діаметр змінювався, досягаючи нуля у вершині. Такі поверхні називають також *поверхнями із змінними твірними лініями* на противагу поверхням, у яких твірні лінії постійні (рис. 2.1, а - д).

Більшість поверхонь деталей машин може бути утворена при використанні продукувальних ліній у вигляді прямих, кругових, евольвентних, гвинтових ліній чи ряду інших. У реальних умовах обробки продукувальних ліній немає. Вони відтворюються комбінацією узгоджених між собою обертальних і прямолінійних переміщень інструмента і заготовки. Рухи, які необхідні для утворення продукувальних ліній, називають *робочими формоутворювальними рухами*. Вони можуть бути *простими*, що складаються з одного руху, і *складними*, що складаються з декількох простих рухів. Простий формоутворюючий обертальний рух позначається $\Phi(O)$, а прямолінійний – $\Phi(\Pi)$, на відміну від них складний формоутворювальний рух позначається $\Phi(O_1O_2)$ або $\Phi(O_1\Pi_2\Pi_3)$. Рухи, що вказані в дужках, залежать один від одного і утворюють один складний рух.

§ 2.2 Методи утворення продукувальних ліній

Є чотири методи утворення продукувальних ліній: *копіювання, обкатки, сліду і дотику*.

Метод копіювання полягає в тому, що кромка різального інструмента за формою збігається з твірною лінією. Наприклад, при одержанні циліндричної поверхні (рис. 2.2, а) твірна лінія 1 відтворюється копіюванням прямолінійної кромки інструмента, а напрямна лінія 2 – обертанням заготовки. В цьому випадку необхідно забезпечити один формоутворювальний рух – обертання заготовки. Для зняття припуску й одержання деталі заданого розміру необхідно поперечне переміщення різця,

але цей рух не є формоутворювальним і називається *настановним*. На рис. 2.2, б наведено приклад обробки зубців циліндричного колеса.

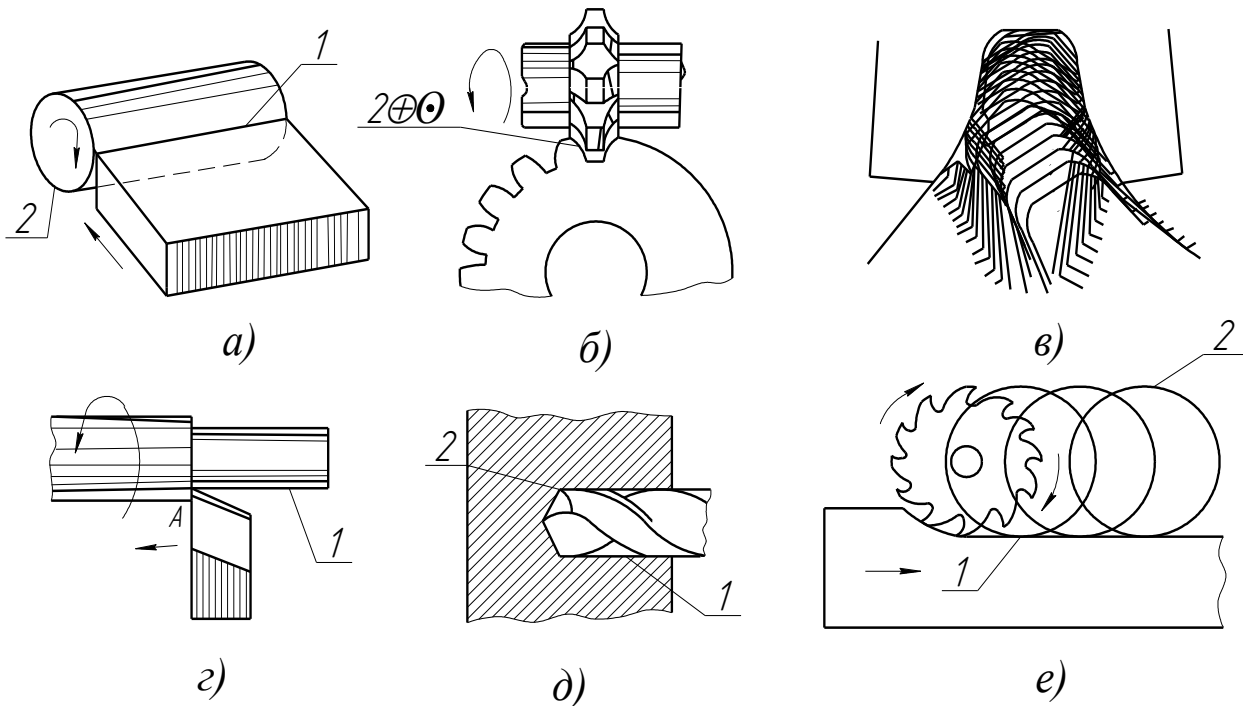


Рисунок 2.2 – Методи утворення продукувальних ліній:
 1 – твірна продукувальна лінія; 2 – напрямна продукувальна лінія;
 3 – ріжуча кромка інструмента; 4 – ріжуча точка інструмента.

Контур різальної кромки фрези збігається з профілем западини і відтворює твірну лінію 1.

Напрямна лінія 2 створюється прямолінійним рухом заготовки вздовж своєї осі. Тут необхідні два формоутворювальних рухи: обертання фрези і прямолінійне переміщення заготовки. Крім цього, для обробки наступних западин заготовка повинна періодично повертатися на кут, що відповідає кроку зачеплення. Такий рух називають *ділильним*.

Метод обкочування (огинання) полягає в тому, що твірна лінія створюється у формі огинаючої ряду послідовних положень кромки різального інструмента при обкоченні його без ковзання по цій твірній лінії. Форма різальної кромки 3 відрізняється від форми твірної лінії 1 і при різних положеннях інструмента є дотичною до неї. На рис. 2.2, в показані схеми обробки зубців циліндричного колеса методом обкату. Різальна кромка 3 інструмента має форму зуба зубчастої рейки. Якщо надати обертання заготовці і погодити з ним прямолінійне переміщення рейки вздовж її осі, як у рейковій передачі, то у своєму русі відносно заготовки контур різального інструмента займе безліч положень, огинаюча яких утворить твірну лінію 1 у

формі западини колеса. Напрямна лінія створюється прямолінійним переміщенням інструмента чи заготовки вздовж осі колеса. Для розглянутого випадку обробки поверхні потрібний складний формоутворювальний рух: обертання заготовки; переміщення інструмента вздовж своєї осі; переміщення інструмента чи заготовки вздовж осі зубчастого колеса.

Метод сліду полягає в тому, що твірна лінія отримується у вигляді сліду різальної точки інструмента при відносному русі заготовки і інструмента. Наприклад, при точінні твірна 1 (рис. 2.2, з) виникає як слід точки *A* – вершини різця, а при свердлінні (рис. 2.2, д) – свердла. Інструмент і заготовка переміщуються один відносно одного таким чином, що вершина *A* різального інструмента весь час дотикається до твірної лінії 1. Напрямна лінія 2 утворюється обертанням заготовки (рис. 2.2, з) чи свердла (рис. 2.2, д). В обох випадках потрібний складний формоутворювальний рух.

Метод дотику полягає в тому, що форма твірної лінії 1 є дотичною до ряду геометричних положень різучих точок інструмента, який обертається, в результаті відносного руху осі інструмента і заготовки (рис. 2.2, е). Цей метод використовується при фрезеруванні та шліфуванні.

Отже, утворення різних поверхонь зводиться до встановлення таких формоутворювальних рухів заготовки й інструмента, що відтворюють твірні і напрямні лінії.

§2.3 Класифікація рухів

Ланки, в яких закріплено заготовку й інструмент, називаються *робочими* чи *виконавчими*. У процесі обробки вони здійснюють узгоджені рухи, які також носять назву *робочих* чи *виконавчих*. За своїм цільовим призначенням виконавчі рухи поділяють на *формоутворювальні*, *настановні* і *ділильні*. Настановні (Н) рухи необхідні для того, щоб підвести інструмент і заготовку в положення, що забезпечило б зняття припуску й одержання заданого розміру. Настановний рух, при якому відбувається різання (див. рис. 2.2, а), називають *рухом врізання* (Вр). Настановний рух, при якому різання не відбувається, називають *налагоджувальним рухом*. Прикладом налагоджувального руху може бути рух столу координатно-свердильного верстата з заготовкою при переміщенні його після обробки одного з отворів в нове положення (на нову координату) для свердління наступних отворів у цій заготовці.

Ділильний (Д) рух здійснюється для повороту встановленої на верстаті заготовки на заданий кут. Механізми, що призначені для відтворення цього руху, можуть бути окремою ділильною ланкою або частиною конструкції верстата чи пристосування. Ділильний рух може відбуватися перервно чи неперервно. У першому випадку (див. рис. 2.2, б) рух відбувається періодич-

но. Заготовка повертається навколо осі після закінчення обробки чергової западини. В другому випадку ділильний рух відбувається безупинно і продовжується протягом часу, який необхідний для переміщення інструмента по заготовці (див. рис. 2.2, в). Даний метод застосовують при обробці зубців зубчастих коліс, шліцьових валів і інших подібних деталей. Метод забезпечує високу точність, а безперервність процесу – високу продуктивність.

Рухи інструмента і заготовки в процесі різання прийнято поділяти на головний рух і рух подачі. *Головним* називають такий рух, що забезпечує відділення стружки від заготовки з визначеною швидкістю різання. *Рухом подачі* називають такий рух, що дозволяє підвести під ріжучу кромку інструмента нові ділянки заготовки і тим самим забезпечити зняття стружки з усієї оброблюваної поверхні. Головний рух і рух подачі можуть бути *обертальними і прямолінійними*, вони можуть бути здійснені як заготовкою, так і інструментом. Наприклад, у токарних верстатах головний рух (обертальний) здійснює заготовка, рух подачі (прямолінійний) – інструмент (різець). У фрезерних верстатах, навпаки, головний обертальний рух одержує інструмент (фреза), а прямолінійний рух подачі – заготовка (стіл). Головний рух і рух подачі є формоутворювальними рухами. Якщо для формоутворення потрібно один рух, то він буде головним рухом (наприклад, обертання заготовки – (див. рис. 2.2, а). При необхідності двох формоутворюючих рухів – один буде головним, а інші – рухом подачі (див. рис. 2.2, б, з – е). Якщо формоутворювальних рухів більше двох, то один з них буде головним, а інші – рухами подачі.

Крім робочих рухів для обробки деталей на верстатах необхідні *допоміжні* (Дп) рухи, що у процесі різання не беруть участі. До числа допоміжних рухів відносять рухи, пов'язані з установкою і закріпленням заготовки, підведенням і відведенням інструмента, вмиканням і вимиканням приводів. До них відносяться також рухи, що здійснюють автоматичну установку і зняття інструмента, його правку, транспортування заготовок, активний контроль розмірів, реверсування, вилучення стружки та ін.

Рух керування (К) – це рух, який здійснюють органи керування, регулювання, координації всіх інших виконавчих рухів верстата. До таких органів належать муфти, реверсивні пристрої, кулачки, обмежувачі переміщень тощо.

Налагодження рухів проводиться за п'ятьма просторовими параметрами: траєкторія, швидкість, напрямок, переміщення, вихідна точка.

§2.4 Кінематичні зв'язки та структура у верстатах

У металорізальних верстатах зв'язок між рухомими елементами передач чи механізмів буває досить складний, а тому для його усвідомлення необхідно володіти такими поняттями як *кінематична група*, *кінематичний зв'язок* та *структура* у верстатах.

Кінематичною називаємо *групу*, що містить джерело руху, виконавчі органи, кінематичні зв'язки і органи налагодження, що забезпечують необхідні параметри руху.

Кінематичний зв'язок – це зв'язок між ланками чи виконавчими органами верстата, який створює умови обмеження щодо довільного переміщення чи довільної швидкості переміщення рухомих ланок верстата.

До *виконавчих органів* відносяться такі ланки верстата як шпindel, супорт, стіл, повзун, люлька та ін. Вони можуть здійснювати обертальний та поступальний рух.

Кінематична група, що містить один виконавчий орган, називається *простою*, а декілька виконавчих органів – *складною*.

На рис. 2.3, *а* наведена проста кінематична група, в якій виконавчий орган (повзун 1) здійснює поступальний рух Π_1 . В складній кінематичній групі (рис. 2.3, *б*) два виконавчі органи (шпинделі I і II) одночасно обертаються завдяки наявності існуючого між ними з'єднання, яке може бути механічним – за допомогою передач чи немеханічним – наприклад, електричним у верстаті з ЧПК.

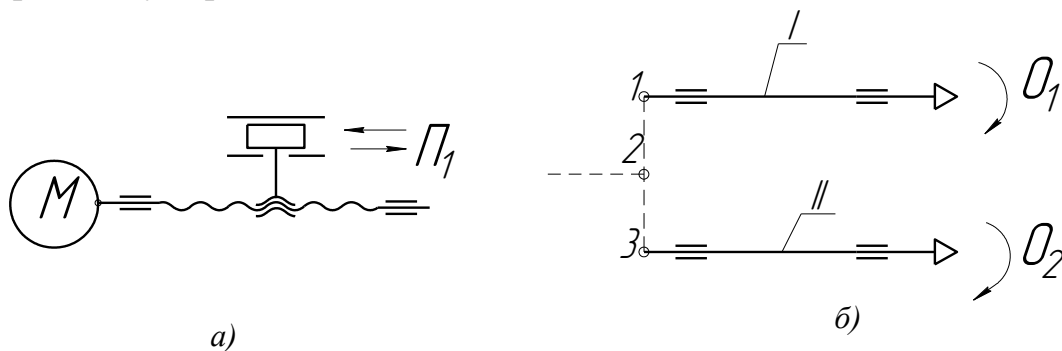


Рисунок 2.3 – Кінематичні групи верстатів

При вивченні структури робочих рухів приводів слід розрізняти їхні кінематичні зв'язки. Кожен кінематичний зв'язок складається з одного чи декількох механічних, електричних, гідравлічних і інших кінематичних ланцюгів, через які здійснюються необхідні виконавчі рухи. Щоб забезпечити у верстаті цілком визначений виконавчий рух, наприклад, рух ріжучого інструмента щодо заготовки, необхідний кінематичний зв'язок між виконавчими ланками верстата і кінематичний зв'язок цих ланок із джерелом

руху. Кінематичні зв'язки виконавчих ланок між собою будемо називати *внутрішніми кінематичними зв'язками*.

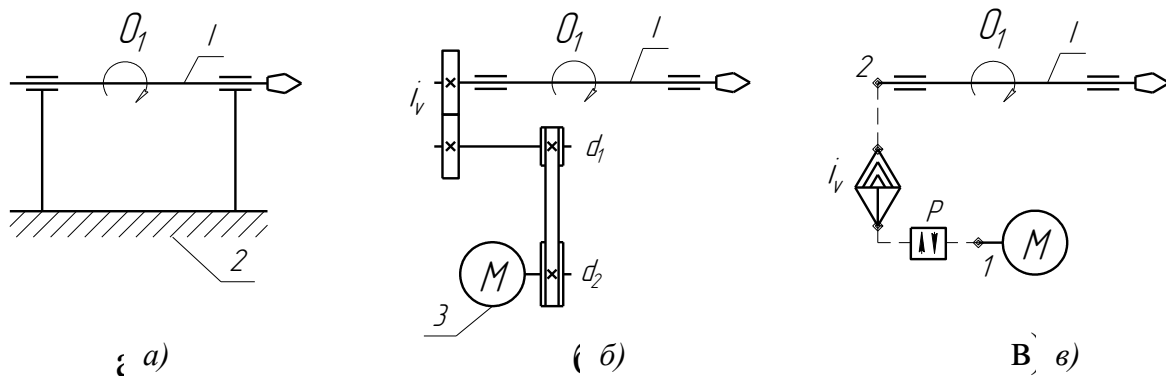


Рисунок 2.4 – Кінематичні зв'язки при простих виконавчих рухах

Якщо виконавчий рух є простим, наприклад, обертальним (рис. 2.4, а), то внутрішній кінематичний зв'язок здійснюється однією кінематичною обертальною парою між виконавчою ланкою (у нашому прикладі – шпindelь I), що бере участь у даному русі, і виконавчою ланкою (бабка 2), що не бере участь у розглянутому відносному русі. У виконавчій ланці поступального руху (див. рис. 2.3, а) внутрішнім кінематичним зв'язком є зв'язок між повзуном та стійкою (напрямними). Для складної кінематичної групи (див. рис. 2.3, б) внутрішній кінематичний зв'язок визначається зв'язком точок 1-2-3 між двома виконавчими ланками – шпинделями I та II. Внутрішній кінематичний зв'язок визначає характер (траєкторію) виконавчого руху. Швидкість виконавчого руху внутрішнім кінематичним зв'язком не визначається.

Зовнішній кінематичний зв'язок – це зв'язок між рухомою виконавчою ланкою - шпинделем 1, і джерелом руху - електродвигуном 3 (рис. 2.4, б). Зовнішній кінематичний зв'язок забезпечується декількома ланками, і за допомогою органа налагодження i_v здійснюється кінематичне налагодження на задану швидкість виконавчого руху при незмінній швидкості електродвигуна. Органами налагодження можуть бути змінні зубчасті колеса (механізм гітари), змінні шківни, коробки швидкостей і подач. У структурних кінематичних схемах верстатів проміжні ланки кінематичних зв'язків будемо умовно зображати штриховою лінією, а органи налагодження, що визначатимуть траєкторію, швидкість і напрямок – ромбом зі стрілочками всередині, як це зроблено на рис. 2.4, в. Орган налагодження, що забезпечує зміну напрямку руху (реверс P) зображується квадратом з протилежно направленими стрілочками усередині.

Кінематичною структурою верстата називаємо сукупність кінематичних груп, що з'єднані між собою за допомогою сумарних, реверсивних механізмів, муфт тощо.

На рис. 2.5, а показаний внутрішній зв'язок, на рисунку 2.5, б – структурна схема токарного верстата з різьбонарізним ланцюгом. На цій схемі зображено виконавчий рух по гвинтовій лінії, що складається з двох простих рухів – обертального O_1 (шпинделя) з швидкістю V і прямолінійного руху Π_2 (супорта) з подачею S , здійснюється двома кінематичними зв'язками, що налагоджуються органом налагодження i_s .

На рис. 2.5, в наведений кінематичний зв'язок для створення більш складніших виконавчих формоутворювальних рухів, що складаються з трьох простих рухів. Як видно з рисунка, різьба на конусі нарізається одним складним формоутворювальним рухом, складеним з одного обертального O_1 (шпиндель) з швидкістю v і двох прямолінійних рухів Π_2 та Π_3 (супорта) – з подачами s і s_n . У даному випадку внутрішній кінематичний зв'язок складається з двох внутрішніх кінематичних ланцюгів. Наприклад, для одержання різьби заданого кроку t служить внутрішній кінематичний ланцюг, який зв'язує прості рухи – обертальний O_1 (шпиндель) і поступальний Π_2 – (супорта в поздовжньому напрямку), що налагоджується органом i_s . Для одержання заданої конусності кінематичний ланцюг зв'язує

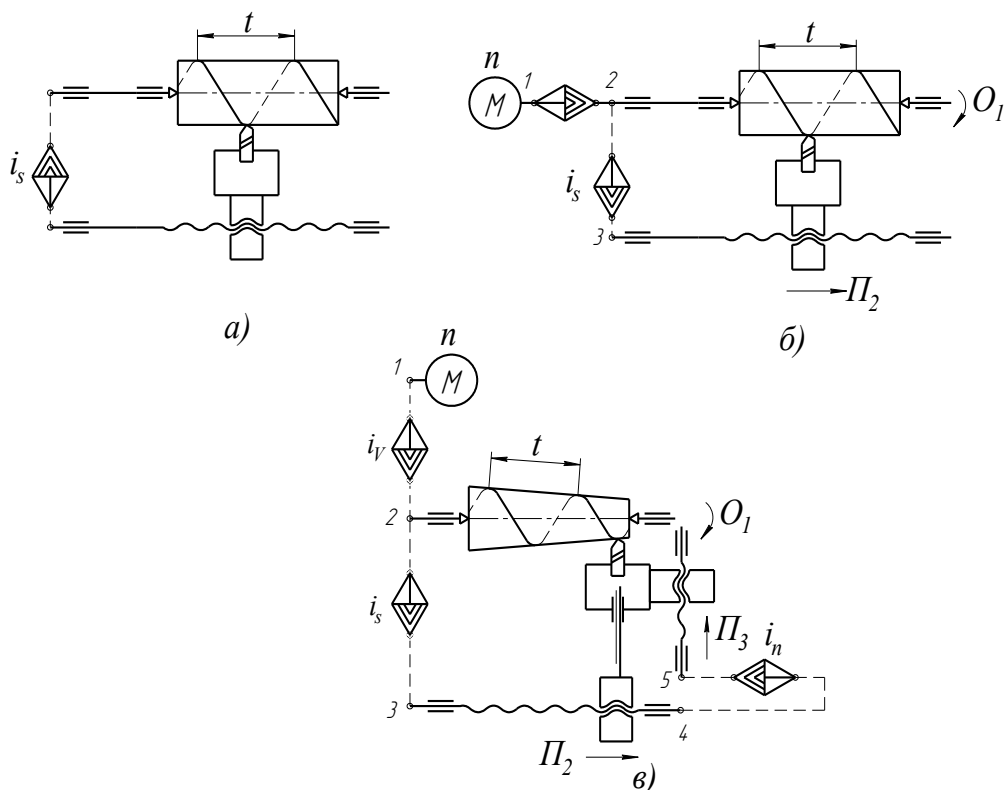


Рисунок 2.5 – Кінематичні зв'язки при складних виконавчих рухах

поздовжнє і поперечне переміщення супорта $П_3$ і налагоджується органом налагодження i_n . Внутрішній зв'язок, що складається з двох внутрішніх кінематичних ланцюгів, з'єднаний з джерелом руху одним зовнішнім кінематичним зв'язком, що налагоджується органом налагодження i_v . Обидва кінематичні зв'язки складають одну кінематичну групу.

Кількість кінематичних груп, з яких складається кінематична структура верстата, відповідає кількості відносних рухів між заготовкою і різальним інструментом, що здійснюються при обробці в процесі врізання, формоутворення і ділення. Для ділильного руху в кінематичну групу вводять відліковий пристрій, що з'єднується кінематичним зв'язком з кінцевою ланкою ділильної групи.

На рис. 2.6 наведена структурна схема групи ділення, де відліковим пристроєм слугує ділильний диск 1 з фіксатором 2. Кінематична група врізання структурно нічим не відрізняється від групи формоутворення. Для здійснення робочих рухів металорізальний верстат повинен мати виконавчі ланки (шпиндель, стіл, супорт і т.п.) і кінематичні зв'язки як між собою, так і з джерелом руху (електродвигуном).

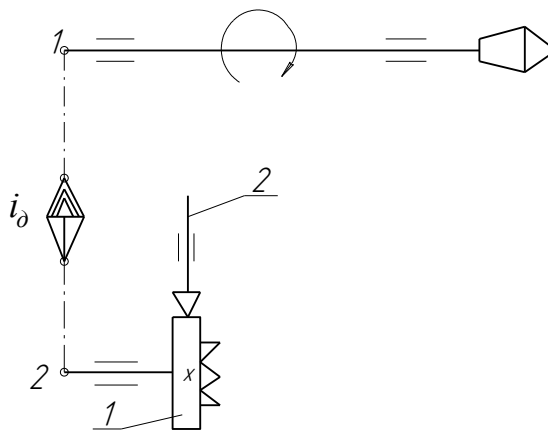


Рисунок 2.6 – Структурна схема групи ділення

У схемах, що розглянуто вище, виконавчі зв'язки здійснюються механічними засобами за допомогою різних передач. На практиці у верстатобудуванні використовуються й інші засоби, наприклад, гідравлічні, електричні, пневматичні і т.п. На рис. 2.7 наведені приклади застосування електричних і гідравлічних засобів зв'язку. На рис. 2.7, а зображений електричний зв'язок 1, що з'єднує електрокопіювальну голівку 2 з електродвигуном М2, якому передаються електросигнали для переміщення поперечного супорта 3, а на рис. 2.7, б – гідравлічний зв'язок, що з'єднує копій 1 з супортом 2.

Аналіз розглянутих структурних схем металорізальних верстатів дозволяє зробити такі висновки:

- Кінематична структура металорізальних верстатів залежить від геометричної форми, розмірів оброблюваної поверхні і методу обробки.
- Чим менше число виконавчих формоутворювальних рухів, тим з меншої кількості кінематичних ланцюгів складається кінематична структура верстата, тим більш простою буде кінематика і конструкція верстата.
- Потрібно враховувати й інші фактори, наприклад, точність і клас чистоти обробки поверхні, динаміку різання, умови обслуговування верстата й економічні фактори.

Таким чином, за формоутворювальною ознакою кінематичні структури можна поділити на 3 класи:

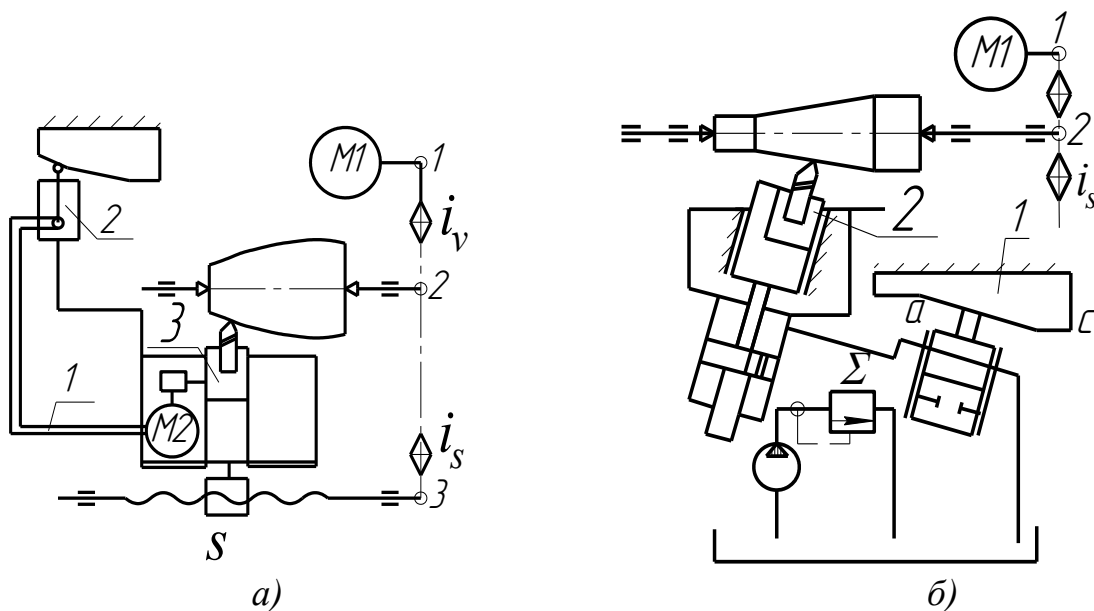


Рисунок 2.7 – Кінематична схема верстатів з електричним та гідравлічним зв'язком

- елементарні Е [$\Phi(O)$, $\Phi(II)$];
- складні С [$\Phi(O_1O_2)$, $\Phi(O_3\Pi_4\Pi_5)$];
- комбіновані К.

При позначенні кінематичних структур використовуються літери та цифри, наприклад, К24 (К – клас, 2 – число формоутворюючих груп, 4 – сумарне число рухів).

Складання і аналіз структур кінематичних груп верстата виконують у такій послідовності:

- встановлюють число виконавчих ланок;
- визначають внутрішній кінематичний зв'язок групи;
- визначають джерело руху та зовнішній кінематичний зв'язок;
- встановлюють число та розміщення органів налагодження параметрів руху.

§2.5 Основи кінематичного налагодження верстатів

Щоб досягти необхідних переміщень кінцевих ланок кінематичного ланцюга верстата для отримання заданої форми і розмірів деталей, виконують його кінематичне налагодження, що, в основному, зводиться до визначення параметрів органа налагодження. Розрахункові переміщення визначають виходячи з форми поверхні, що повинна бути утворена на заготовці, і різального інструмента. Далі, згідно з кінематичним ланцюгом складається рівняння кінематичного балансу, що зв'язує початкове і кінцеве переміщення, і з останнього знаходиться залежність параметра органа налагодження від розрахункових переміщень і постійних коефіцієнтів ланцюга.

Кінематичний ланцюг складається з сукупності ряду передач: зубчастих, гвинтових, рейкових, пасових, храпових та ін., які здійснюють передачу руху від початкової ланки до кінцевої, що сполучені між собою і передають одна одній рух. Якщо початком кінематичного ланцюга є джерело руху – електродвигун, а кінцевою – шпindel, то зв'язок між початковою і кінцевою ланками можна знайти за таким рівнянням кінематичного балансу (див. рис. 2.7, б):

$$n_m \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot i_V = n_{ун}, \quad (2.1)$$

де n_m і $n_{ун}$ – частоти обертання початкової і кінцевої ланок;
 i_V – передатне число органа налагодження ланцюга головного руху.

Рівняння кінематичного балансу – це залежність руху однієї кінцевої ланки кінематичного ланцюга відносно до іншої, що враховує передатні відношення всіх рухомих ланок ланцюга.

Для зручності обчислень рекомендується в рівнянні кінематичного балансу (2.1) виділити постійні величини структурної формули і підрахувати їх як коефіцієнт даного кінематичного ланцюга, наприклад,

$$n_m \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot i_V = C_{ун} \cdot i_V = n_{ун} \quad (2.2)$$

Вираз (2.2) справедливий і для верстатів, у ланцюзі головного руху яких органом налагодження є коробка швидкостей. Тоді у виразі (2.2) i_V буде відповідати передатним відношенням коробки швидкостей з врахуванням всіх її ступенів.

У загальному вигляді рівняння кінематичного балансу для ланцюга головного обертального руху має вид:

$$n_n \cdot i_V = n_k, \quad (2.3)$$

де n_n і n_k – частота обертання відповідно початкової і кінцевої ланки, об/хв;

i – передатне число кінематичного ланцюга.

Рівняння кінематичного балансу в загальному вигляді для ланцюга, в якому початкова ланка має обертальний рух, а кінцева – прямолінійний, буде

$$n_n \cdot i_S \cdot H = s_k, \quad (2.4)$$

де H – хід кінематичної пари, що перетворює обертальний рух у прямолінійний, мм/об.

Величина ходу дорівнює переміщенню ланки, що рухається прямолінійно за один оберт обертальної ланки.

Для гвинтової пари (гвинт-гайка)

$$H = k \cdot p_{x.zv} \quad (2.5)$$

де $p_{x.zv}$ – крок ходового гвинта, мм;
 k – число заходів.

Для рейкової передачі

$$H = \pi \cdot m \cdot z \quad (2.6)$$

де m – модуль зачеплення в мм;
 z – число зубців рейкового колеса.

На цій підставі рівняння кінематичного балансу для секундної подачі: для ланцюга з гвинтовою парою

$$n_n \cdot i_s \cdot k \cdot p_{x.zv} = s_k, \text{ мм/с} \quad (2.7)$$

для рейкової подачі

$$n_n \cdot i_s \cdot \pi \cdot m \cdot z = s_k, \text{ мм/с} \quad (2.8)$$

Рівняння кінематичного балансу для оборотної подачі:

$$1_{об} \cdot i_s \cdot H = s_k, \text{ мм/об} \quad (2.9)$$

З рівнянь кінематичного балансу (2.7)...(2.9) визначають передатне відношення органу налагодження. Наприклад, з рівняння (2.2) знаходять величину передатного відношення

$$i_V = \frac{n_{\text{шп}}}{C_{\text{шп}}} \quad (2.10)$$

Вираз (2.10) є формулою налагодження змінних коліс гітари швидкостей ланцюга (рис. 2.7, б).

Слід відмітити, що для різних за структурою кінематичних ланцюгів, які призначені для виконання однієї і тієї ж операції, співвідношення між переміщеннями кінцевих ланок – розрахункові переміщення – будуть однаковими.

Так для кінематичних ланцюгів обточування (ділення) зубофрезерного верстата, що зображені на рис. 2.8, а, б, розрахункові переміщення кінцевих ланок будуть записані таким чином:

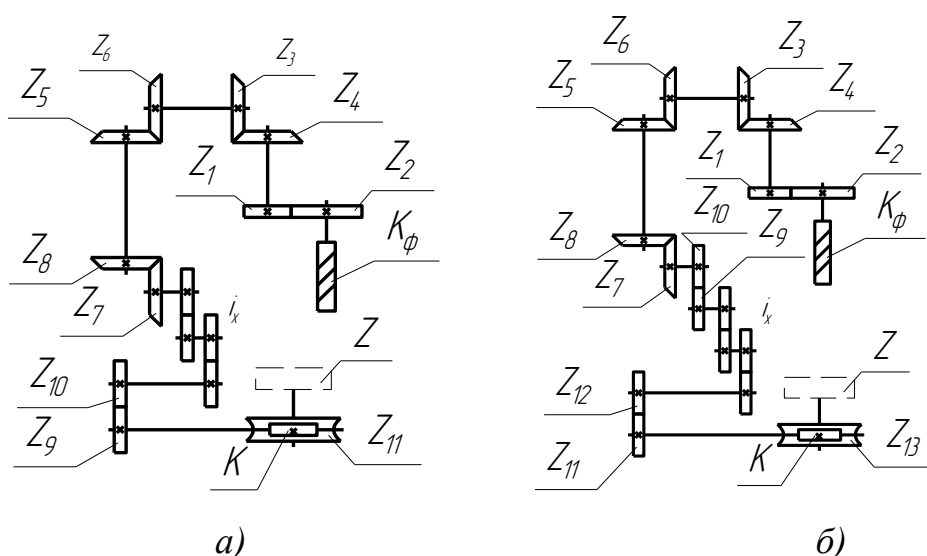


Рисунок 2.8 – Кінематичні ланцюги обкатки (ділення) зубофрезерного верстата

$$1_{\text{об.ф}} \equiv \frac{k_{\phi}}{z} \quad (2.11)$$

де $1_{\text{об.ф}}$ – один оберт фрези (інструменту);
 k_{ϕ} – число заходів фрези (інструменту);
 z – число зубців колеса, яке нарізають.

Рівняння кінематичного балансу для кінематичного ланцюга, що наведений на рис. 2.8, а, набуде такого вигляду:

$$1_{\text{об.ф}} \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot \frac{z_8}{z_7} \cdot i_x \cdot \frac{z_{10}}{z_9} \cdot \frac{k}{z_{11}} = \frac{k_{\phi}}{z} \quad (2.12)$$

а для рис. 2.7 б –

$$1_{об.ф} \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot \frac{z_8}{z_7} \cdot \frac{z_{10}}{z_9} \cdot i_x \cdot \frac{z_{12}}{z_{11}} \cdot \frac{k}{z_{13}} = \frac{k_\phi}{z}, \quad (2.13)$$

де $z_1 \dots z_{13}$ – числа зубців зубчастих та черв'ячних коліс;
 i_x – передатне відношення органу налагодження – двопарної гітари змінних коліс;
 k – число заходів черв'яка черв'ячної передачі.

Формула налагодження для виразів (2.12) і (2.13):

$$i_x = \frac{k_\phi}{z \cdot C_x}, \quad (2.14)$$

де C_x – постійний коефіцієнт кожного з ланцюгів.

Таким чином, кінематичне налагодження відповідних ланцюгів верстата виконують в такій послідовності:

- виявляють початкову і кінцеву ланку кінематичного ланцюга;
- визначають залежність між переміщенням цих ланок, тобто розрахункові переміщення;
- складають рівняння кінематичного балансу;
- з цього рівняння отримують формулу, за якою визначають передатне відношення органу налагодження, і здійснюють вибір параметрів, що забезпечують дане відношення.

РОЗДІЛ 3

ЗАТИЛУВАЛЬНІ РОБОТИ ТА ЗАТИЛУВАЛЬНІ ВЕРСТАТИ

§3.1 Зміст затилувальних робіт. Основні переміщення при затилуванні

Токарно-затилувальні верстати призначені для обробки задніх поверхонь зубців інструментів, а саме: циліндричних, черв'ячних, дискових і пазових фрез і мітчиків. Затилування проводять по спіралі Архімеда.

Мета затилування – збереження постійними переднього і заднього кутів при заточуваннях фрези.

Для затилування необхідно здійснити два рухи (рис. 3.1, *а*) – це обертальний рух заготовки та зворотно-поступальний рух різця на деяку величину h . Після завершення обробки зубця різець відводиться від деталі. Далі цикл повторюється.

Описані рухи різця здійснюються від кулачка (рис. 3.1, *б*), який встановлено у спеціальному супорті, що зображений на рис. 3.1, *в*. Рухома частина супорта 1 з пальцем 2 притискається до кулачка 3 під дією пружини 4. Рух супорта вперед здійснюється по дузі ВА, зворотний рух — по дузі АВ кулачка.

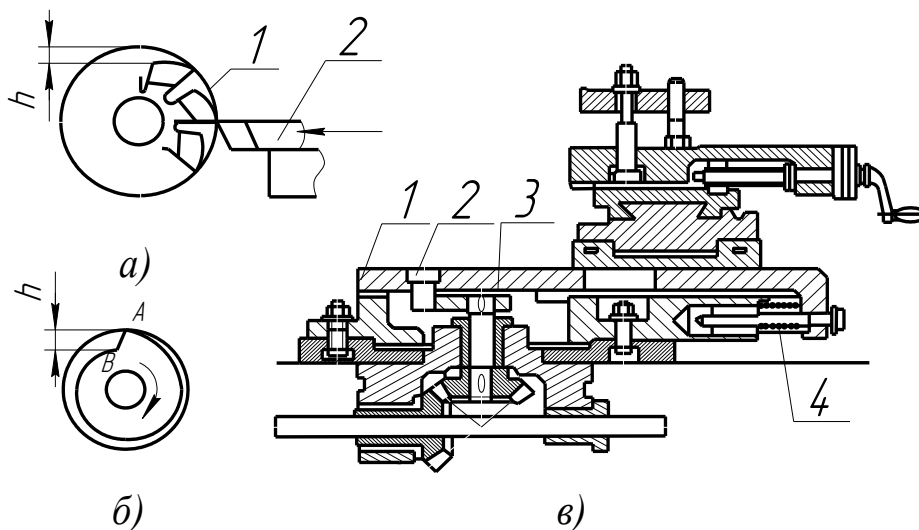


Рисунок 3.1 – Схема затилування

В залежності від напрямку руху інструмента розрізняють радіальне (рис. 3.2, *а*), косе (рис. 3.2, *б*) і торцеве (рис. 3.2, *в*) затилування.

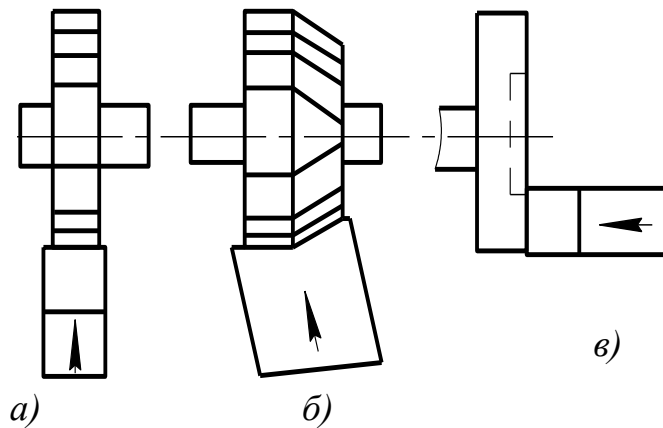


Рисунок 3.2 – Види затилування

Розміри та форми інструментів, які підлягають затилуванню, визначають *методи затилування*:

- для дискових фрез – метод поперечної подачі (рис. 3.3, а);
- для циліндричних фрез – метод поздовжньої подачі (рис. 3.3, б).

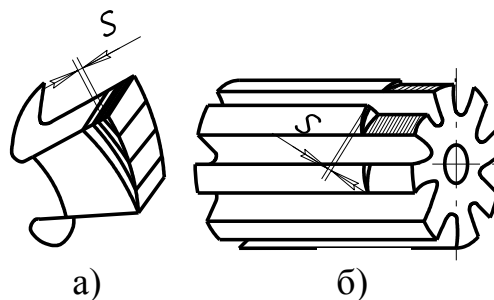


Рисунок 3.3 - Методи затилування

В універсальних токарно-затилувальних верстатах, структурна схема якого наведена на рис. 3.4, потрібно здійснити такі основні рухи:

- головний рух – це обертання заготовки;
- затилувальний рух (або рух ділення) – це рух ріжучого інструмента (різця);
- поздовжній рух супорта;
- додатковий рух для затилування заготовки зі спіральними канавками.

Затилувальні інструменти мають прямі або гвинтові стружкові канавки.

Розрахункові переміщення для затилування інструмента з *прямими канавками*:

$$1_{об.дет} \equiv Z_{п.х.різця} \equiv Z_{об.кулачка} \quad (3.1)$$

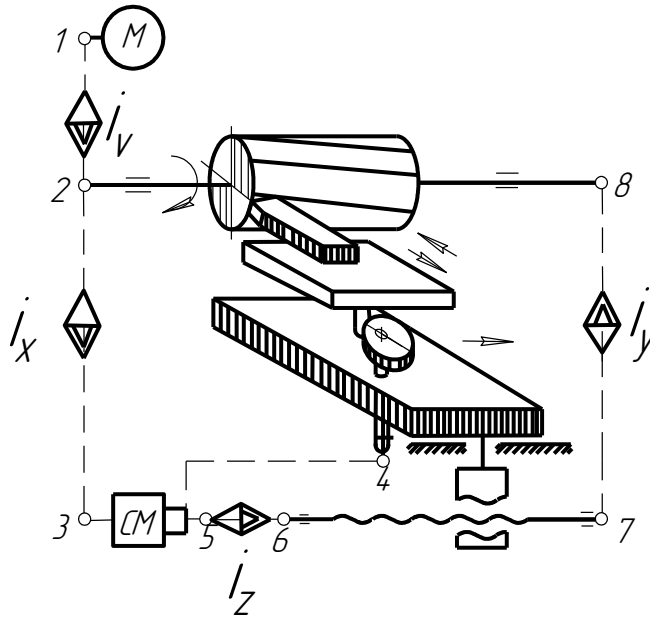


Рисунок 3.4 — Структурна схема токарно-затилувального верстата

При затилуванні фрез зі спіральними канавками необхідно надати прискореного чи уповільненого руху шпинделю або інструменту (деталі).

Цей рух здійснюється за допомогою диференціала (сумарного механізму), що вмонтований в кінематичний ланцюг (позначено СМ).

Розрахункові переміщення для затилування інструмента з *спіральними канавками*:

$$1_{об.дет.(фр)} = \frac{z}{z'} \left(1 \pm \frac{t}{T} \right)_{об.кулачка}, \quad (3.2)$$

де z – число затилувальних рухів;
 z' – число заходів фрези;
 t – крок гвинтової нарізки;
 T – крок гвинтових канавок фрези.

Співвідношення (3.2) можна розбити на два співвідношення:

$$1_{об.дет.(фр)} \equiv \frac{z}{z'_{об.кулачка}}, \quad (3.3)$$

$$1_{об.дет.(фр)} \equiv \pm \frac{zt}{z'T_{об.кулачка}}. \quad (3.4)$$

Співвідношення (3.3) забезпечується ланцюгом з органом надагоджен-

ня i_x (рис.3.4), а співвідношення (3.4) - ланцюгом з органом налагодження i_y , i_z .

Поздовжнє переміщення супорта від ходового гвинта налагоджується органом налагодження i_y .

Розрахункові переміщення:

$$l_{об.дет.(фр)} \equiv T_{мм.позд.пер.різця} \quad (3.5)$$

§3.2 Будова токарно-затилувального верстата 1E811 і кінематичне налагодження верстата 1811

На рис.3.5 зображено універсальний токарно-затилувальний верстат моделі 1E811, що призначений для виконання різних затилувальних робіт.

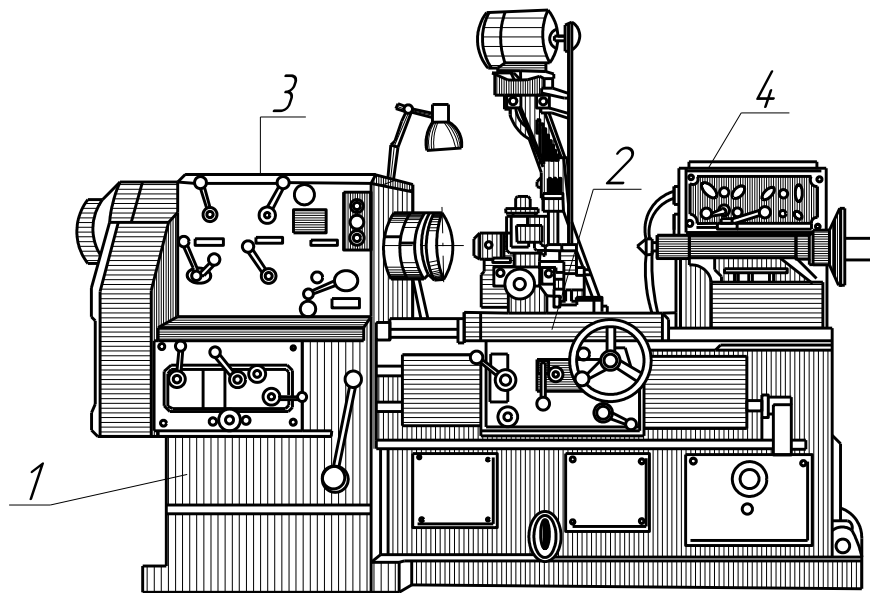


Рисунок 3.5 - Універсальний токарно-затилувальний верстат 1E811

Станина 1, масивної конструкції, має плоскі напрямні, якими переміщується супорт 2. Зліва встановлена передня бабка 3 з приводом головного руху, праворуч – задня бабка 4.

Верстат має механізм відведення різця з власною фіксацією, швидкохідний відбійний механізм із безступінчатою корекцією величини відбою.

Привід головного руху роздільний з автоматичною коробкою швидкостей. Регулювання ходу затилування безступінчате.

На токарно-затилувальний верстат 1E811 можна також шліфувати зубці інструментів. З цією метою на супорті верстата встановлюють шліфувальне пристосування з індивідуальним приводом.

Розглянемо кінематичне налагодження токарно-затилувального верстата 1811, схема якого наведена на рис. 3.6.

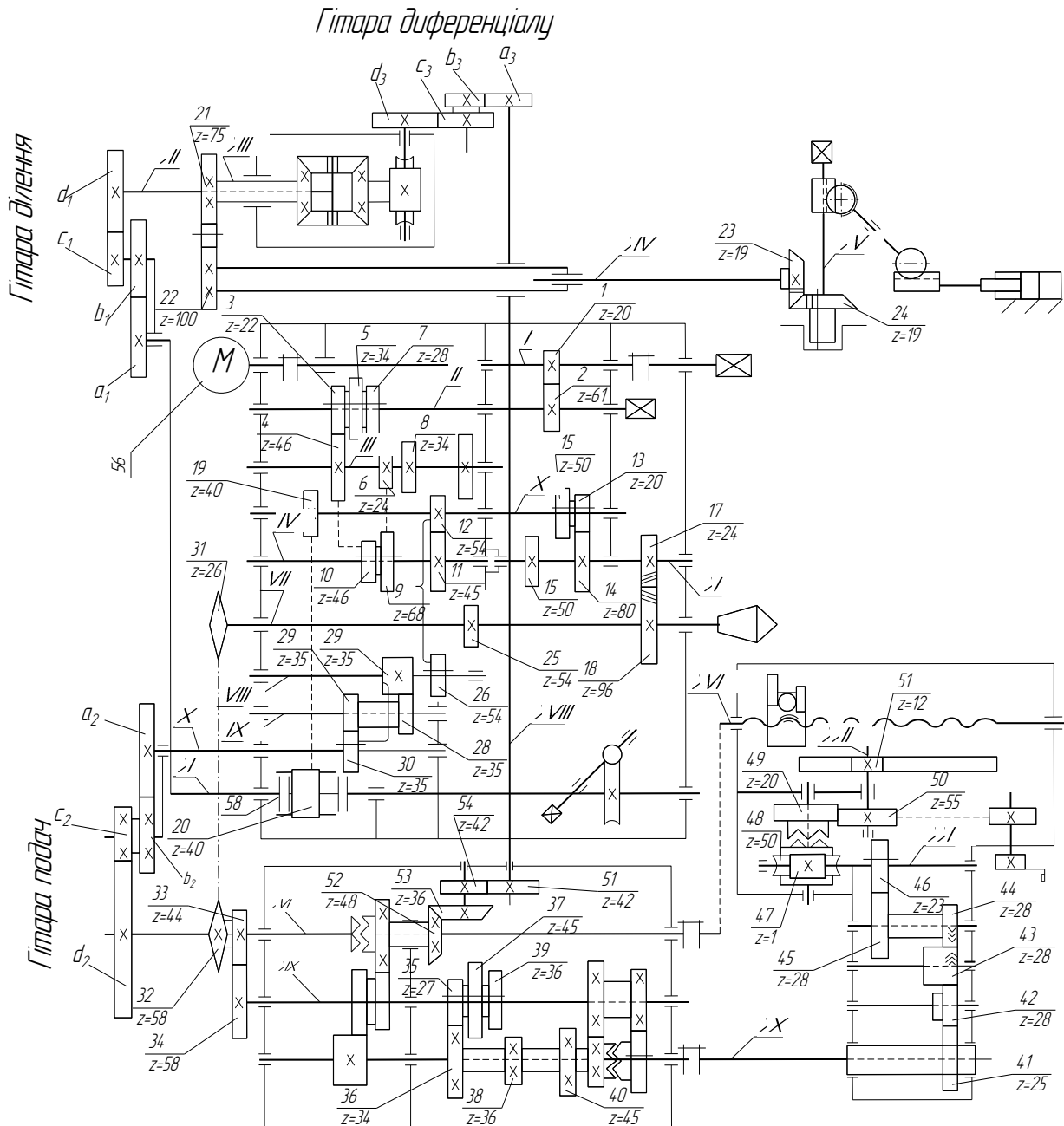


Рисунок 3.6 – Кінематична схема токарно-затилувального верстата 1811

- *Головний рух* – обертання шпинделя:

$$n_M \equiv n_{\text{шп}}, \quad (3.6)$$

де $n_m, n_{шп}$ – частоти обертання електродвигуна та шпинделя відповідно.

Згідно із співвідношенням (3.6) рівняння кінематичного балансу запишеться:

$$n_m \cdot \frac{20}{61} \cdot \frac{34}{24} \cdot \frac{46}{28} \cdot \frac{46}{34} \cdot \frac{46}{24} \cdot \frac{45}{54} \cdot i_{пер} = n_{шп}, \quad (3.7)$$

де $i_{пер}$ – передатне відношення переборного механізму.

Переборний механізм забезпечує два діапазони швидкостей:

- низький – при включенні коліс 13-14, 17-18 $\left(i_{пер} = \frac{1}{16}\right)$;
- високий – при включенні коліс 15-16, 17-18 $\left(i_{пер} = \frac{1}{4}\right)$.

Привод головного руху, з врахуванням переборного механізму, забезпечує 12 частот обертання.

- Рух ділення (затилувальний рух).

Згідно із співвідношенням (3.1) рівняння кінематичного балансу цього ланцюга має вигляд:

$$1_{об.шп} \cdot \frac{1}{i_{пер}} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot i_{диф} \cdot \frac{75}{100} \cdot \frac{19}{19} = z_{п.х.різня}. \quad (3.8)$$

При $i_{пер} = \frac{1}{4}$ і $i_{диф} = 2$ формула налагодження гітари і_х:

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{z}{6};$$

а при $i_{пер} = \frac{1}{16}$:

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{z}{24}.$$

- Рух подачі – *поздовжнє переміщення супорта*.

Згідно співвідношення (3.5) рівняння кінематичного балансу запишеться таким чином:

$$1_{об.ун.} \cdot \frac{1}{i_{неп.}} \cdot \frac{54}{54} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot t_{x.zв} (12 \text{ мм}) = T \text{ (мм)}. \quad (3.9)$$

Формула налагодження гітари подачі i_y без переборного механізму (зчеплені колеса 25 – 26):

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{T}{12},$$

а при його використанні у випадку $i_{неп.} = \frac{1}{4}$:

$$i_y = \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{T}{48},$$

при $i_{неп.} = \frac{1}{16}$:

$$i_y = \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{T}{192}.$$

- Ланцюг диференціала (затилування інструментів зі спіральними канавками).

Згідно співвідношення (3.4), маємо:

$$1_{об.ун.} \cdot \frac{54}{54} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot \frac{48}{36} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} \cdot i_{ч.н.} \cdot i_{диф.} \cdot \frac{75}{100} \cdot \frac{19}{19} = \pm \frac{zT}{z'T} \quad (3.10)$$

При $\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{T}{12}$; $i_{диф.} = 1$; $z' = 1$ формула налагодження гітари ланцюга диференціала i_z :

$$\frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} = 76 \frac{z}{T}.$$

За розглянутими співвідношеннями в залежності від розмірів і форми інструментів виконують кінематичне налагодження верстату.

РОЗДІЛ 4

ВЕРСТАТИ ДЛЯ ОБРОБКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ТА ЧЕРВ'ЯЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

§ 4.1 Аналіз переміщення інструменту і заготовки при нарізанні зубчастих коліс на зубодовбальному верстаті

Зубодовбальні верстати призначені для нарізання циліндричних зубчастих коліс з прямими чи гвинтовими зубцями зовнішнього та внутрішнього зачеплення, а також шевронних зубчастих коліс.

Для їх виготовлення використовують зуборізні довбачі (рис. 4.1, а), зуборізні гребінки (рис. 4.1, б), зубодовбальні головки (рис. 4.1, в) – для масового виробництва.

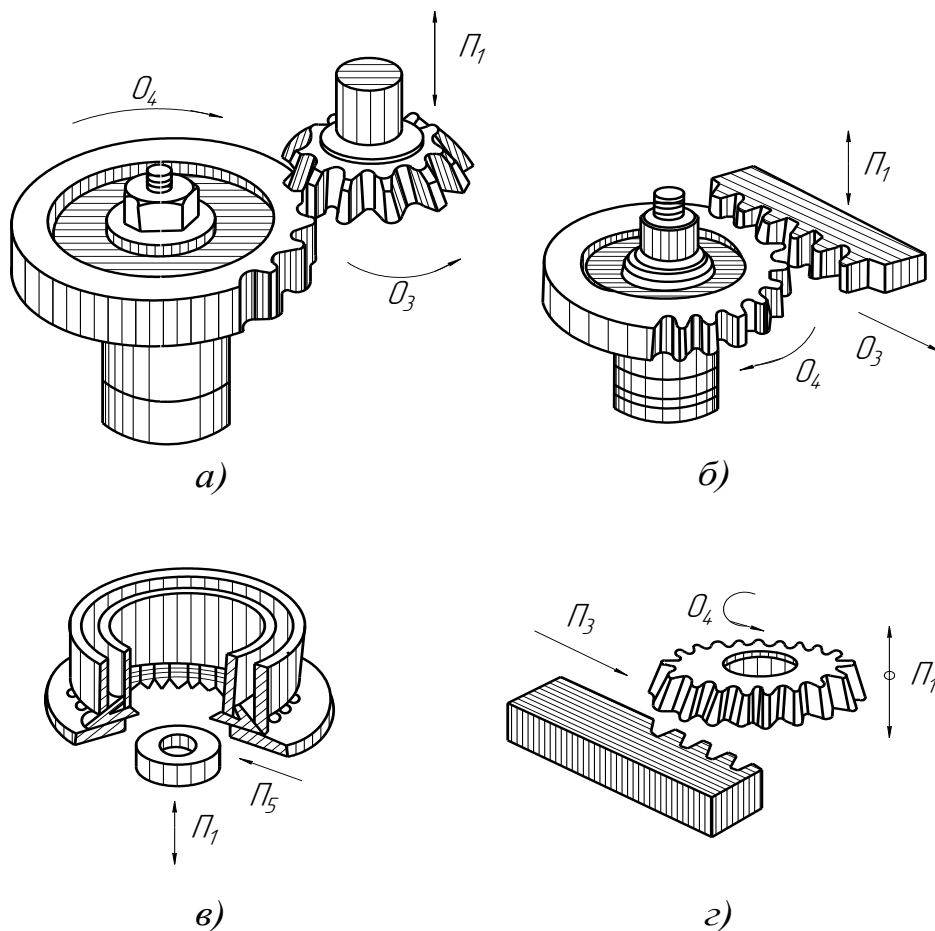


Рисунок 4.1 – Формоутворення при нарізанні зубців
у циліндричних коліс та рейок

Профіль різців відповідає профілю западин зубців, що нарізають. Гребінку використовують лише при нарізанні зубців зовнішнього зачеплення.

Рейки нарізають з прямими чи косими зубцями за допомогою зуборізних довбачів (рис. 4.1, з) на рейкодвбальних верстатах.

Евольвентний профіль зуба отримують за допомогою методу копіювання (рис.4.1, в) при використанні зубодовбальних головок, в усіх інших випадках – користуються методом обкату.

У верстатах, в яких використовують метод обкату для утворення профілю зубців, є дві формоутворюючі групи – проста $\Phi_v(\Pi_1)$ і складна $\Phi_v(\Pi_1 O_2)$ – для гвинтових коліс (рис. 4.2), а в тих, де користуються методом копіювання, – лише одна, проста $\Phi_v(\Pi_1)$ – зворотно-поступальний рух головки.

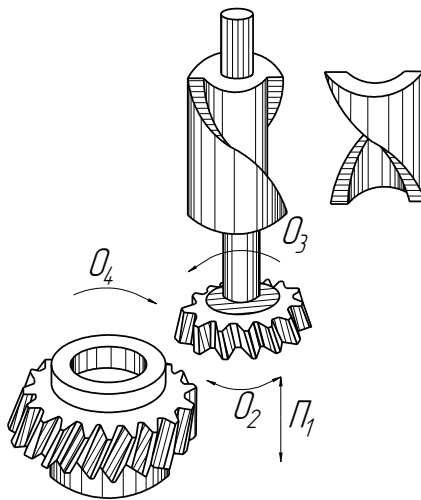


Рисунок 4.2 – Схема нарізання довбачем гвинтових зубців циліндричного колеса

У вказаних групах внутрішній зв'язок забезпечується зв'язком кінематичної пари: $\Phi_v(\Pi_1)$ – повзун – прямолінійна напрямна (прямолінійна пара); $\Phi_v(\Pi_1 O_2)$ – гвинтова пара (повзун – гвинтова напрямна змінних копівів).

Зовнішній зв'язок груп Φ_v забезпечується кінематичним ланцюгом 1-2-3 (рис.4.3), з органом налагодження – гітарою i_v .

Складною формоутворюючою групою є група подачі, що створює повільний рух обкату $\Phi_s(O_3O_4)$ – обкат довбача відносно колеса (рис. 4.1, а), чи рух $\Phi_s(\Pi_3O_4)$ – обкат зуборізної рейки відносно колеса (рис. 4.1, б).

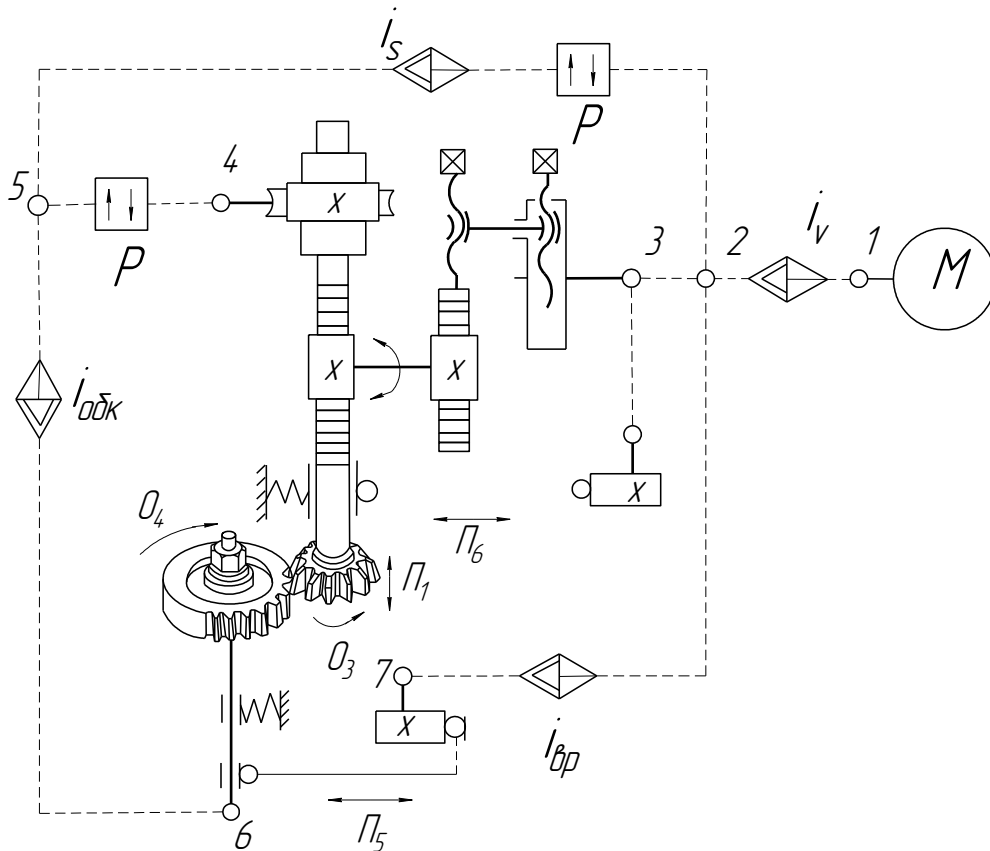


Рисунок 4.3 – Структурна кінематична схема зубодовбального верстата

Внутрішній зв'язок групи $\Phi_s(O_3O_4)$ забезпечується кінематичним ланцюгом 4-5-6 (рис. 4.2) з органом налагодження $i_{обк}$, а зовнішній – ланцюгом 1-2-5 і органом налагодження i_s .

В зубодовбальних верстатах для нарізання циліндричних коліс є група радіального врізання $Vp(\Pi_s)$. Внутрішній зв'язок цієї групи – каретка столу – напрямна станина; зовнішній зв'язок – ланцюг 1-2-7 з використанням кулачка і органу налагодження $i_{вр}$.

Всі зубодовбальні верстати повинні мати механізм для забезпечення ділильного процесу. Але більшість верстатів самостійних ділильних груп не має. Винятком є верстати для нарізання коліс зуборізними гребінками. В та-

кому випадку кінематична структура верстата містить групу $D(O_6)$, що створює ділильний рух.

При кінематичному налагодженні необхідно забезпечити такі розрахункові переміщення:

- для групи головного руху Φ_v (орган налагодження – гітара i_v).

$$n_m \equiv K_{n.x.} \text{ повзуна,} \quad (4.1)$$

де k – число подвійних ходів повзуна;

- для групи подач $\Phi_s(O_3O_4)$ внутрішній ланцюг 4-5-6 повинен забезпечувати гітарою $i_{обк.}$ умову кінематичного узгодження обертання заготовки і довбача:

$$i_{об.заг.} \equiv \frac{z_{заг.}}{z_{довб.}} \text{ об.довб.,} \quad (4.2)$$

де $z_{заг.}$ – число зубців колеса, яке нарізають;

$z_{довб.}$ – число зубців довбача.

- для групи $\Phi_s(\Pi_3O_4)$, при використанні зуборізної гребінки, внутрішній ланцюг повинен забезпечувати умову кінематичного узгодження переміщень рейки з обертанням заготовки

$$i_{об.заг.} \equiv \pi \cdot m \cdot z_{зуб.рейки}, \quad (4.3)$$

де m – модуль зубців колеса, що нарізають, або (рис. 4.1, з)

$$i_{об.довб.} \equiv \pi \cdot m \cdot z_{заг.рейки}. \quad (4.4)$$

- налагодження руху подачі – через гітару подачі i_s , яка повинна забезпечувати такі умови узгодження переміщень повзуна з обертанням довбача:

$$i_{повд.хід.повз.} \equiv \frac{S_{дуг.}}{\pi \cdot m \cdot z_{довб.}} \text{ об.довб.,} \quad (4.5)$$

де $S_{дуг.}$ – переміщення по діаметру початкового кола довбача за один подвійний хід.

§ 4.2 Кінематичне налагодження верстату моделі 5140

Зубодовбальний верстат моделі 5140 призначений для нарізання циліндричних коліс з прямими чи косими зубцями зовнішнього та внутрішнього зачеплення.

Технічна характеристика:

- найбільший модуль колеса, яке нарізають, мм.....8
- найбільший зовнішній діаметр, мм.....500
- найбільша ширина вінця, мм.....100
- найбільший кут спіралі, град..... ± 35
- найменший діаметр довбача, мм.....100

Верстат працює методом обкочування. Обробка зубців коліс може здійснюватися в один, два чи три робочих ходи в автоматичному циклі (зі зміною режимів обробки).

Розглянемо кінематичне налагодження зубодовбального верстата моделі 5140, кінематична схема якого зображена на рис. 4.4.

• *Головний рух* (зворотно-поступальний рух довбача) здійснюється від двошвидкісного електродвигуна M_1 через коробку швидкостей, пасові передачі, кулісний механізм до штоселя довбача.

$$n_m \equiv n_{n.x.} \quad (4.6)$$

$$n_{m1} \frac{100}{160} \cdot i_{к.ш.} \cdot \frac{180}{355} = n_{n.x./xв.}^{довб.},$$

де $i_{к.ш.}$ – передаточне відношення коробки швидкостей.

Коробка швидкостей забезпечує 6 значень подвійних ходів при чорновій ($n_m = 940$ об/хв) і 6 при чистовій обробці ($n_m = 1420$ об/хв) в межах від 65 до 450 п.х./хв.

• *Рух обкату* (ділення) забезпечує узгоджене обертання довбача і заготовки

$$1_{об.довб.} \equiv \frac{Z_d}{Z} заг. \quad (4.7)$$

Рівняння кінематичного балансу і формула налагодження двопарної гітари обкочування:

$$i_{об.довб.} \cdot \frac{90}{1} \cdot \frac{56}{46} \cdot \frac{46}{54} \cdot \frac{54}{36} \cdot i_x \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{32}{32} \cdot \frac{38}{56} \cdot \frac{1}{190} = \frac{z_\partial}{z};$$

$$i_x = \frac{3z_\partial}{z}, \quad (4.8)$$

де z_∂ – число зубців довбача;

z – число зубців колеса, що нарізають.

- Рух кругової подачі – поворот довбача за подвійний хід.

Розрахункове переміщення кінцевих ланок

$$l_{n.x.довб.} \equiv \frac{S_{кр.}}{\pi \cdot D_\partial} \quad (4.9)$$

Рівняння кінематичного балансу:

$$l_{n.x.довб.} \cdot \frac{355}{180} \cdot \frac{2}{24} \cdot \frac{44}{50} \cdot \frac{45}{40} \cdot \frac{40}{44} \cdot i_{к.п.} \cdot \frac{36}{54} \cdot \frac{54}{46} \cdot \frac{46}{56} \cdot \frac{1}{90} = \frac{S_{кр.}}{\pi \cdot D_\partial},$$

з якого отримуємо співвідношення для налагодження коробки подач $i_{к.п.}$:

$$i_{к.п.} = \frac{5,249 S_{кр.}}{\pi \cdot D_\partial}, \quad (4.10)$$

де $S_{кр.}$ – колова подача, мм/п.х. довбача;

D_∂ – діаметр початкового кола довбача;

$i_{к.п.}$ – передатне відношення коробки передач.

Коробка подач забезпечує вісім ступенів подач в діапазоні від 0,14 до 0,75 мм/п.х. довбача.

- Рух радіальної подачі забезпечує переміщення заготовки в радіальному напрямку до повної глибини нарізання.

Гідроциліндр “б” приводить в рух клиновидний повзун “а”, що надає переміщення парі "гвинт-гайка", завдяки якій і здійснюється радіальне переміщення заготовки. Заготовка закріплюється на столі, який може переміщуватись горизонтальними напрямними станини.

- Прискорений рух обертання заготовки здійснюється від двигуна M_2 ($n = 1350$ об/хв) при встановленій в середньому положенні муфти М

$$n_{M_2} \cdot \frac{90}{140} \cdot \frac{38}{56} \cdot \frac{1}{190} = n_{x.x.}, \quad (4.11)$$

де $n_{x.x}$ – частота обертання деталі при холостому ході.

§4.3 Аналіз переміщення інструменту і заготовки при нарізанні зубчастих коліс на зубофрезерному верстаті

Зубофрезерні верстати призначені для нарізання циліндричних коліс з прямими і гвинтовими зубцями зовнішнього зачеплення за допомогою фасонних дискових (рис. 4.5, а) і фасонних пальцевих (рис. 4.5, б), а також черв'ячних модульних фрез (рис. 4.5, в). Якщо верстат оснащено гвинтом радіального чи тангенційного переміщення інструменту відносно заготовки, то на такому верстаті за допомогою черв'ячних фрез можна нарізати черв'ячні колеса. Такий верстат відноситься до універсальних зубофрезерних верстатів. Профіль зубців утворюється методом копіювання чи методом обкочування, а форма по довжині – методом дотику.

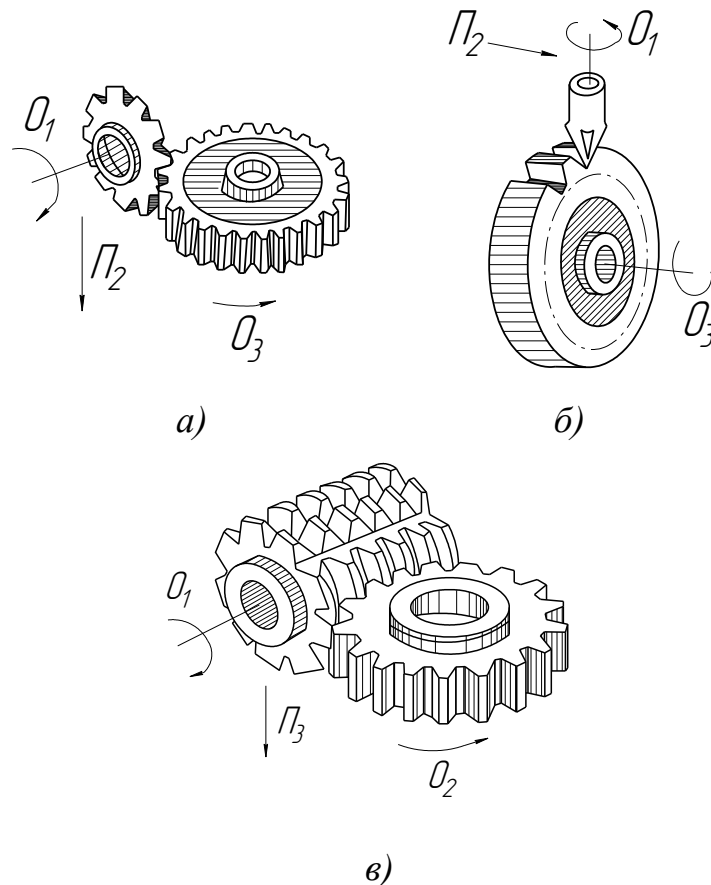


Рисунок 4.5 – Формоутворення зубців циліндричних коліс за допомогою фрез: а – фасонна; б – фасонна пальцева; в – черв'ячна модульна

Верстати, в яких використано метод копіювання в поєднанні з методом дотику при нарізанні фасонними дисковими чи пальцевими, фрезами, мають прості структури, що складаються з двох простих груп $\Phi_V(O_1)$ і $\Phi_S(\Pi_2)$, а також групу ділення $D(O_3)$ (рис. 4.5, а, б).

На відміну від згаданих, верстати, в яких використано метод обкочування при нарізанні коліс черв'ячними фрезами, мають значно складнішу структуру. У таких верстатах їх структура містить дві чи три формоутворювальні групи і відсутня окрема група ділення. Для утворення профілю зубців застосовують складний рух $\Phi_V(O_1O_2)$, а для форми зубця по довжині для прямих зубців застосовують рух подачі $\Phi_S(\Pi_3)$, для гвинтового – $\Phi_S(\Pi_3O_4)$. При фрезеруванні гвинтових зубців з діагональною подачею для забезпечення форми зубця по довжині необхідні два складних рухи – $\Phi_{S1}(\Pi_3O_4)$ і $\Phi_{S2}(\Pi_5O_6)$.

Формоутворення зубців черв'ячних коліс здійснюється методом радіального (рис. 4.6, а) чи тангенційного (рис. 4.6, б) врізання. При першому методі користуються гвинтом радіального переміщення. Бічна поверхня зубців по профілю і довжині формується одним складним рухом $\Phi_V(O_1O_2)$.

Радіальне врізання фрези в заготовку здійснюється рухом врізання $Vp(\Pi_7)$. При другому методі користуються гвинтом тангенціального переміщення і спеціальною фрезою. Профіль та форма зубців забезпечується групою $\Phi_V(O_1O_2)$. Тангенціальне врізання – групою $\Phi_{S2}(\Pi_5O_6)$. Цей метод є більш точним.

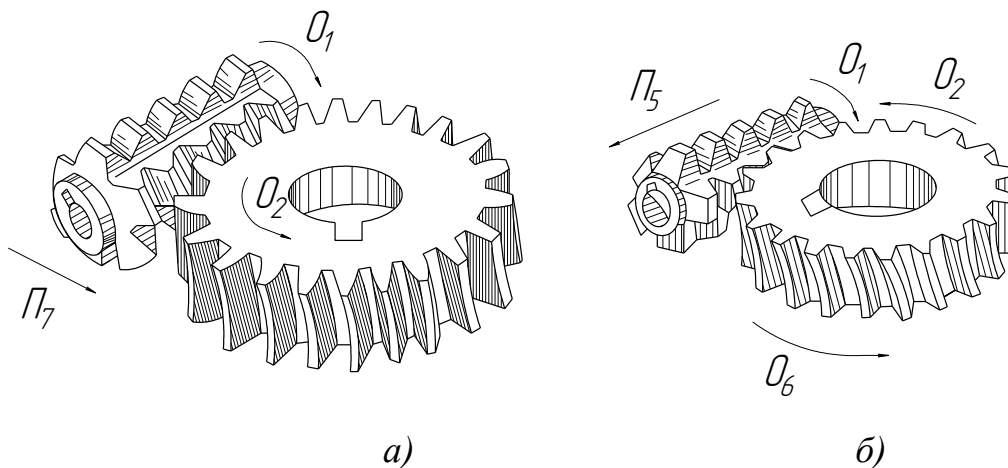


Рисунок 4.6 – Формоутворення зубців черв'ячного колеса методами врізання: а – радіального; б – тангенціального

На рис.4.7 зображена кінематична структура універсального зубофрезерного верстата. Розглянемо основні переміщення в кінематичних ланцюгах верстата.

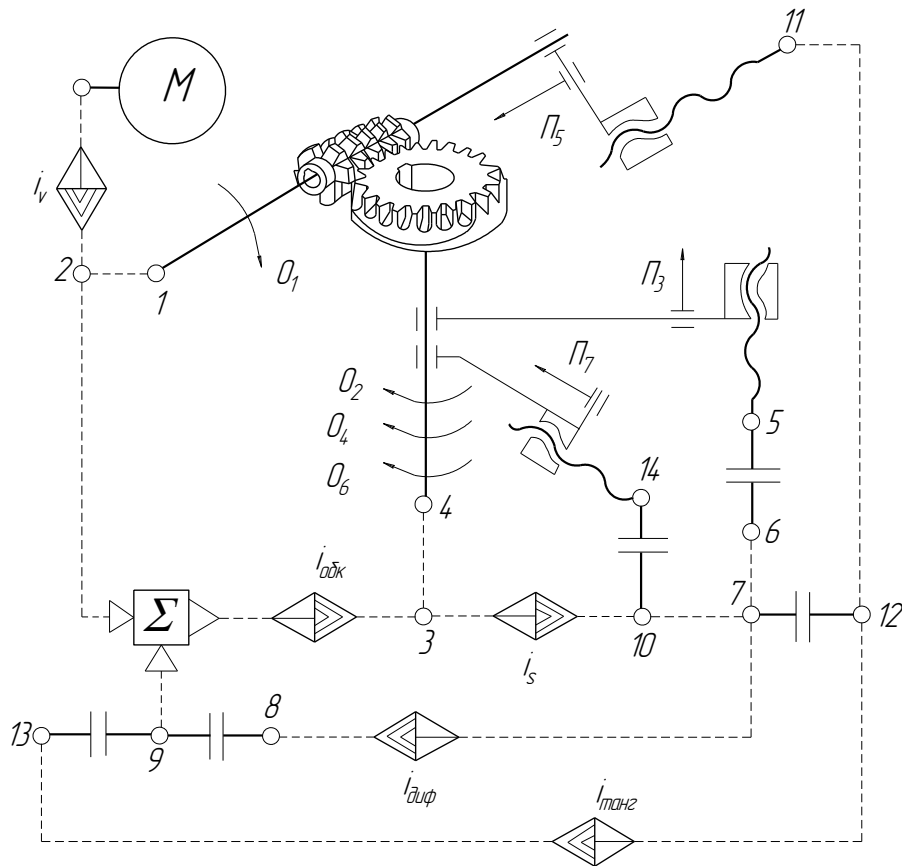


Рисунок 4.7 – Кінематична структура універсального зубофрезерного верстата

- Швидкість руху черв'ячної фрези налагоджується гітарою i_v :

$$n_m \equiv n_{фр.} \quad (4.12)$$

- Ланцюгом обкочування чи профілювання і одночасно ділення є внутрішній кінематичний ланцюг 1-2-3-4, що зв'язує шпиндель фрези з шпинделем заготовки через гітару обкочування $i_{обк}$ і забезпечує узгоджене переміщення кінцевих ланок:

$$1_{об.фрези} \equiv \frac{k}{z} об.заг., \quad (4.13)$$

де k – число заходів фрези;

z – число зубців колеса, яке нарізають.

• Внутрішній ланцюг 5-6-7-8-9-3-4 руху подачі $\Phi_{S1}(II_3O_4)$ називають диференціальними, і він з'єднує через диференціал гайку вертикального ходового гвинта, яка жорстко зв'язана зі столом чи супортом фрези, зі шпинделем заготовки через гітару $i_{\text{диф}}$. При цьому забезпечується умова кінематичного узгодження відносного переміщення фрези вздовж осі заготовки з її обертанням вигляду:

$$1_{\text{об.заг.}} \equiv T, \text{ мм.фр.} \quad (4.14)$$

де T – крок гвинтової лінії зуба;

$$T = \frac{\pi \cdot m_H \cdot z}{\sin \beta}, \quad (4.15)$$

де m_H – нормальний модуль;

β – кут нахилу гвинтового зубця.

• Швидкість руху подачі $\Phi_{S1}(II_3O_4)$ налагоджується гітарою подачі i_S через ланцюг 4-3-10-7-6-5 за співвідношенням

$$1_{\text{об.заг.}} \equiv S_v \text{ мм. фр.} \quad (4.16)$$

У верстатах, що мають групу руху поздовжньої подачі $\Phi_S(II_3O_4)$ з власним двигуном M_2 , умова узгодження переміщення кінцевих ланок має вигляд:

$$n_{M_2} \equiv S_n \text{ мм/хв.}, \quad (4.17)$$

де S_n – подача фрези чи заготовки в залежності від зв'язку гайки вертикального ходового гвинта з супортом фрези чи з столом.

• Внутрішній ланцюг 11-12-13-9-3-4 з гітарою $i_{\text{танг}}$ використовують для групи тангенціального врізання $\Phi_{S2}(II_5O_6)$ при нарізанні черв'ячного колеса методом тангенціального врізання і він повинен забезпечувати узгоджене переміщення кінцевих ланок вигляду:

$$L_{\text{мм.фр.}} \equiv \frac{L}{\pi m z} \text{ об.заг.} \quad (4.18)$$

Швидкість цього переміщення визначається узгодженим переміщенням кінцевих ланок ланцюга осьових подач 4-3-10-7-12-11 і налагодженням гітари i_S , з врахуванням співвідношення

$$i_{об.заг.} \equiv S_{0мм.фр.} \quad (4.19)$$

§ 4.4 Кінематичне налагодження зубофрезерного верстату моделі 5К324А

Для прикладу розглянемо кінематичне налагодження універсального зубофрезерного верстата моделі 5К324А (рис. 4.8).

Технічна характеристика:

- найбільший модуль колеса, що нарізають, мм.....8
- найбільший діаметр колеса, що нарізають, мм.....500
- найбільша ширина вінця, мм.....300
- найбільший кут спіралі, град.....± 60
- найменше число зубців колеса, яке нарізають,.....12

Нарізання зубчастих коліс проводиться методом обкату з використанням "супутнього" чи "зустрічного" способів фрезерування. Черв'ячні колеса нарізаються способом радіального врізання. Цикл роботи верстата автоматизований. Всі робочі та допоміжні рухи здійснюються автоматично.

- *Головний рух* (обертання черв'ячної фрези) здійснюється від електродвигуна M_1 ($n = 1460$ об/хв):

$$n_{м1} \equiv n_{фр.} \quad (4.20)$$

$$n_{м1} \frac{116}{234} i_v \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{17}{68} = n_{фр.}$$

при $n_{м1} = 1460 \text{ кв}^{-1}$

$$i_v = \frac{n_{фр.}}{180}$$

Гітара i_v – однопарна, з $\Sigma z = 87$ і забезпечує отримання 9 ступенів частот обертання фрези в межах від 50 до 310 об/хв.

- *Рух обкату (ділення)* забезпечує узгоджене обертання фрези та заготовки

$$i_{об.фр.} \equiv \frac{K_{ф}}{Z} об.заг.$$

З рівняння кінематичного балансу

$$1_{об.фр.} \cdot \frac{68}{17} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{27}{27} \cdot i_{\partial 1} \cdot \frac{e}{f} \cdot i_x \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{96} = \frac{\kappa_{\phi}}{z} \quad (4.21)$$

отримуємо формулу налагодження при $i_{\partial 1} = 1$:

$$i_x = \frac{24\kappa_{\phi}}{z} \cdot \frac{f}{e}, \quad (4.22)$$

де z – число зубців нарізованого колеса;

κ_{ϕ} – число заходів фрези;

f, e – зубчасті колеса перебору.

При $z = 12 \dots 161$ встановлюють змінні колеса перебору $\frac{f}{e} = \frac{54}{54}$, тоді:

$$i_x = \frac{24\kappa_{\phi}}{z}, \quad (4.23)$$

При $z \geq 162$ встановлюють колеса $\frac{f}{e} = \frac{72}{36}$, а тому:

$$i_x = \frac{48\kappa_{\phi}}{z} \quad (4.24)$$

• Рух подачі забезпечує переміщення фрези у вертикальному чи горизонтальному напрямках відносно заготовки. При прямій подачі електромагнітна муфта M_3 ввімкнена, M_4 вимкнена.

Під час вертикальної подачі електромагнітна муфта M_2 ввімкнена, а M_1 – вимкнена. Рух налагодження здійснюється через гітару i_y :

$$1_{об.заг.} \equiv S_e,$$

$$1_{об.заг.} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{44}{44} \cdot i_y \cdot \frac{39}{65} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10 = S_e \quad (4.25)$$

звідки отримуємо формулу налагодження

$$i_y = 0,5 \cdot S_e \quad (4.26)$$

При радіальній подачі електромагнітна муфта M_1 ввімкнена, а M_2 – вимкнена і рух здійснюється по кінематичному ланцюгу, що визначає таке рівняння кінематичного балансу і формулу налагодження гітари i_y :

$$1_{об.заг.} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{24} \cdot \frac{44}{44} \cdot i_y \cdot \frac{39}{65} \cdot \frac{45}{50} \cdot \frac{34}{61} \cdot \frac{1}{36} \cdot 10 = s_p, \quad (4.27)$$

$$i_y = 1,6 \cdot s_p. \quad (4.28)$$

Гітара i_y однопарна з $\Sigma z = 96$, забезпечує сім ступенів подач в межах (0,8...5) мм/об – вертикальна і (0,3...1,7) мм/об – радіальна.

- *Диференційний рух* задіяний при нарізанні циліндричних коліс з косими зубцями. При цьому русі заготовка отримує додаткове обертання при вертикальному переміщенні фрези.

Умова кінематичного узгодження кінцевих ланок:

$$1_{об.заг.} \equiv T_{мм фр},$$

а рівняння кінематичного балансу:

$$\frac{L}{10} \cdot \frac{24}{1} \cdot \frac{33}{22} \cdot i_\varphi \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{1}{45} \cdot i_{\partial 2} \cdot \frac{e}{f} \cdot i_x \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{96} = \frac{L}{T}, \quad (4.29)$$

де L – переміщення фрези у вертикальному напрямку, мм;

$i_{\partial 2} = 2$ – передатне відношення диференціала;

T – крок гвинтової нарізки колеса.

При $\frac{e}{f} = \frac{54}{54}$, $i_x = \frac{24\kappa_\phi}{z}$ та $T = \frac{\pi \cdot m_H \cdot z}{\sin \beta}$ з (4.29) отримаємо формулу налагодження гітари i_φ :

$$i_\varphi = \frac{7,95775 \sin \beta}{m_H \cdot \kappa_\phi}, \quad (4.30)$$

де β – кут нахилу зубців колеса;

m_H – нормальний модуль, мм.

- *Рух прискорених переміщень каретки супорта та столу* здійснюється від двигуна M_2 ($n = 1440$ об/хв)

Для радіальних переміщень рівняння кінематичного балансу має вид:

$$n_{M2} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{36}{60} \cdot \frac{45}{50} \cdot \frac{34}{61} \cdot \frac{1}{36} \cdot 10 = s_{n.p}, \quad (4.31)$$

а для вертикальних (рух каретки супорта) –

$$n_{M2} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{36}{60} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10 = s_{n.в}. \quad (4.32)$$

• *Періодичні рухи фрези в осьовому напрямку* забезпечуються від електродвигуна М3 по кінематичному ланцюгу

$$n_{M3} \cdot \frac{1}{20} \cdot \frac{1}{62} \cdot p_t = s_0, \quad (4.33)$$

де p_t – крок гвинтової нарізки.

§ 4.5 Зубофрезерний напівавтомат 53A20Ф4 з ЧПК

Напівавтомат призначений для нарізання зубців прямозубих і косозубих циліндричних коліс, черв'ячних коліс, а також коліс з конусним і бочкоподібним зубом в одиничному і дрібносерійному виробництві. Клас точності верстата П.

Технічна характеристика верстата:

- найбільший діаметр оброблюваних зубчастих коліс (прямозубих), мм.....200;
- найбільший модуль, що нарізають, мм.....6;
- діапазон частот обертання фрези, хв⁻¹.....80...300;
- діапазон подач радіальної і вертикальної, мм/хв.....1...300,
тангенціальної, мм/хв.....0,5...80;
- величини подач на швидкому ході
радіальної і вертикальної, мм/хв.....1000;
тангенціальної, мм/хв.....500;
- габаритні розміри верстата, мм.....3555×3250×3030;
- пристрій ЧПК на базі МІКРО-ЕОМ «Електроніка-60» типу 2С85-62;
- число керованих координат, всього.....5;
- одночасно керованих.....4;
- коефіцієнт розподілу кроку.....200;
- дискретність переміщень по координатах X, Y, мм.....0,0025;
Z, мм.....0,001.

На пульті ЧПК у відповідному кодї встановлюють такі параметри оброблюваного зубчастого колеса: число зубців z , модуль m , ширину вінця b , зовнішній діаметр d_a , синус кута нахилу зубців, напрям гвинтових ліній колеса і фрези, зовнішній діаметр фрези d_{a0} і її число заходів z_f . На пульті ЧПК задаються також частоти обертання фрези при чорновому і чистовому робочих ходах, кодовий номер положення перебору фрези, номер діапазону подачі й ін.

Керування роботою напівавтомата здійснюється за допомогою постійних програм, закладених в пам'ять системи ЧПК, зазвичай це п'ять основних найскладніших циклів обробки зубчастих коліс, на базі яких будуються спрощені цикли обробки.

Основні механізми, принцип роботи і рухи у верстаті.

На рис. 4.9 наведена кінематична схема зубофрезерного напівавтомата 53A20Ф4 з ЧПК. Станина A напівавтомата має коробчасту форму, по її прямокутних напрямних переміщається стояк з інструментальним супортом B . Стояк притискається до напрямних чотирма гідравлічними затискачами. На столі Γ розміщений шпиндель заготовки, яка притискається кронштейном контрпідтримки B . Супорт розташований на каретці, що має круговий паз, в який входять гідравлічні затискачі супорта. Для обробки всієї номенклатури заготовок верстат повинен мати такі рухи, керовані пристроєм ЧПК: головний рух — обертання фрези (координата U); подачі: вертикальну фрезерної каретки (координата Y); радіальну стояка (координата X), тангенціальну інструмента (координата Z), обертання деталі (координата W). Переміщення черв'ячної фрези по координаті Z застосовують при нарізанні черв'ячних коліс методом протягування або при нарізанні циліндричних коліс для повного використання ріжучої частини фрези.

Взаємопов'язане обертання приводів по координатах W , U і Y використовують для обробки циліндричних коліс; по координатах W , U , Y і Z — зубця черв'ячних коліс і черв'яків; по координатах Y і X — зуба бочкоподібного і конусного.

На верстаті колеса модулем до 2 мм нарізають за один робочий хід при точності обробки до 7-го ступеня і в два робочі ходи при точності вище 7-го ступеня. Колеса модулем 3...6 мм нарізають за два робочі ходи при чистовій обробці, а також при чорновій обробці під подальшу чистову.

На нижньому кінці шпинделя заготовки закріплене зубчасте колесо $z = 120$ гальмування. Гальмування здійснюється гідромотором ГД. Черв'як ділильної пари виконаний із змінним кроком для регулювання зазору в передачі.

Можливі такі модифікації обробки в циклах при обробці прямозубих і косозубих коліс: з радіальним врізанням і без врізання; із зустрічною і супутньою подачею; за один і два робочі ходи; при обробці черв'ячних коліс:

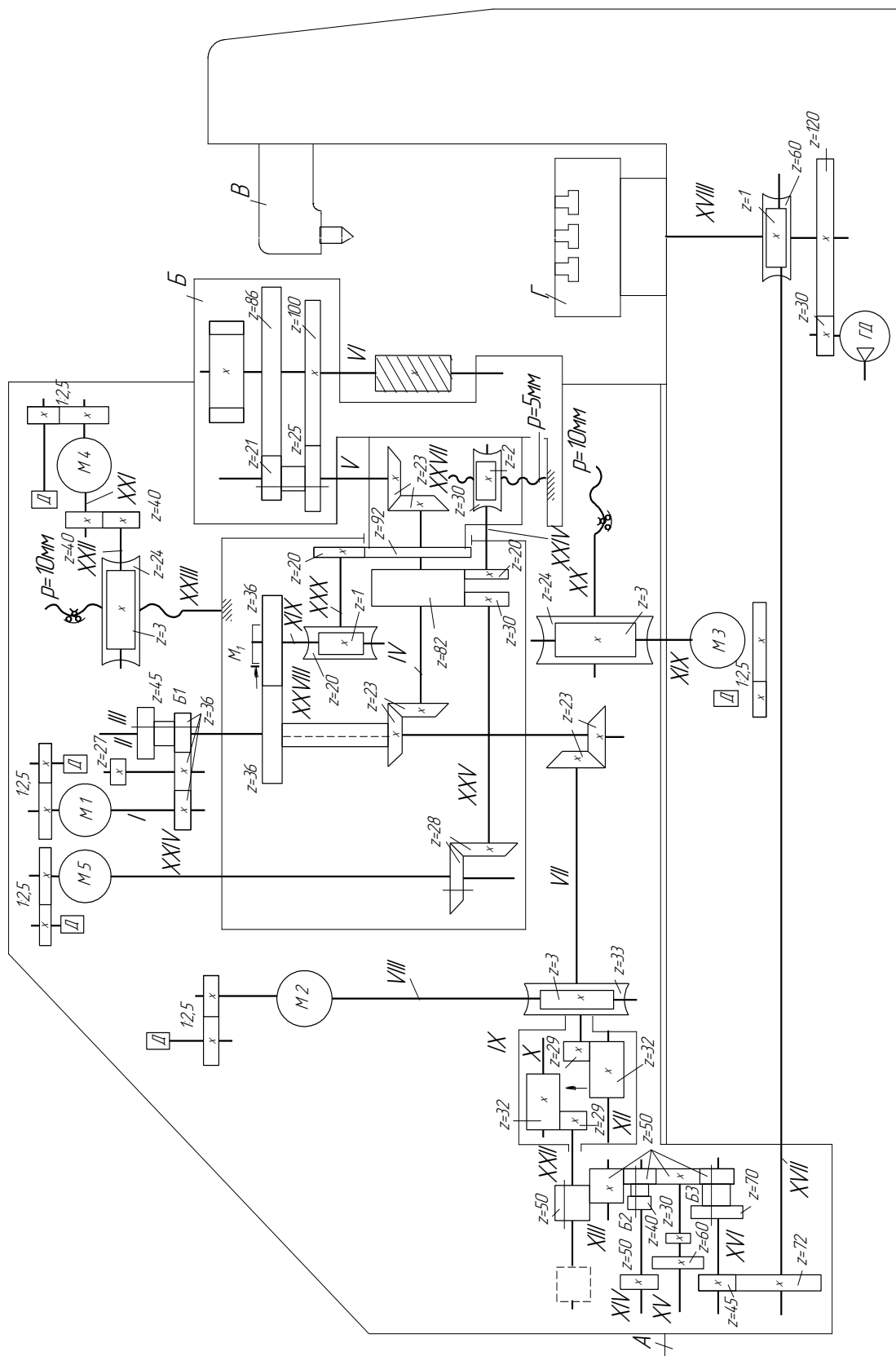


Рисунок 4.9 – Кінематична схема зубофрезерного напівавтомату 53А20Ф4 з ЧПК

з радіальним врізанням і без врізання, з протяганням вправо або вліво, без протягання.

Кінематика напівавтомата виконана з жорстким зв'язком в ланцюзі ділення і безгітарним налагодженням зв'язків обертання заготовки і інструмента, переміщень інструмента і заготовки. Узгодження рухів в напівавтоматі здійснюється додатковим обертанням диференціала, вбудованого в кінематичний ланцюг ділення. Швидкості обертання приводу диференціала узгоджені з обертанням і переміщенням інструмента через інтерполятори пристрою ЧПК.

• *Головний рух* здійснюється від двигуна постійного струму М1 ($N = 7$ кВт, $n = 1200$ хв⁻¹), який живиться від тиристорного перетворювача. Рух шпинделю фрези передається через зубчасту пару $z = 36 - 36$, блок *Б1*, зубчасті пари $z = 23 - 23$, $z = 23 - 23$, $z = 25 - 100$. При перемиканні блока *Б1* одержуємо два діапазони частот обертання фрези $80 \dots 180$ хв⁻¹ і $181 \dots 300$ хв⁻¹. Частота обертання фрези визначається за формулою

$$n_{fp} = \frac{f_v \cdot 60 \cdot i_{Б1}}{2,5 \cdot 200 \cdot 4}, \text{ хв}^{-1}, \quad (4.34)$$

де f_v – частота керування приводом фрези;
 $i_{Б1}$ – передатне відношення блоку *Б1*;
 2,5 – передатне число мультиплікатора резольвера головного приводу;
 200 – коефіцієнт розподілу кроку (з характеристики пристрою ЧПК);
 4 – постійне передатне число зубчастих коліс приводу.

Тоді частота керування приводом (Гц)

$$f_v = \frac{100}{3} \cdot \frac{n_{fp}}{i_{Б1}}. \quad (4.35)$$

На шпиндель *VI* насаджений маховик з вбудованим в нього фрикційним гальмом. Гальмо складається із зубчастих коліс $z = 21 - 86$ з передаточним відношенням на 0,1 більше, ніж передаточне відношення коліс $z = 25 - 100$, що примушує їх обертатися з проковзуванням щодо маховика, в якому знаходяться притискні кулачки. Зусилля затискання кулачків до фрикційного диска, що жорстко сидить на колесі $z = 86$, регулюється пружинами.

Рухи подачі. В приводі подач по координатах X , Y , Z , W' на верстаті використовуються високомоментні двигуни постійного струму.

Радіальна подача фрези (координата X) здійснюється від електродвигуна М3 ($N = 1,7$ кВт, $n = 800$ хв⁻¹) через черв'ячну передачу $z = 3 - 24$ і гвинт-гайку кочення з кроком $p = 10$ мм. Частота керування приводом радіальної подачі f_x визначається з рівняння кінематичного балансу

між частотою обертання двигуна М3 і радіальною подачею S_x від ходового гвинта:

$$\frac{f_x \cdot 60}{2,5 \cdot 200} \cdot \frac{3}{24} 10 = S_x, \text{ мм/хв}, \quad (4.36)$$

звідки $f_x = \frac{20}{3} S_x$, Гц.

Дискретність переміщення по координаті X

$$\Delta_x = \frac{1}{2,5 \cdot 200} \cdot \frac{3}{24} 10 = 0,0025 \text{ мм}. \quad (4.37)$$

Вертикальна подача фрези (координата Y) здійснюється від електродвигуна М4 ($N = 1,7$ кВт, $n = 800$ хв⁻¹) через передачі $z = 40 - 40$, $z = 3 - 24$ і гвинт-гайку кочення з кроком $p = 10$ мм.

За один оберт столу фреза проходить уздовж осі колеса відстань, рівну величині вертикальної подачі S_y , за цей же час фреза зробить z/z_1 обертів, де z – число зубців, що їх нарізають, z_1 – число заходів фрези.

Тоді,

$$\frac{z}{z_1} \cdot \frac{100}{25} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{1}{i_{Б1}} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{1}{f_v} \cdot f_y \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{3}{24} \cdot 10 = S_y, \quad (4.38)$$

де f_y – частота управління приводом вертикальної подачі, Гц.

Дискретність переміщення по координаті Y

$$\Delta_y = \frac{1}{2,5 \cdot 200} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{3}{24} 10 = 0,0025 \text{ мм}. \quad (4.39)$$

Тангенціальна подача фрези (координата Z) здійснюється електродвигуном М5 ($N = 1,7$ кВт, $n = 1000$ хв⁻¹), через зубчаті пари $z = 28 - 28$, $z = 30 - 82$, $z = 82 - 20$, черв'ячну передачу $z = 2 - 30$ і гвинт-гайку кочення з кроком $p = 5$ мм. Рівняння кінематичного балансу пов'язує обертання фрези з її переміщенням S_z (мм) за один оберт столу (фреза за цей час зробить z/z_1 обертів).

Тоді

$$\frac{z}{z_1} \cdot \frac{100}{25} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{1}{i_{Б1}} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{1}{f_v} \cdot f_z \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{30}{82} \cdot \frac{82}{20} \cdot \frac{2}{30} \cdot 5 = S_z, \quad (4.40)$$

звідки

$$f_z = \frac{1}{2} \cdot \frac{z_1 \cdot i_{Б1} \cdot S_z}{z} f_v [\text{Гц}].$$

Дискретність переміщення по координаті Z

$$\Delta_z = \frac{1}{2,5 \cdot 200} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{30}{82} \cdot \frac{82}{20} \cdot \frac{2}{30} 5 = 0,001 \text{ мм}. \quad (4.41)$$

Обертання заготовки (координата W') здійснюється від електродвигуна М1 і через диференціал від електродвигуна дообертання заготовки М2 ($N = 1,7$ кВт, $n = 1000$ хв⁻¹). У кінематичному ланцюзі постійних зв'язків обертання заготовки та інструмента пересувні блоки Б2, Б3 і колесо $Z = 50$ (коробка ділення) забезпечують чотири діапазони чисел зубців нарізуваних коліс.

Знайдемо число зубців, що їх нарізають, прямозубої заготовки z_0 , одержуване тільки встановленням блоків (при нерухомому електродвигуні М2).

Коробка ділення забезпечує такі передатні відношення:

$$\begin{aligned} i_{к.д.1} &= \frac{50}{50} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{45}{72} = \frac{5}{8}; & i_{к.д.2} &= \frac{50}{50} \cdot \frac{40}{60} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{45}{72} = \frac{5}{12}; \\ i_{к.д.3} &= \frac{50}{50} \cdot \frac{30}{70} \cdot \frac{45}{72} = \frac{15}{56}; & i_{к.д.4} &= \frac{50}{50} \cdot \frac{40}{60} \cdot \frac{30}{70} \cdot \frac{45}{72} = \frac{5}{28}. \end{aligned} \quad (4.42)$$

Складемо рівняння кінематичного балансу ланцюга від фрези до столу

$$1 \text{ об. фр.} \cdot \frac{100}{25} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{29}{32} \cdot \frac{32}{29} \cdot i_{к.д.} \cdot \frac{1}{60} = \frac{1}{z_0}. \quad (4.43)$$

Підставляючи отримані вище значення $i_{к.д.}$, отримаємо значення $z_0 = 24, 36, 58, 84$ (параметр z_0 набирається на пульті ЧПК). З цього ж рівняння $i_{к.д.} = 15/z_0$.

Диференціал підключається при нарізуванні зубців прямозубих і косозубих циліндричних коліс, черв'ячних коліс з числом зубців $z \pm z_0$. Тоді частота керування приводом столу f_W' при нарізуванні прямозубих коліс визначається із залежності (фреза \rightarrow стіл) \pm (фреза \rightarrow диференціал \rightarrow стіл).

Загальне рівняння кінематичного балансу ланцюга складають з умови: за один оборот фрези стіл повертається на z_1/z обороту:

$$\begin{aligned} &1 \text{ об. фр.} \cdot \frac{100}{25} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{29}{32} \cdot \frac{32}{29} \cdot \frac{15}{z_0} \cdot \frac{1}{60} \pm \\ &\pm 1 \cdot \frac{100}{25} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{1}{i_{Б1}} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{1}{f_v} \cdot f_W' \cdot \frac{3}{33} \cdot 2 \cdot \frac{15}{z_0} \cdot \frac{1}{60} = \frac{z_1}{z}, \end{aligned} \quad (4.44)$$

де $i_{диф} = 2$ (визначається за формулою Вілліса).

Звідси

$$f_W' = \pm \frac{11}{2} \cdot \frac{i_{Б1}}{2} (z_0 \cdot z_1 - z) f_v.$$

Перетворюючи цей вираз і приймаючи $i_{диф} = f_W'/f_x$, отримаємо формулу числа зубців, що їх нарізають

$$z_k = \frac{11 \cdot z_0 \cdot z_1 \cdot i_{Б1}}{2(\pm i_{диф}) + 11 \cdot i_{Б1}}.$$

Обмежуючи $i_{\text{диф}} = 1$, приймаючи $z_0 = 24$, $z_1 = 1$, $i_{B1} = 0,6$ отримаємо мінімальне число нарізаних зубців

$$z_{\min} = \frac{11 \cdot 24 \cdot 1 \cdot 0,6}{2 \cdot 1 + 11 \cdot 0,6} = 18.$$

При нарізанні косозубих коліс частота управління приводом

$$f'_{W'} = f_{W'} \pm f''_{W'},$$

де $f''_{W'}$ — частота диференціала, що визначається із залежності: за один оберт столу фреза проходить по вертикалі відстань, рівну кроку спіралі T зубця колеса, яке нарізають,

$$T = \frac{\pi m z}{\sin \beta},$$

де β — кут нахилу зубця;

$$1 \text{ об. заг. } \frac{60}{1} \cdot \frac{z_0}{15} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{33}{3} \cdot \frac{1}{f''_{W'}} \cdot f_Y \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{3}{24} 10 = \frac{\pi \cdot m \cdot z}{\sin \beta}. \quad (4.45)$$

Після ряду перетворень отримаємо

$$f'_{W'} = \frac{11}{2} \cdot \frac{i_{B1}}{z} \left[\pm (z_0 \cdot z_1 - z) \pm \frac{z_0 \cdot \sin \beta \cdot z_1 \cdot f_Y}{\pi \cdot m \cdot z} \right] \cdot f_v. \quad (4.46)$$

При нарізанні черв'ячних коліс частота управління приводом диференціала $f''_{W'} = f_{W'} \pm f'''_{W'}$, де $f'''_{W'}$ виводиться із залежності: за $1/z$ обороту заготовки фреза проходить шлях πm . Рівняння балансу відповідного кінематичного ланцюга

$$\frac{1}{z} \cdot \frac{60}{1} \cdot \frac{z_0}{15} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{33}{3} \cdot \frac{1}{f'''_{W'}} \cdot f_Z \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{30}{82} \cdot \frac{82}{20} \cdot \frac{2}{30} 5 = \pi \cdot m, \quad (4.47)$$

звідки

$$f'''_{W'} = 11 \cdot \frac{z_0}{\pi \cdot m \cdot z} f_Z.$$

Поворот супорта відбувається при вмиканні електромагнітної муфти M_I від електродвигуна $M1$ через колеса $z = 36—36$, блок $B1$, $z = 36—36$, $z = 1—20$, $z = 20—92$.

Для обертання супорта передбачено два режими: безрозмірний від поштової кнопки і розмірний на величину, що задається на пристрої ЧПК.

Гідросистема верстата забезпечує перемикання блоків зубчастих коліс в ланцюзі ділення і головного приводу; затискання фрезерного стояка, супорта, контрпідтримки фрезерної оправки, фрезерної каретки, заготовки; переміщення контрпідтримки заготовки; затискання заготовки і фрезерної оправки; гальмування шпинделя заготовки; живлення системи змащування верстата.

§ 4.6 Аналіз переміщення інструменту та заготовки при фінішній обробці зубців циліндричних зубчастих коліс

Для підвищення точності і чистоти обробки бокових поверхонь зубців коліс застосовують способи фінішної обробки:

для термічно необроблених – обкат, шевінгування, припрацювання;

для термічно оброблених – обкат, шліфування, притирання, зубохонінгування, полірування.

Шліфування зубців є найбільш поширеним способом фінішної обробки точних загартованих зубчастих коліс. Після шліфування отримують 4...6-у ступінь точності зубчастих коліс за високої чистоти обробленої поверхні.

Шліфують зубці двома методами – *копіювання* та *обкатка*.

При *копіюванні* застосовують фасонні шліфувальні круги з профілем, що відповідає западині між зубцями (рис. 4.10). Шліфкругу надається головний обертальний рух та зворотно-поступальний рух подачі $\Phi_{s1}(P_2)$ вздовж напрямку зубця (рис. 4.10, а), а також подача на глибину шліфування западини зубця шліфкруг відводиться від заготовки. Після обробки западини зубця відбувається ділительний оберт $\Phi_{s2}(P_3)$ заготовки на заданий кут $D(O_4)$, під час якого проводять механічне правлення абразивного інструмента алмазом за шаблоном.

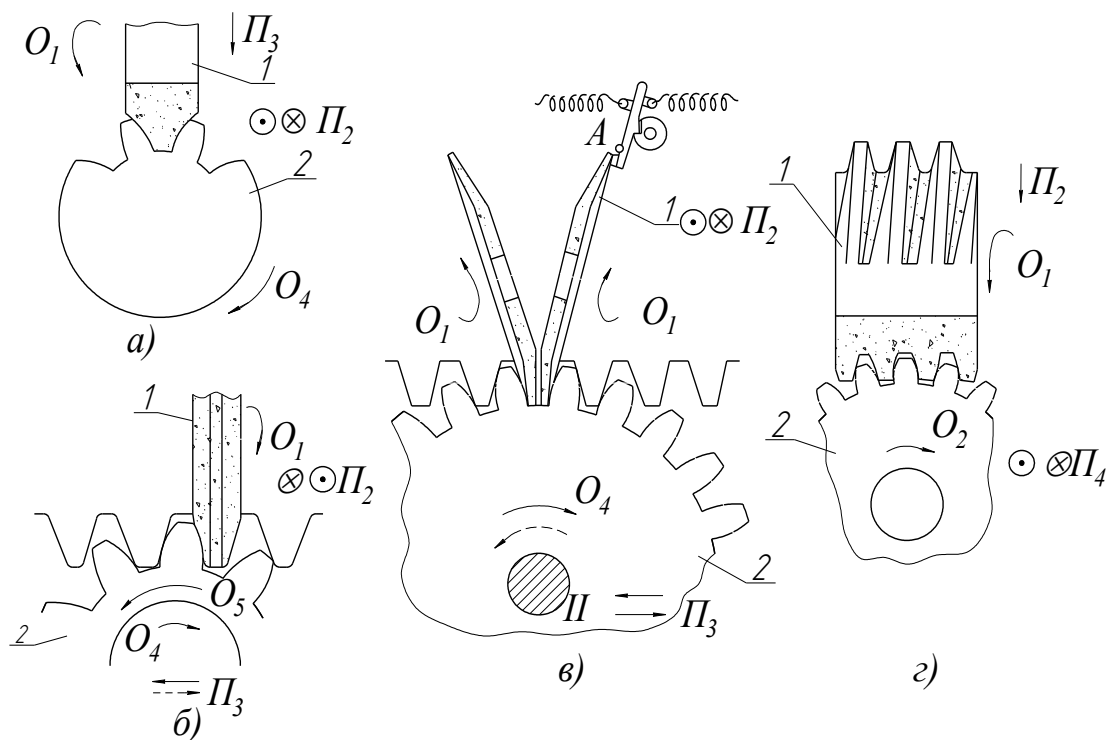


Рисунок 4.10 – Способи шліфування циліндричних зубчастих коліс: 1 – круг; 2 – колесо.

Шліфування за методом *обкочування* здійснюється декількома способами.

При шліфуванні *одним дисковим шліфкругом* (рис. 4.10, б) робочі поверхні при зворотно-поступальному русі створюють площини, які відповідають поверхням зубців вихідного контуру рейки. Шліфкруг при обробці отримує головний обертальний рух та зворотно-поступальний рух вздовж зубця, а заготовка – рух обкочування $\Phi_{s2}(P_3O_4)$, який утворюється її обертальним рухом і одночасним прямолінійним переміщенням (ніби перекочуванням) уявною рейкою. Після обробки заготовка відводиться від шліфкруга і повертається у вихідне положення. Під час холостого ходу відбувається ділильний поворот $D(O_5)$ а також правлення шліфкруга. Далі повторюється повний цикл обробки наступної западини заготовки після підведення її до шліфувального круга.

При обробці *двома дисковими шліфувальними кругами*, (4.10 в) які утворюють зубець твірної рейки, інструменти отримують головний обертальний рух $\Phi_v(O_1)$ та зворотно-поступальний рух вздовж зубця $\Phi_{s1}(P_2)$, а заготовка – рух $\Phi_{s2}(P_3O_4)$ аналогічний обертанню і переміщенню при роботі рейкової пари. Після завершення робочого ходу заготовка відводиться до шліфкруга і переміщується у вихідне положення без обертання, при цьому відбувається автоматичне правлення інструменту. Потім заготовка підводиться до шліф кругів, і цикл обробки повторюється.

При обробці *шліфкругом, який виготовлений у вигляді черв'яка* (рис. 4.10, в), інструмент отримує головний обертальний рух $\Phi_v(O_1)$ та рух радіальної подачі $\Phi_{s1}(P_3)$, а заготовка – обертання узгоджене з обертанням шліфкруга, тобто рух обкочування $\Phi_{s2}(O_1O_2)$ а також повільний рух вертикальної подачі $\Phi_{s3}(P_4)$.

Цей метод обробки є найбільш продуктивним, оскільки обробка зубців проводиться при неперервному діленні.

Шліфкруги виконуються одно- чи двохзаходними діаметром 300...400 мм.

§ 4.7 Аналіз кінематики зубошліфувального верстата моделі 5B833.

Зубошліфувальний верстат моделі 5B833 призначений для шліфування зубців циліндричних прямозубих і косозубих коліс.

Технічна характеристика:

- Модуль оброблюваних зубчастих коліс, що нарізають, мм.....0,5...4
- найбільший зовнішній діаметр, мм.....320
- найбільша ширина колеса, мм.....150
- найбільший кут нахилу зубців, град..... ± 45

Шліфування виконується абразивним черв'яком методом обкочування при неперервному діленні. Кінематична схема верстата наведена на рис. 4.11

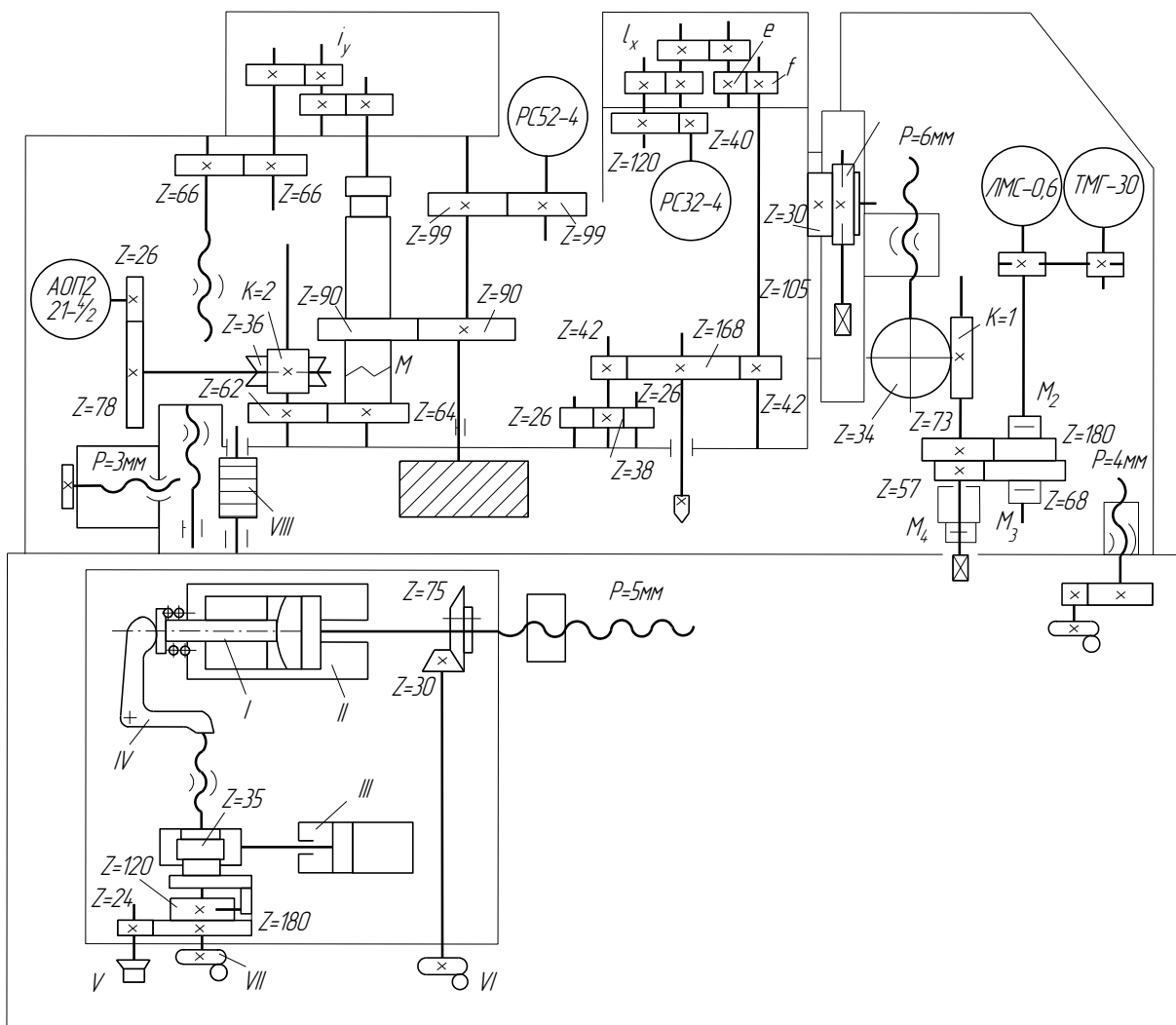


Рисунок 4.11 – Кінематична схема зубошліфувального верстату моделі 5В833

- *Головний рух* – обертання шліфувального круга. Шліфувальний круг отримує постійну частоту обертання від синхронного реактивного електродвигуна РС52-4 ($P = 4$ кВт, $n = 1500$ об/хв). Під час шліфування зубчастого колеса муфта M_1 , розімкнута і шестерні $z = 90$ і $z = 90$ не зачіпляються.

$$n_d \cdot \frac{99}{99} = n_{ш.к.}$$

де $n_{ш.к.}$ – частота обертання шліфувального круга.

- *Рух обкочування* (ділення) забезпечує узгоджене обертання абразивного черв'яка і заготовки, що шліфується. Характерною рисою верс-

тата є наявність у ланцюгу обкочування (ділення) електричного синхронного зв'язку, який здійснюється двома синхронними електродвигунами. Електродвигун РС52-4 приводить в обертання шліфувальний круг, а електродвигун РС32-4 ($P = 1,1$ кВт, $n = 1500$ об/хв) – заготовку, що шліфується. Через те, що обидва електродвигуни мають однакову частоту обертання ($n = 1500$ об/хв, то рівняння кінематичного балансу ланцюга обкочування (ділення), згідно з розрахунковими переміщеннями

$$1_{об.ш.к.} \equiv \frac{k_{ш.}}{z} об.заг,$$

набуде вигляду:

$$1_{об.ш.к.} \cdot \frac{99}{99} \cdot \frac{40}{120} \cdot i_X \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{42}{168} = \frac{k_{ш.}}{z} \quad (4.49)$$

де $k_{ш.}$ – число заходів абразивного черв'яка;
 z – число зубців колеса.

При $z = 12 \dots 32$ встановлюють змінні зубчасті колеса

$$\frac{f}{e} = \frac{60}{60}, \text{ а тому } i_X = \frac{12}{z}.$$

При $z = 24 - 200$

$$\frac{f}{e} = \frac{80}{40} \text{ і формула налагодження } i_X = \frac{24}{z}.$$

При $z = 36 - 200$

$$\frac{f}{e} = \frac{90}{30}, \text{ формула налагодження } i_X = \frac{36}{z}.$$

- *Рух вертикальної подачі* забезпечує зворотно-поступальний рух супорта виробу під час шліфування. Привід вертикальної подачі безступінчатий із муфтою ковзання ПМС-0,6 і з регулюванням тахогенератором ТМГ-30. Виконавчою ланкою переміщення каретки із супортом є пара гвинт-гайка. Реверс руху каретки із супортом здійснюється самим приводом при подачі команди від регульованих упорів. Для збільшення діапазону регулювання величини подачі між приводом ПМС-0,6 і парю гвинт-гайка маємо двоступінчастий зубчастий перебор, що переключається двома електромагнітними муфтами з передатними

відношеннями $i_1 = \frac{52}{73}$ та $i_2 = \frac{68}{57}$

Рівняння кінематичного балансу ланцюга

$$n_{ПМС} \cdot i_{II} \cdot \frac{1}{34} \cdot 6 = S_v, \quad (4.50)$$

- *Рух радіальної подачі* здійснює радіальну подачу бабки шліфувального круга на деталь за кожний хід деталі і відвід бабки після за-

кінчення шліфування.

Ланцюг автоматичної радіальної подачі складається з храпового механізму ($z = 120$) і гідравлічної системи. Гойдальний рух собачці храпового механізму передається гідроциліндром III через рейку, зубчасте колесо $z = 35$. Далі рух передається на ходовий гвинт ($p = 1,5$ мм), що отримує поступальне переміщення і повертає важіль IV. Важіль IV переміщає гідророзподільник I, у результаті чого поршень II переміщає шліфувальну бабку на величину радіальної подачі, встановлювану лімбом V. Ручне переміщення при налагодженні здійснюється маховиком VI через конічну зубчасту пару $\frac{30}{75}$ і ходовий гвинт із кроком $p = 5$ мм. Маховик VII служить для встановлення величини переміщення шліфувальної бабки при шліфуванні заготовки.

- *Рух при правленні шліфувального круга.* Точність оброблення багато в чому залежить від того, наскільки точно зроблена правка профілю витка абразивного черв'яка. У верстаті передбачений спеціальний механізм правлення з ручною подачею правлячого інструмента на абразивний черв'як.

Правлення абразивного черв'яка виконують сталевим багатонитковим накатником VIII, який встановлюють у спеціальному пристосуванні на полозках механізму правлення або алмазним різцем. Накатник приводиться в обертання абразивним черв'яком і переміщається зворотно-поступально уздовж осі шпинделя (строго узгоджено з обертанням абразивного черв'яка).

Розглянемо головний обертальний рух шліфувального круга при правленні. Під час правлення шліфувального круга муфта M_1 включена і зубчасті колеса $z = 90$ і $z = 90$ знаходяться в зачепленні. При цьому шліфувальний круг отримує обертання від електродвигуна АОП2 ($P = 0,7/0,9$ кВт, $n = 1400 / 2720$ об/хв). Рівняння кінематичного балансу

$$n_{\partial} \cdot \frac{26}{78} \cdot \frac{2}{36} \cdot \frac{62}{64} \cdot \frac{90}{90} = n_{ш.к.} \quad (4.51)$$

При $n_{\partial} = 1400$ об/хв – робочий хід, $n_{ш.к.} = 25$ об/хв.

При $n_{\partial} = 2720$ об/хв – робочий хід, $n_{ш.к.} = 49$ об/хв.

Рух подачі накатника забезпечує узгодження переміщення накатника з обертанням шліфувального круга. Рівняння кінематичного балансу і формула налагодження

$$1_{об.ш.к.} \cdot \frac{90}{90} \cdot i_y \cdot \frac{66}{66} \cdot 6,268 = \pi m_n, \quad (4.52)$$

$$i_y = \frac{m_n}{2},$$

де m_n - нормальний модуль зубчастого колеса, що шліфується.

РОЗДІЛ 5

ВЕРСТАТИ ДЛЯ ОБРОБКИ КОНІЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

§ 5.1 Аналіз переміщення інструменту і заготовки при нарізанні конічних прямозубих коліс

При нарізанні конічних прямозубецьких коліс користуються *методом копіювання* і більш поширеним *методом обкочування*. Метод копіювання передбачає використання профільних кругових протяжок, дискових чи пальцевих модульних фрез, або стругання за шаблоном (рис. 5.1). При методі обкочування обробка проводиться уявним твірним колесом з використанням різців, дискових фрез, різцевих головок.

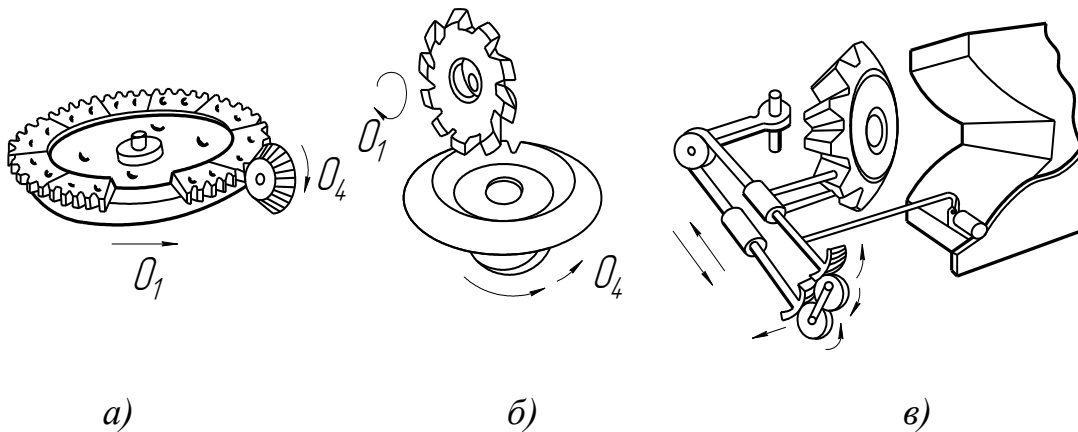


Рисунок 5.1 – Формоутворення зубців конічних коліс за допомогою:
а – профільної кругової протяжки; б – профільної фрези;
в – гострокінцевих різців за шаблоном

Різці, що їх використовують при методі обкочування, утворюють западину плоского твірного колеса. На рисунку 5.2, а зображена заготовка 1, плоске твірне колесо 2, що замінене двома різцями 3 (рис. 5.2, б).

Різці здійснюють зворотно-поступальний рух, при цьому прямолінійні траєкторії вершин різців 3 (рис. 5.2, в) проходять через вершину початкових конусів конічного колеса, яке нарізають. Для цього супорти різців встановлюють на люльці 4 під кутом 2ψ . Люлька обертається то в одну, то в іншу сторону.

Обертання заготовки 1 узгоджується з обертанням уявного твірного колеса 2. Після обробки заготовку відводять від люльки, здійснюють реверсивний рух, при якому люлька швидко переміщується в зворотному напрямку. Під час цього руху відбувається ділильний оберт заготовки і цикл обробки повторюється.

Для налагодження кінематичного ланцюга необхідно визначити число зубців z_c уявного твірного колеса.

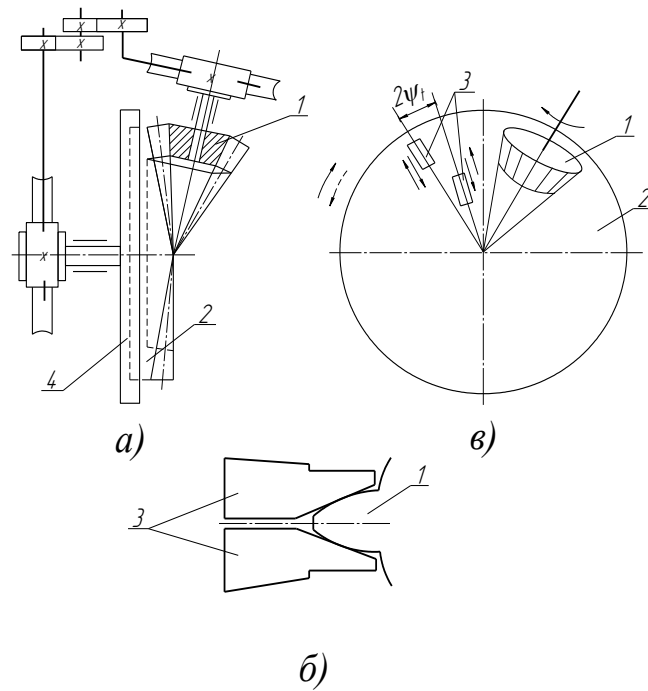


Рисунок 5.2 – Схема нарізання конічних зубчастих коліс двома різцями, що утворюють впадину плоского твірного колеса

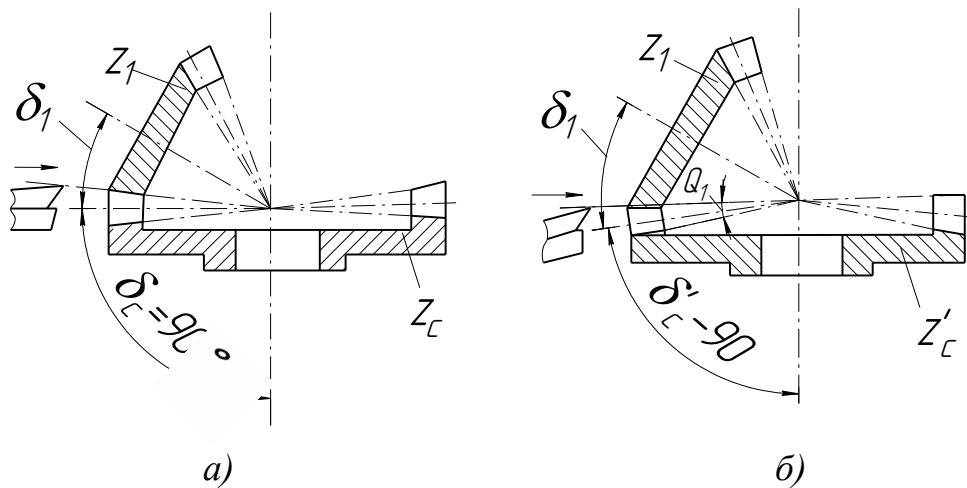


Рисунок 5.3 – Схеми зачеплення заготовки з плоскими твірними колесами

Згідно зі схемою зачеплення заготовки з різцями (уявним твірним колесом), що подана на рисунку 5.3, *а* запишемо співвідношення:

$$\frac{z_c}{z_1} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin \delta_1}, \quad (5.1)$$

з якого отримаємо

$$z_c = \frac{z_1}{\sin \delta_1}$$

На рисунку 5.3, *б* зображено зачеплення заготовки з плосковершинним

колесом z_C^1 , у якого

$$\delta_C^1 = 90^\circ - \theta_f, \quad (5.2)$$

де θ_f – кут ніжки зубецця.

Тоді з співвідношення

$$\frac{z_C^1}{z_1} = \frac{\sin(90^\circ - \theta_f)}{\sin \delta_1} \quad (5.3)$$

отримуємо

$$z_C = \frac{z_1 \cos \theta_f}{\sin \delta_1}.$$

При обробці фрезами застосовують дві дискові фрези 1 (рис.5.4, а), які

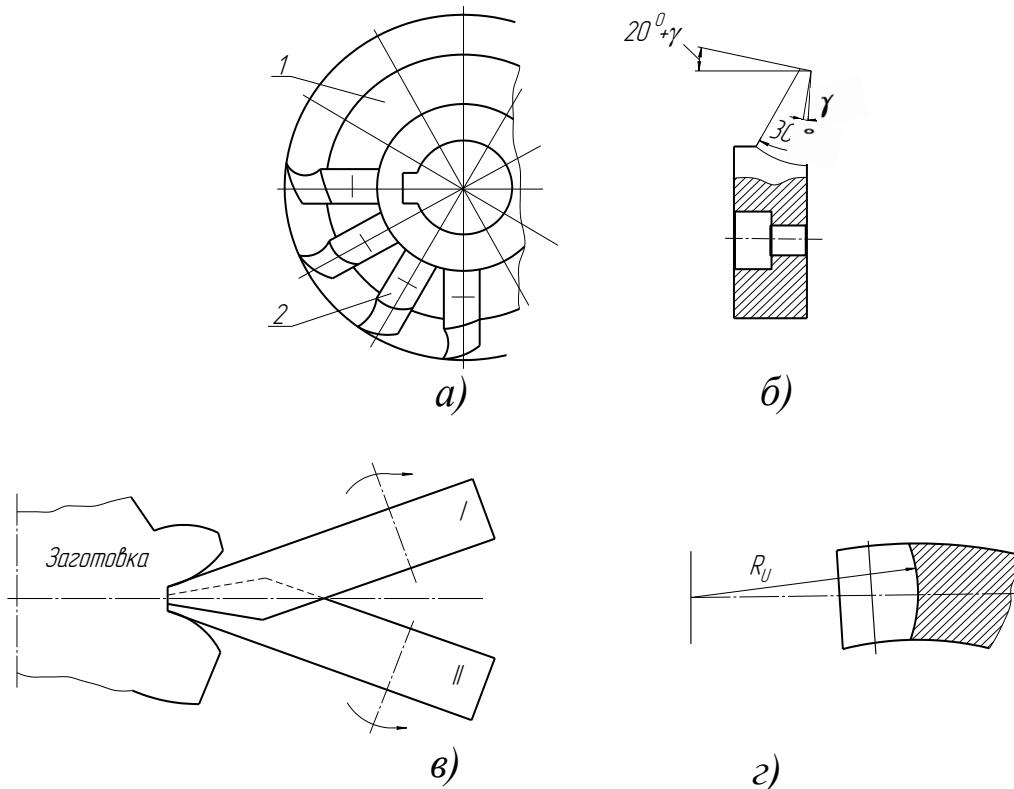


Рисунок 5.4 – Схема обробки двома дисковими фрезами

мають різці 2 і утворюють западину колеса, що його нарізають (рис.5.4, в).

Люлька з фрезами і заготовка отримують рух обкочування. Після обробки однієї западини заготовку відводять від фрези, люльці надається прискорене обертання в зворотному напрямку, а заготовці – ділильний оберт.

Різці двох фрез вільно проходять в проміжки між різцями. Через відсутність подачі фрез вздовж западини зубця колеса, яке нарізають, вона має увігнуту форму (рис.5.4, з). Але зубецьчасті колеса, які виготовлені струганням і фрезеруванням, можуть зачеплюватися між собою, тобто вони взаємозмінні.

Розглянемо кінематичну структуру зуборізного верстата для нарізання прямозубих конічних коліс за допомогою двох зубостругальних різців. Верстат містить дві формоутворювальні групи і групу ділення (рис. 5.5 а)

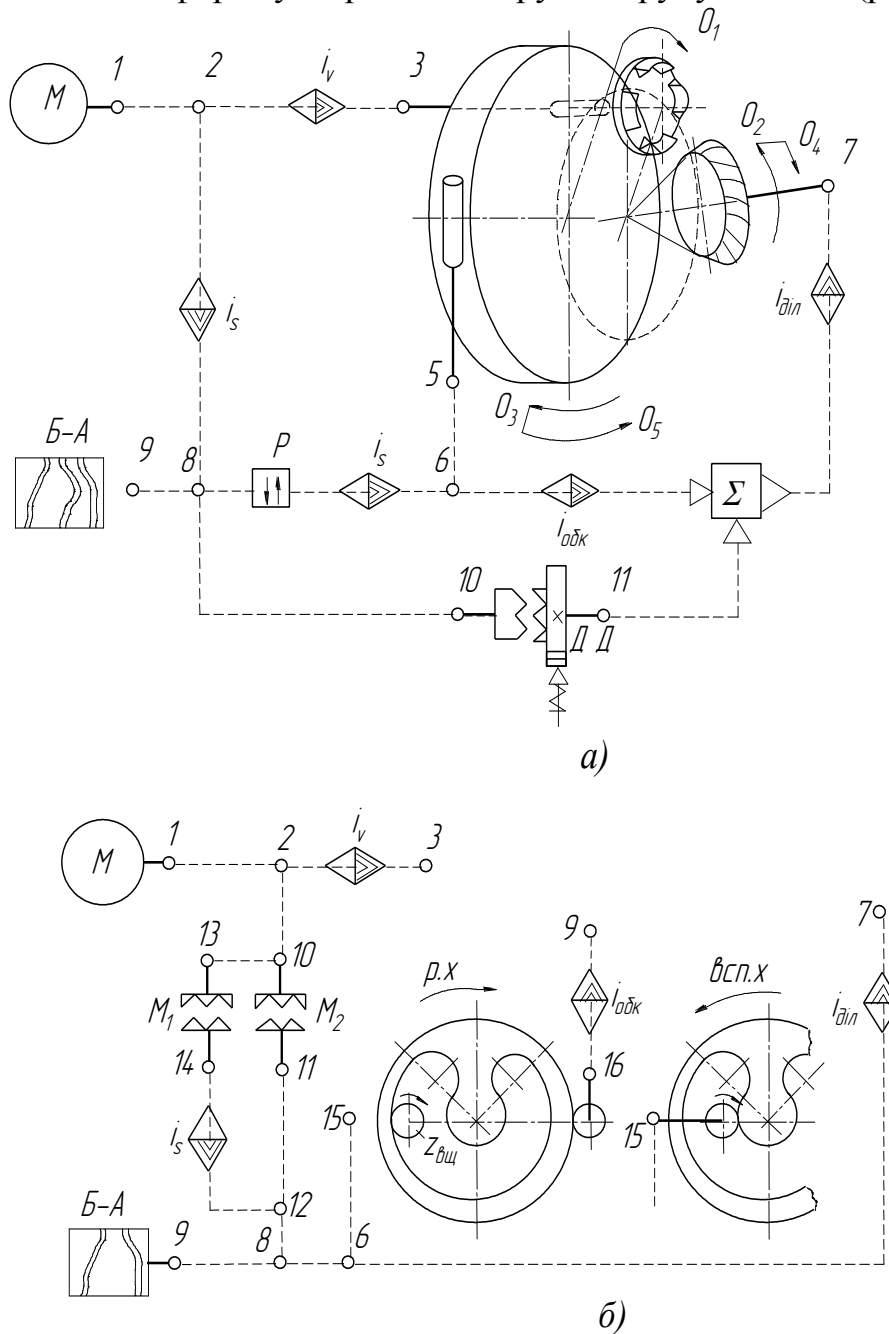


Рисунок 5.5 – Кінематична структура зуборізного верстата

• Структура формоутворювальної групи *головного руху* $\Phi_V (П_1)$ є простою і забезпечується внутрішнім зв'язком поступальної пари "повзун з різцями – люлька". Зовнішній зв'язок групи $\Phi_V (П_1)$ складається з кінематичного ланцюга 1-2-3 між двигуном М і повзуном з органом налагодження i_V , який забезпечує умову узгодження переміщень його кінцевих ланок наступного вигляду:

$$n_M \equiv n_{n.x.} \text{ різців} \quad (5.4)$$

• Складна формоутворювальна група *руху подачі* $\Phi_S(O_2O_3)$ забезпечує обкочування заготовки і люльки для утворення профілю зубця. Внутрішній зв'язок цієї групи забезпечується кінематичним ланцюгом 5-6-7 між люлькою і шпинделем заготовки, який називається ланцюгом профілювання чи обкочування. Вказаний ланцюг з органом налагоджування гітарою обкочування (профілювання) $i_{обк}$ забезпечує наступну умову кінематичного узгодження обертання кінцевих ланок

$$1_{об.заг.} \equiv \frac{z}{z_C} об.люльки \quad (5.5)$$

де z – число зубців колеса, яке нарізають;

z_C – число зубців уявного твірного колеса.

Зовнішній зв'язок групи Φ_S забезпечує передачу руху від двигуна М до внутрішнього зв'язку групи по ланцюгу 1-2-8-6 і містить орган налагодження на швидкість обкочувального руху – гітару подач i_S . Крім налагодження на швидкість рух обкочування $\Phi_S(O_2O_3)$ повинен налагоджуватись і на шлях переміщення – кут гойдання θ° люльки, який потрібен для повного профілювання одного зубця колеса, яке нарізають, після чого люлька повинна повернутись у вихідне положення для профілювання наступного зубця.

• Всі зуборізні верстати працюють у цикловому режимі. *Тривалість циклу обробки* одного зубця чи западини t_u складається з тривалості робочого ходу t_p люльки при її повороті під час профілювання зубця, та тривалості допоміжного переміщення t_d при повороті у вихідне положення. Для збільшення продуктивності верстата скорочують тривалість циклу обробки за рахунок прискорення переміщень. Вмикання та вимикання цих подач *забезпечує розподільним валом РВ* барабана автомата, який за цикл t_d завжди здійснює один оберт.

Умова узгодженого обертання розподільного валу РВ з обертанням двигуна n_M ланцюга, що забезпечує швидкість подачі руху обкочування через гітару i_S , може бути наведена таким чином:

$$1_{об.РВ} \equiv \frac{n_M}{60} t_u^{об.двиг.}, \quad (5.6)$$

де $\frac{n_M}{60}$ – число обертів двигуна в секунду.

Якщо при допоміжному переміщенні люльки рух до неї передається не через гітару подач i_S , то в цьому випадку умова узгодження обертання розподільного валу РВ і двигуна n_M має вигляд:

$$\frac{\theta_p}{360^\circ} = \frac{n_M}{60} t_{p^{об.двиг.}} \quad (5.7)$$

де θ_p – кут повороту розподільного валу за відрізок часу t_p .

• Налагодження руху $\Phi_S(O_2O_3)$ на шлях переміщення, залежить від способу кінематичного з'єднання груп $D(O_4)$ і $\Phi_S(O_2O_3)$. Існує три способи з'єднання цих груп: паралельний, послідовний чи змішаний. У верстаті, застосовано змішаний спосіб, при якому реверсується лише рух люльки, а заготовка продовжує обертатись неперервно в одну сторону. За час повороту люльки у вихідне положення заготовка повертається на z_i / z оберту, де z_i число зубців, на яке переміщується при ділільному повороті заготовка, і це число не повинно мати спільних множників з числом зубців z колеса, яке нарізають.

Шлях переміщення руху обкочування $\Phi_S(O_2O_3)$ налагоджується за допомогою гітар обкочування $i_{обк}$ та ділення $i_{діль}$, у формулах налагодження яких фігурує z_i , яке є функцією кута гойдання люльки і відповідно кута повороту ψ заготовки. Функцію $z_i = f(\psi)$ визначають окремо для кожного верстата, користуючись такою умовою узгодження повороту розподільного валу РВ та шпинделя заготовки:

$$\frac{\theta_p}{360^\circ} = \psi \quad (5.8)$$

Внутрішній зв'язок групи ділення $D(O_4)$ забезпечується зв'язком обертальної пари "шпиндель заготовки – ділільна бабка".

Зовнішній зв'язок групи D забезпечується ланцюгом від двигуна до шпинделя заготовки, в який входять загальні ділянки зовнішнього і внутрішнього зв'язку групи $\Phi_S(O_2O_3)$, а саме ланцюг 1-2-10-11-12-8-6-7. Рух ділення – періодичне вмикання і вимикання його – здійснюється за допомогою розподільного валу РВ барабана-автомата Б-А.

Рух ділення $D(O_4)$ налагоджується на шлях переміщення через гітару $i_{діль}$, формула налагодження якої визначається з рівняння кінематичного балансу ланцюга, що забезпечує умову узгодженого переміщення відлікової ланки та шпинделя заготовки.

При зовнішньому способі відліковою ланкою є розподільний вал барабана-автомата і умова узгодження матиме вигляд

$$1_{об.РВ} \equiv \frac{z_i}{z} об.заг. \quad (5.9)$$

При нарізанні зубчастих коліс двома дисковими фрезами великого діаметру подача вздовж зубця відсутня, а тому на такому верстаті виготовляють колеса з невеликою довжиною зубця. Проте, кінематична структура такого верстата подібна розглянутій.

§ 5.2 Кінематичне налагоджування зубостругального напівавтомату 5236П для нарізання конічних коліс з прямими зубцями

Зубостругальний напівавтомат моделі 5236П, кінематична схема якого зображена на рис. 5.6, працює за методом обкочування.

Технічна характеристика:

- модуль колеса, що нарізають, мм.....0,5...2,5
- найбільший діаметр ділильного кола, мм.....125
- найбільша ширина зубчастого вінця, мм.....20
- *Головним рухом є зворотно-поступальний рух різців.*

Згідно розрахункового переміщення (5.4) рівняння кінематичного балансу ланцюга головного руху має вигляд

$$n_{M1} \cdot \frac{80}{80} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{30}{54} \cdot i_V \cdot \frac{37}{53} = n_{n.x.}, \quad (5.10)$$

де $n_{M1} = 1460 \text{ хв.}^{-1}$

Формула налагодження:

$$i_V = n_{n.x.} / 365,$$

де $n_{n.x.}$ – число подвійних ходів різців за хвилину.

$$n_{n.x.} = \frac{1000 \cdot v}{2 \cdot l},$$

тут v – швидкість різання, м/хв

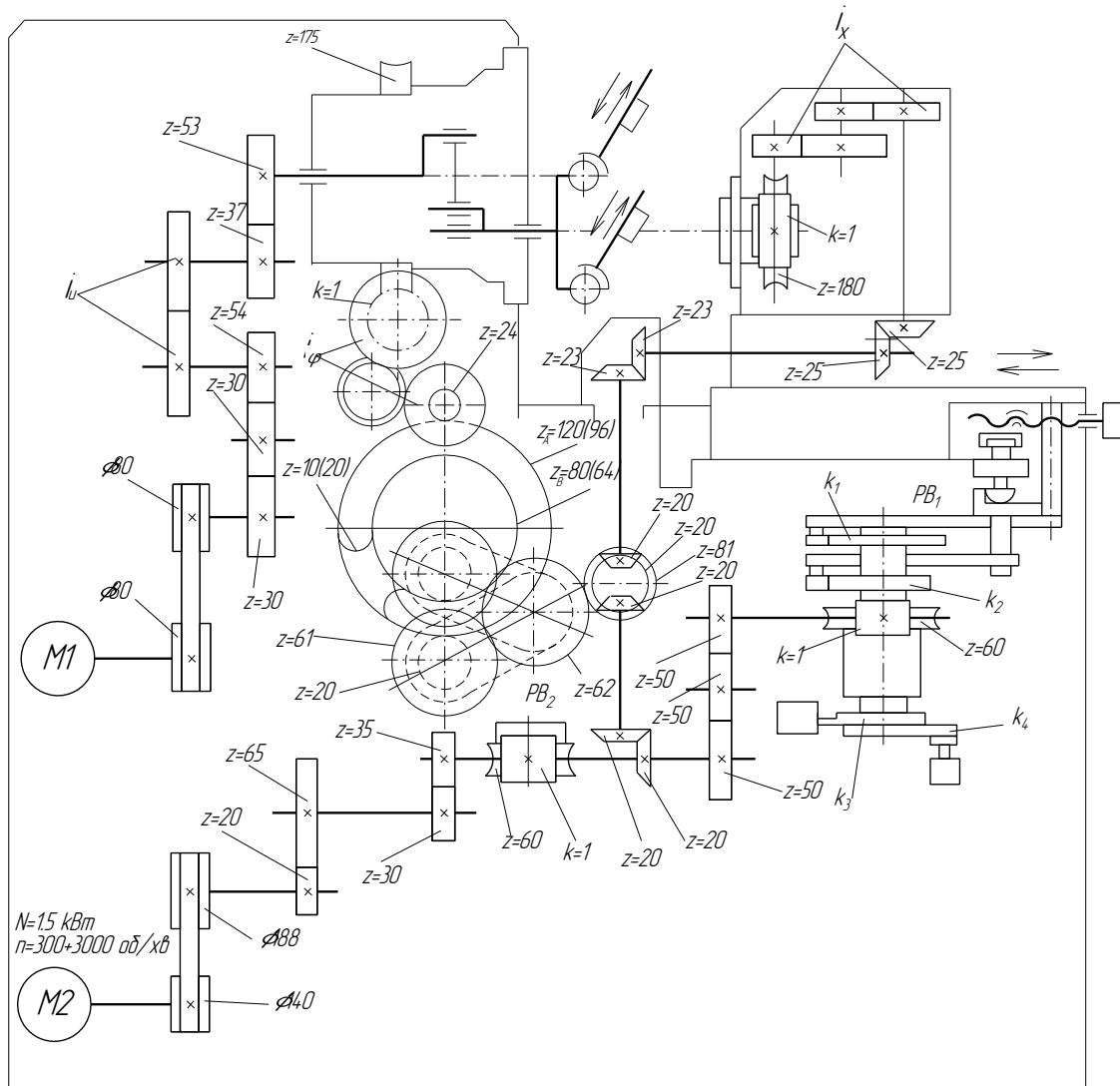
l – довжина ходу різців, мм.

Гітара i_V однопарна з сумою зубців $\sum z = 100$ і забезпечує 8 ступенів швидкостей 160...800 подвійних ходів за хвилину за допомогою змінних коліс: 31, 36, 37, 41, 47, 53, 59, 64, 69.

Після нарізання зубця вмикається механізм реверсу. В цей час люлька починає обертатися в зворотному по відношенню до робочого ходу напрямку. Заготовка напрямку свого руху не змінює. В кінці руху реверсу заготовка встигає повернутися на z_i зубців. Далі починається цикл обробки наступного (не обов'язково сусіднього) зубця.

Реверсивне колесо зіставне і складається з двох ділянок:

– цілої, кільцеподібної з зовнішнім зубчастим вінцем $z_3 = 120$ і внутрішнім – $z_6 = 80$;



Реверсивний механізм

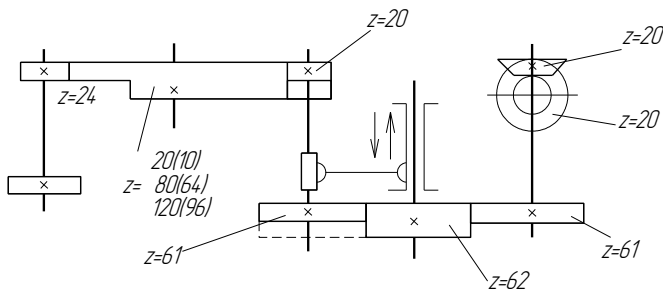


Рисунок 5.6 – Кінематична схема зубостругального напівавтомата моделі 5236П

– підковоподібної з числами зубців зовнішнього та внутрішнього вінців відповідно $z_3 = 96$ і $z_6 = 64$, які з'єднані напівшестернями з числом зубців $z = 20$ (повного колеса), і напівшестерні $z = 10$.

Зубці підковоподібного колеса є продовженням зубців цілого колеса, тобто профілі їх співпадають.

Ведуча шестерня $z = 20$ обертається весь час в одному напрямку і може повертатися навколо важеля та переміщуватися в осьовому напрямку.

За час роботи механізму реверсу ведуча шестерня спочатку входить в зачеплення із зовнішнім вінцем $z_3 = 120$ і після 5 обертів реверсивного колеса за допомогою кулачка розподільного валу PB_2 переходить в зачеплення через напівшестерню $z = 20(10)$ з внутрішнім вінцем $z_6 = 64$. Перемістившись вздовж зубця, ведуча шестерня $z = 20$ зачеплюється з цілою ділянкою зіставного колеса з числом зубців $z_6 = 80$. Після цього реверсивне колесо обертається в зворотному напрямку. Здійснивши 5 обертів ведуча шестерня $z = 20$ через іншу напівшестерню $z = 20(10)$ зміститься на зовнішній вінець $z = 96$ і, перемістившись вздовж зубця, входить в зачеплення з колесом $z_3 = 120$. Далі цикл повторюється.

Таким чином, реверсивне колесо за цикл здійснить п'ять повних обертів в одну та іншу сторону і один неповний шостий при зачепленні з підковоподібним колесом.

Кількість обертів ведучої шестерні $z = 20$ реверсивного механізму за один цикл роботи верстата визначають за співвідношенням

$$n_{z=20} = \frac{z_3}{20} \cdot 5 + \frac{z_6}{20} \cdot 5 + \frac{96+64+2 \cdot 10}{20} + 1 = 60 \text{ об.} \quad (5.11)$$

Число обертів розподільного валу PB_1 за один цикл роботи верстата

$$n_{PB1} = 60_{z=20} \cdot \frac{61}{62} \cdot \frac{62}{61} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{1}{60} = 1 \text{ об.}, \quad (5.12)$$

що відповідає умові (5.6).

• *Рух ділення* забезпечує ділильний поворот заготовки за цикл роботи верстата на z_i зубецьців. Ланцюг ділення узгоджує обертання розподільного валу PB_1 із заготовкою. Рівняння кінематичного балансу і формула налагодження:

$$1_{об. PB1} \cdot \frac{60}{1} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{25}{25} \cdot i_X \cdot \frac{1}{180} = \frac{z_i}{z}; \quad (5.13)$$

$$i_X = \frac{3z_i}{z},$$

де z_i – число зубців, на яке повертається колесо, що нарізається, під час ділильного процесу. Число z_i не повинно бути кратним і мати спільних множників із числом зубців z нарізуемого колеса.

• *Рух обкочування* узгоджує обертання заготовки і люльки (твірно-

го плоского колеса). Рівняння кінематичного балансу

$$1_{об.заг.} \cdot \frac{180}{1} \cdot \frac{1}{i_X} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{61}{62} \cdot \frac{62}{61} \cdot \frac{20}{120} \cdot \frac{120}{24} \cdot i_\varphi \cdot \frac{1}{175} = \frac{z}{z_C} \quad (5.14)$$

Підставляючи $i_X = \frac{3z_i}{z}$ і $z_C = \frac{z}{\sin \delta_1}$, отримуємо формулу налагодження гітари обкочування

$$i_\varphi = \frac{3.5z_i \sin \delta_1}{z}$$

Число z_i визначається за формулою

$$z_i = \frac{\theta \cdot z_C}{210} + 2, \quad (5.15)$$

де θ – повний кут гойдання люльки при обробці зубчастого колеса:

$$\theta = \theta' + 0,5\theta_\Sigma = \arccos\left(\frac{\cos \delta_a}{\cos \delta_1}\right) + 0,5\theta_\Sigma, \quad (5.16)$$

де δ_a – кут зовнішнього конуса;

δ_1 – кут внутрішнього конуса;

θ_Σ – кут гойдання люльки при обробці профіля:

$$\theta_\Sigma = \frac{1200}{z_C}, \quad z_C = \frac{z}{\sin \delta_1}, \quad (5.17)$$

Коли кут ділильного конуса колеса, що нарізають $\delta_1 > 70^\circ$

$$\theta = \theta' + 0,6\theta_\Sigma. \quad (5.18)$$

- *Рух подачі* умовно задається часом робочого ходу t_p у секундах. Рух подачі здійснюється від електродвигуна постійного струму М2 оснащеною ПМП. Двигун має безступінчасте регулювання частоти обертання від 300 до 3000 об/хв, що визначає робочий час циклу. Кінематичний ланцюг подачі узгоджує обертання вала електродвигуна з обертанням розподільного вала РВ₁ у відповідності з співвідношенням (5.7):

$$t_p \cdot \frac{n_{M2}}{60} \cdot \frac{140}{188} \cdot \frac{20}{65} \cdot \frac{30}{35} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{1}{60} = \frac{\theta_p}{360^\circ}, \quad (5.19)$$

де n_{M2} – частота обертання вала електродвигуна М2, об/хв;

$\theta_p = 210^\circ$ – кут повороту розподільного вала РВ₁ за час робочого ходу.

Формула налагодження ланцюга подачі

$$n_{M2} = \frac{10690}{t_p}.$$

Тривалість робочого циклу

$$t_u = t_p + t_\delta,$$

де $t_\delta = 3 \div 4,5$ с – тривалість холостого ходу.

На розподільному валу РВ₁ встановлені чотири кулачки. Один із них К₁

служить для відведення і підведення столу у відповідні моменти циклу, інший K_2 – для врізання при комбінованому методі обробки, при якому на початку робочого циклу до певного моменту стіл повільно подається вперед одночасно з обкоченням і відбувається врізання інструмента. Досягнувши певної глибини зубця, врізання припиняється і відбувається профілювання зубця при нерухомому положенні столу. Даний метод застосовують при нарізанні коліс із кутом початкового конуса більше 70° . Кулачок K_3 служить для перемикання лічильника циклів, K_4 діє на вимикач, що дає команду на робоче і прискорене число обертів електродвигуна М2 приводу ланцюга подачі.

§ 5.3 Аналіз переміщення інструмента і заготовки при нарізанні конічних зубчатих коліс з коловими зубцями.

При обробці конічних коліс з круговими зубецьцями відтворюється рух обкочування заготовки 1 по уявному плосковершинному твірному (продукувальному) колесу 4 з коловими зубецьцями (рис. 5.7, а). Інструментом при обробці є зубецьорізна головка 2 , що споряджена різцями 3 , які розташовані по колу на торцевій поверхні головки.

Різці 3 утворюють зубець твірного (продукувального) колеса (рис. 5.7, б).

Різцеву головку 2 закріплюють на шпинделі, що встановлений в люльці 5 (рис. 5.7, в). Вона отримує головний обертальний рух навколо своєї осі O_1 і повільне обертання разом з люлькою 5 навколо осі O , а заготовка – обертання, узгоджене через гітару обкочування 6 з обертанням люльки 5 , тобто рух обкочування.

Після здійснення робочого ходу (обробки западин колеса) заготовка відводиться від різцевої головки і люлька отримує швидке обертання в зворотному напрямку. Під час холостого ходу здійснюється ділительний поворот заготовки. Далі заготовку підводять до різцевої головки і цикл обробки нової западини повторюється.

Положення вісі різцевої головки в площині, яка їй перпендикулярна, визначається з умови, забезпечення отримання западини кута спіралі β . Це залежить від радіусу твірної колеса L_C (в середній точці зубецьця C) і середнього радіуса різцевої головки $R_U = O_1C$. Координати вісі обертання різцевої головки, що задовільняють поставленій умові, будуть такі:

$$\begin{aligned} H &= L_C - R_U \sin \beta, \\ V &= R_U \cos \beta, \end{aligned}$$

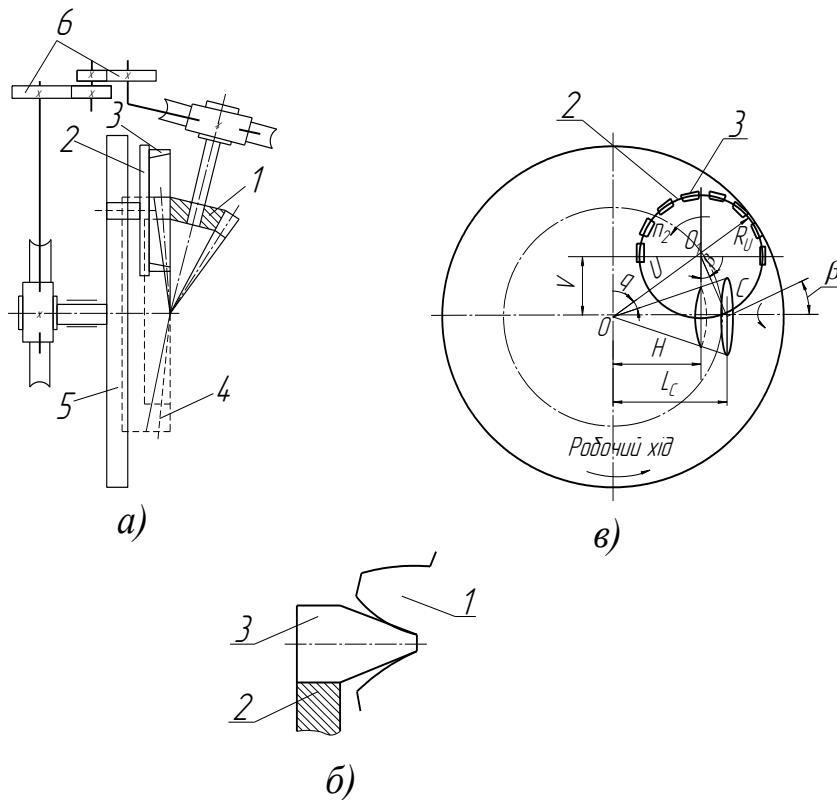


Рисунок 5.7 – Схема нарізання конічних зубецьчатих коліс з коловими зубецьцями

$$q = \operatorname{arctg} \frac{H}{V} = \operatorname{arcsin} \left(\frac{R_U \cos \beta}{U} \right), \quad (5.16)$$

$$U = OO_1 = \sqrt{H^2 + V^2} = \frac{V}{\sin q} = R_U \frac{\cos \beta}{\sin q},$$

де O_1 – горизонтальна координата;
 H – горизонтальна координата;
 V – вертикальна координата;
 q – кутова координата;
 U – радіальна координата.

Для забезпечення розглянутих переміщень інструмента і заготовки верстат повинен мати дві формоутворювальні групи і окрему групу ділення (рис. 5.5, б). Профіль зубецьця формується складною групою подачі $\Phi_S(O_2O_3)$, що забезпечує рух обкочування, а форма зубця по довжині – простою групою $\Phi_V(O_1)$. Так як виконавчою ланкою групи ділення $D(O_4)$ є шпindelь заготовки, який одночасно є виконавчою ланкою групи $\Phi_S(O_2O_3)$, то між цими групами повинен існувати кінематичний зв'язок.

- Структура групи *головного руху* $\Phi_V(O_1)$ є простою і внутрішній зв'язок забезпечується оберальною парою "різцева головка – люлька". Зов-

нішній зв'язок групи Φ_V складається з кінематичного ланцюга 1-2-3 між двигуном М і різцевою гловкою та забезпечує кінематичне налагодження переміщення кінцевих ланок вигляду:

$$n_M = n_{p.z.}, \text{ об/хв} \quad (5.17)$$

• Внутрішній зв'язок групи обкочування $\Phi_S(O_2O_3)$ забезпечується кінематичним налагодженням ланцюга 5-6-7 між люлькою і шпинделем заготовки. Умова кінематичного узгодження переміщення заготовки і люльки така:

$$1_{\text{об.заг.}} \equiv \frac{z}{z_C} \text{ об.люльки}, \quad (5.18)$$

де z – число зубців колеса, яке нарізають
 z_C – число зубців уявного плосковершинного твірного колеса.

• Налагодження на швидкість подачі руху обкочування здійснюється через гітару подач i_S . Зовнішній зв'язок групи подач Φ_S забезпечує передачу руху від двигуна до внутрішнього зв'язку ланцюга 1-2-8-6.

Узгоджений рух обертання вала двигуна та кута гойдання люльки θ визначається за співвідношенням:

$$\frac{\theta^\circ}{360^\circ} \quad \omega \equiv \frac{n_M}{60} t_{p \text{ об.двиг.}}, \quad (5.19)$$

де t_p – тривалість робочого ходу, в секундах.

• Крім налагодження на швидкість руху обкочування необхідно провести налагодження на шлях переміщення – кут гойдання люльки, який забезпечить повне профілювання одного зубця. В даному верстаті при налагодженні на шлях переміщення використано паралельне з'єднання груп $D(O_4)$ і $\Phi_S(O_2O_3)$. При такому способі з'єднання періодичний ділильний рух $D(O_4)$ додається до руху обертання заготовки O_3 в період реверсивного руху обкочування $\Phi_S(O_2O_3)$ за допомогою диференціала Σ . При цьому заготовка за час t_x повертається на $1/z$ обертів. Реверсивний механізм розміщують в зовнішньому зв'язку групи $\Phi_S(O_2O_3)$ на ділянці 8-6.

Формула налагодження гітари кута гойдання люльки i_L визначається з рівняння кінематичного балансу ланцюга, що забезпечує умову узгодженого повороту люльки і розподільного пристрою РП:

$$\frac{\theta^\circ}{360^\circ} \quad \theta^\circ, \quad (5.20)$$

де θ° – кут гойдання люльки;
 θ° – кут установки органів керування по розподільному пристрої.

§5.4 Кінематичне налагодження зуборізного верстата моделі 5С26В.

Верстат призначений для нарізання конічних коліс із коловими зубцями високої точності. Конструкція верстата дозволяє нарізати звичайні конічні колеса з круговими зубцями, гіпоідні колеса, ведучі колеса для обкатних передач і зубчате колесо з нульовим кутом спіралі. Обробка виконується різцевими головками.

Технічна характеристика:

- найбільший модуль колеса, що нарізають, мм.....8
- найбільший діаметр ділильного кола, мм.....320
- довжина твірної початкового конуса, мм.....30...160

Верстат працює методом обкочування, що застосовується при чистовому нарізанні усіх видів зубчастих коліс, а також для чорнового нарізання. Додатково передбачено можливість роботи: методом врізання, що застосовують в основному при чорновому нарізанні звичайних коліс і при чистовому нарізанні напівобкатних передач; комбінованим методом, що застосовується для нарізання більшого з пари коліс.

Основний робочий цикл верстата – обкочування. Цикл починається зі швидкого підведення столу копіром чистової обробки. Копір розрахований так, що останні 1,5...2 мм ходу стіл плавно доводять до упора. Привод з ПМП забезпечує необхідну швидкість обкочування люльки і деталі. Після закінчення нарізання від команди циклового барабана стіл швидко відводиться назад, перемикається муфта реверса ланцюга обкатки, привод ПМП збільшує частоту обертання електродвигуна обкатки. Під час холостого ходу виконують ділильний поворот заготовки. Кінематична схема верстата наведена на рис. 5.8.

• *Головний рух* (обертання різцевої головки) здійснюється. від електродвигуна М1 ($P = 3$ кВт, $n = 1430$ об/хв). Рівняння кінематичного балансу і формула налагодження, згідно (5.17) має вигляд:

$$n_{M1} \cdot \frac{13}{32} \cdot i_v \cdot \frac{47}{45} \cdot \frac{34}{54} \cdot \frac{42}{43} \cdot \frac{22}{23} \cdot \frac{23}{22} \cdot \frac{25}{85} = n_{p.g.}, \quad (5.21)$$

$$i_v = \frac{n_{p.g.}}{92,6}$$

де $n_{p.g.}$ - частота обертання різцевої головки, об/хв.

Гітара головного руху однопарна ($\sum z = 102$), забезпечує десять ступінів частот обертання шпинделя різцевої головки в межах від 30 до 200 об/хв.

• *Рух ділення* забезпечує поворот заготовки на один зубець під час холостого ходу. Кінематичною особливістю даного верстата є те, що для підвищення точності обробки зубчастих коліс під час роботи ланцюга обкочування (робочий хід) сумарний механізм, що використовують для здій-

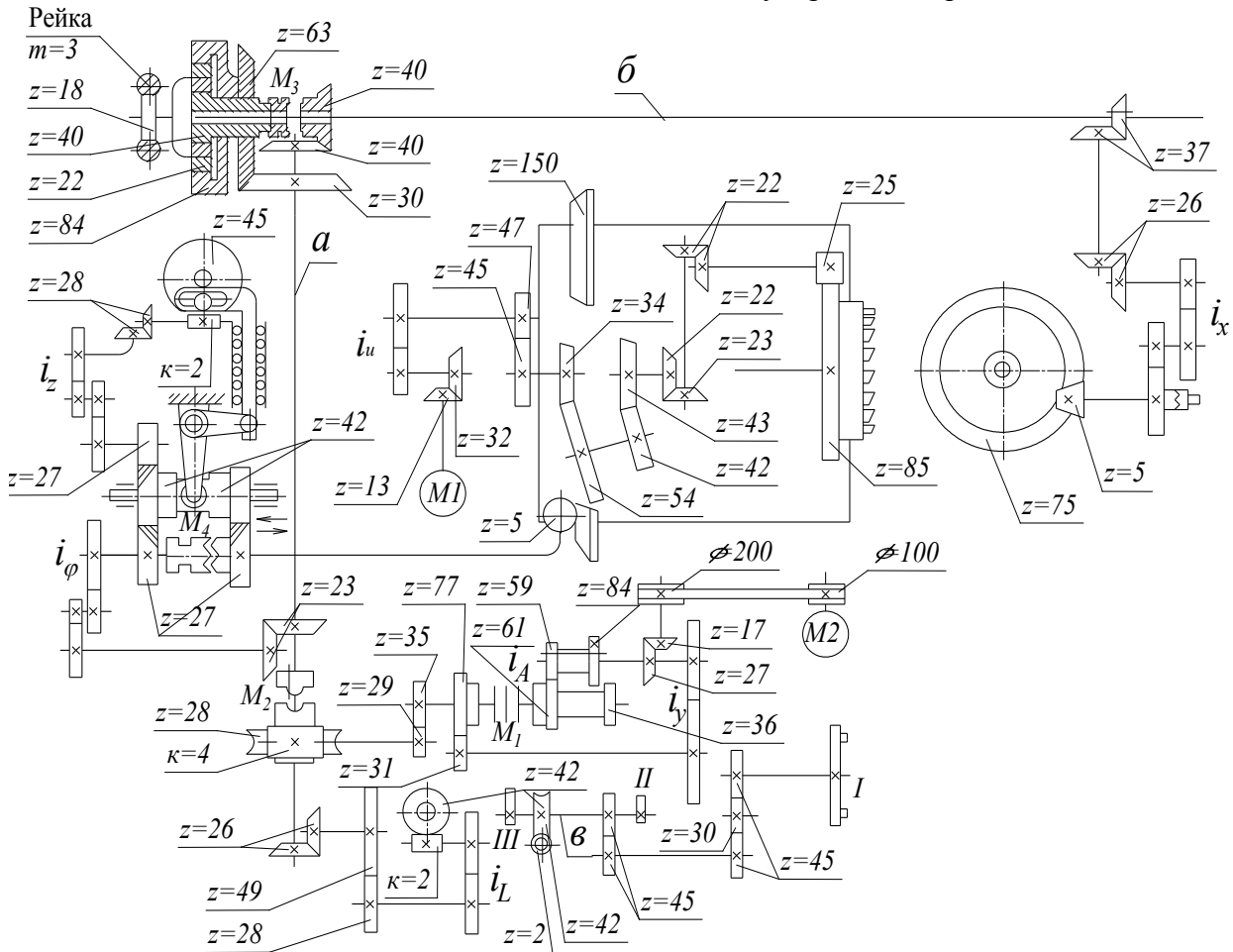


Рисунок 5.8 – Кінематична схема зуборізного верстата моделі 5С26В

снення ділительного повороту заготовки, вмикається з ланцюга обкочування. Внаслідок цього кінематичні похибки сумарного механізму не впливають на кінематичну точність ланцюга обкочування. Тому кінематична точність ланцюга обкочування (ділення) підвищується.

Ділительний механізм містить гідравлічний привод, дві рейки $m = 3$ мм, рейкове колесо $z = 18$, планетарний механізм із зубчатими колесами зовнішнього зачеплення – $z = 40$ і два $z = 22$ та внутрішнього зачеплення – $z = 84$, пару конічних коліс $z = 30$ і $z = 63$ і муфту M_3 . Під час роботи ланцюга обкатки (робочий хід) муфта M_3 увімкнена вправо, і працюють конічні колеса $z = 40$ і $z = 40$. Під час ділительного процесу, при холостому ході, муфта M_3 вмикається вліво і зчіплюється з колесом $z = 40$ планетарного механізму. Для того щоб перемикаання муфти не приводило до розриву кінематичного ланцюга обкочування, ліва і права напівмуфти завжди обертаються одночасно. Це забезпечується таким чином: при передачі руху від вала a до вала b через конічні колеса $z = 40$ (муфта M_3 увімкнена вправо) рух на ліву напівмуфту передається від вала a через конічні колеса $z = 30$, $z = 63$ і планетарний механізм. При цьому передатне відношення даного ланцюга

складає

$$i = \frac{30}{63} \cdot \frac{84}{22} \cdot \frac{22}{40} = 1. \quad (5.22)$$

Під час ділильного процесу муфта M_3 вмикається вліво, від гідропривода отримують переміщення рейки $m = 3$ мм; через зубчате колесо $z = 18$ і планетарний механізм вал v отримує два оберти, за які заготовка повернеться на один зубець. Цей рух додається до руху ланцюга обкочування під час холостого ходу.

Рівняння кінематичного балансу ланцюга ділення має вигляд

$$2_{\text{об.вала б}} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{26}{26} \cdot i_X \cdot \frac{5}{75} = \frac{1}{z}, \quad (5.23)$$

звідки отримаємо

$$i_X = \frac{7,5}{z}.$$

• *Рух обкочування* забезпечує узгодження обертання заготовки і плоского твірного колеса (люльки). Рівняння кінематичного балансу згідно (5.18) записуємо таким чином

$$1_{\text{об.заг.}} \cdot \frac{75}{5} \cdot \frac{1}{i_X} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{23}{23} \cdot i_\varphi \cdot \frac{5}{150} = \frac{z}{z_C} \text{об.люльки} \quad (5.24)$$

При

$$i_X = \frac{7,5}{z}, \quad z_C = \frac{z}{\sin \delta_1}$$

формула налагодження

$$i_\varphi = \frac{15}{z_C} \text{ або } i_\varphi = \frac{15 \sin \delta_1}{z}.$$

Для підвищення довговічності високоредукційних кінематичних пар при великих швидкостях ковзання в даному верстаті кінцеві ланки ланцюга обкочування виконані у вигляді гіпоїдних конічних зубчатих коліс із сталі.

• *Рух подачі.* Обертання ланцюга обкочування здійснюється приводом з ПМП від електродвигуна M_2 ($P = 2,2$ кВт), що має безступінчасте регулювання частоти обертання в діапазоні 150...1500 об/хв і дозволяє плавно змінювати швидкість обкочування в процесі різання по заздальгідь заданим законом.

Робочу подачу умовно задають часом робочого ходу t_p у секундах (муфта M_1 увімкнено вліво) і згідно розрахункових переміщень (5.19) рівняння кінематичного балансу прийме вигляд:

$$t_p \cdot \frac{1500}{60} \cdot \frac{100}{200} \cdot \frac{17}{27} \cdot i_y \cdot \frac{31}{77} \cdot \frac{35}{29} \cdot \frac{4}{28} \cdot \frac{23}{23} \cdot i_\varphi \cdot \frac{5}{150} = \frac{\theta^\circ}{360^\circ}. \quad (5.25)$$

Муфта M_2 увімкнена. Вона призначена для відмикання привода обкочування від ланцюга обкочування при роботі методом врізання. Муфта

M_2 вмикають і вимикають вручну. θ° – кут гойдання люльки, необхідний для забезпечення повної обробки зубця.

При $i_\varphi = \frac{15}{z_C}$ формула налагодження

$$i_y = \frac{\theta^\circ \cdot z_C}{t_P \cdot 360^\circ}.$$

Кутова швидкість гойдання люльки визначається таким чином

$$\omega_L = \frac{\theta^\circ}{t_P},$$

і тоді

$$i_y = \frac{\omega_L \cdot z_C}{360^\circ}$$

Кут гойдання люльки θ° при куті зачеплення $\alpha = 20$ може бути визначений за формулою

$$\theta^\circ = \arccos \frac{\cos \delta_a}{\cos \delta_f} + \frac{380}{z_C} + 57,3 \frac{b}{L} \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (5.26)$$

де b – ширина зубчастого венця;

L – середня довжина твірної початкового конуса колеса, що нарізається;

β – кут спіралі колеса, що нарізається.

Зміна напрямку обертання ланцюга обкочування (прискорена подача) під час переходу з робочого ходу на холостий здійснюється фрикційною муфтою M_1 коробки подач (муфта M_1 увімкнена вправо):

$$n_{M2} \cdot \frac{100}{200} \cdot \frac{17}{27} \cdot i_{II} \cdot \frac{35}{29} \cdot \frac{4}{28} \cdot \frac{23}{23} \cdot i_\varphi \cdot \frac{5}{150} = n_{x.x.},$$

де $i_{II} = \frac{59}{61}$ та $i_{II2} = \frac{84}{36}$ – значення передаточних відношень перебору.

- *Рух кута гойдання люльки.* Кінематичний ланцюг кута гойдання люльки (керування) узгоджує поворот люльки і циклового барабана I. Кут гойдання люльки ввєрх і вниз від центру обкочування здійснюється установкою упорів на диску керування (цикловий барабан I).

В залежності від зміни передатного відношення i_L гітари механізму керування змінюється співвідношення між кутом гойдання люльки і кутом установки упорів. З врахуванням (5.20) рівняння кінематичноо балансу має вигляд:

$$\frac{\theta^\circ}{360^\circ} \cdot \frac{150}{5} \cdot \frac{1}{i_\varphi} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{49}{28} \cdot i_L \cdot \frac{2}{42} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{45}{30} \cdot \frac{30}{45} = \frac{\theta_1^\circ}{360^\circ}. \quad (5.28)$$

При $i_\varphi = \frac{15}{z_C}$ формула налагодження:

$$i_L = \frac{1800}{\theta^\circ z_C},$$

де θ° – кут гойдання люльки;

$\theta_1^\circ = 300^\circ$ – кут установки упорів на цикловому барабані.

На валу ν механізма керування закріплюють кулачок II, що діє на гідроциліндр столу, що здійснює подачу столу з бабкою виробу за заданим законом і кулачок III керування швидкістю обкочування, що діє на налагоджуваний елемент привода ПМП, який регулює частоту обертання електродвигуна привода ланцюга обкочування.

• *Рух модифікації.* Механізм модифікації обкочування здійснює поворот люльки в процесі різання, якщо потрібно отримати певну модифікацію профілю зубців колеса, яке нарізається. Обертання барабану модифікатора передається через гітару i_z , пару конічних коліс $z = 28$ і черв'ячну пару $K = 2$ і $z = 45$. Обертання на вал до люльки при цьому передається через косозубі циліндричні колеса $z = 27, 42, 42, 27$. Муфта M_4 у такому випадку розімкнена. Обертаючись, барабан модифікатора діє кулачком на повзун і через важіль передає осьове переміщення блоку зубчатих коліс $z = 42, 42$. Блок в свою чергу за рахунок косих зубців передає додатковий поворот спершу валу, а далі люльці.

Рівняння кінематичного балансу:

$$\alpha'_L \cdot \frac{150}{5} \cdot \frac{27}{42} \cdot \frac{42}{27} \cdot i_z \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{2}{45} = \alpha_P; \quad (5.29)$$

$$i_z = \frac{0,75 \cdot \alpha_P}{\alpha'_L},$$

де α'_L – додатковий кут повороту люльки;

α_P – кут повороту ролика модифікатора.

При роботі без модифікатора блок коліс $z = 42, 42$ виводиться з зачеплення з колесом $z = 27$, а вали з'єднуються муфтою M_4 .

РОЗДІЛ 6

ВЕРСТАТИ ДЛЯ ОБРОБКИ ТІЛ ОБЕРТАННЯ

§ 6.1 Токарно-гвинторізні верстати, їх будова і особливості кінематичного налагодження

На верстатах токарної групи обробляють деталі типу валів, дисків, втулок за рахунок обточування зовнішніх циліндричних поверхонь, торців та виступів, прорізання канавок і відрізування, розточування внутрішніх поверхонь, фасочних поверхонь, свердління, зенкування і нарізання різьб плашками і мітчиками, накатування рифлених поверхонь.

Головним рухом у цих верстатах є обертання шпинделя, в якому кріпиться заготовка. Рухом повздовжньої і поперечної подачі є рух супорта, в якому закріплені різці. При обробці свердлами рух подачі здійснюється задньою бабкою. Згідно класифікації токарні верстати відносяться до першої групи.

Типова компоновка токарного верстата подана на рис. 6.1. На основі 1 закріплена станина 11 і корито 12. На станині розміщені передня бабка 3 і коробка подач 2. Напрямними станини переміщується супорт 6 з фартуком 9 і задня бабка 7. Двигун встановлено в основі і закритий кожухом.

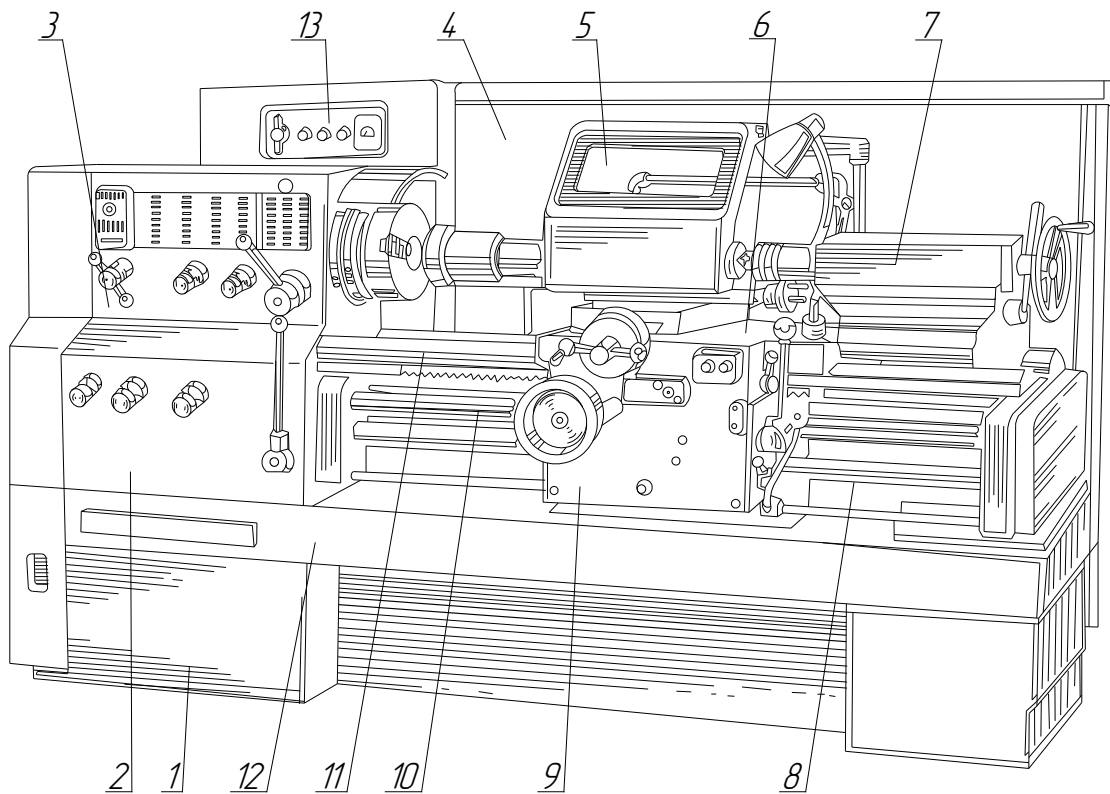


Рисунок 6.1 – Токарно-гвинторізний верстат

Рух подач передається механізмом фартука через ходовий вал δ (точіння), або через ходовий гвинт 10 (нарізання різьб). На передній бабці зосереджені ручки керування верстатом.

Багатоопераційні верстати токарного типу за компоновкою відрізняються від наведеної.

Зміна частот обертання шпинделя здійснюється за допомогою групових передач з рухомими подвійними та потрійними блоками. Для зміни напрямку руху використовується фрикційна муфта.

Також в передній бабці розташований привод механізму подач, що містить ланку збільшення кроку і реверсивний механізм.

Опорами шпинделя є роликові та радіально-упорні підшипники, в яких здійснюється регулювання їх натягу.

У високоточних токарних верстатах використовуються в шпиндельних вузлах гідродинамічні чи гідростатичні підшипники.

Напрямок руху в коробках подач змінюється за допомогою зубчастих муфт внутрішнього зачеплення. Вихідними ланками коробок подач є ходовий гвинт і ходовий вал.

Супорт верстата переміщується напрямними станини за допомогою гвинтової або рейкової передачі. За допомогою передачі гвинт-гайка здійснюється ручне переміщення поперечних полозків. На поперечних полозках встановлені верхні (різцеві) полозки, на яких розташовані передній і задній різцетримач.

В задній бабці, що встановлюється на напрямних станини, піноль з центром переміщується парою гвинт-гайка. Задня бабка може з'єднуватися з кареткою супорта для отримання подачі.

Пристаосуванням в токарних верстатах є самоцентрувальні патрони та поводкові патрони, хомути, люнети, оправки, що призначені для кріплення деталей.

Тіла обертання кріпляться в трьохкулачкових патронах з синхронним переміщенням кулачків, а некруглі чи несиметричні заготовки закріплюються чотирикулачковим патроном. У верстатах з ЧПК використовуються патрони з електромеханічним, гідравлічним та пневматичним приводами.

Самозатискний поводковий патрон широко застосовується у тих випадках, коли деталь вже встановлена в центрах верстата і необхідно тільки передати обертальний момент від шпинделя до деталі.

На рисунку 6.2 наведена структурна схема токарно-гвинторізного верстата.

- *Формоутворювальний рух при точінні $\Phi_V(O_I)$ забезпечується обертанням заготовки, частота якої визначатиметься певним зачепленням зубчастих коліс коробки швидкостей i_V , а напрямком руху реверсивним меха-*

§ 6.2 Кінематика токарно-гвинторізного верстата 16К20

Верстат призначений для зовнішнього і внутрішнього точіння, нарізання правої і лівої метричної, дюймової, модульної, і пітчевої різьб, одно- та багатозахідних різьб із нормальним і збільшеним кроком, і т. п. Верстат застосовується в одиничному і дрібносерійному виробництві.

Технічна характеристика:

- найбільший діаметр оброблюваної заготовки, мм:
 - над станиною.....400
 - над поперечним супортом.....220
- відстань між центрами (ВМЦ), мм.....700, 1000, 1400, 2000
- число частот обертання шпинделя, хв^{-1} 24 (22 різних значення)
- частота обертання шпинделя, хв^{-1} 12,5...1600
- подача, мм/об:
 - повздовжня.....0,055...2,8
 - поперечна.....0,025...1,4
- крок різьби, що нарізають:
 - метричної, мм.....0,5...112
 - дюймової, число ниток на 1".....56...0,5
 - модульної, мм.....0,5...112
 - пітчевої, пітч.....56...0,5
- потужність електродвигуна головного привода, кВт.....7,5; 10
- габаритні розміри верстата, мм:
 - довжина.....2470, 2760, 3160, 3760
 - висота.....1470
 - ширина.....1195
- маса верстата / (ВМЦ), кг.....3000

Кінематична схема токарно-гвинторізного верстата мод. 16К20 наведена на рис. 6.3. На полицках проставлені числа зубців z коліс. Розглянемо наступні кінематичні ланцюги:

- Головного руху з перебором (реверсивна муфта M_1 увімкнена вліво)

$$n_{M1} \equiv n_{ун},$$

$$n_{M1} \cdot \frac{154}{268} \cdot \frac{\left| \frac{51}{39} \right| \cdot \left| \frac{29}{47} \right| \cdot \left| \frac{21}{55} \right| \cdot \left| \frac{15}{60} \right|}{\left| \frac{34}{60} \right| \cdot \left| \frac{38}{60} \right| \cdot \left| \frac{45}{45} \right|} \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{30}{60} = n_{ун} \quad (6.1)$$

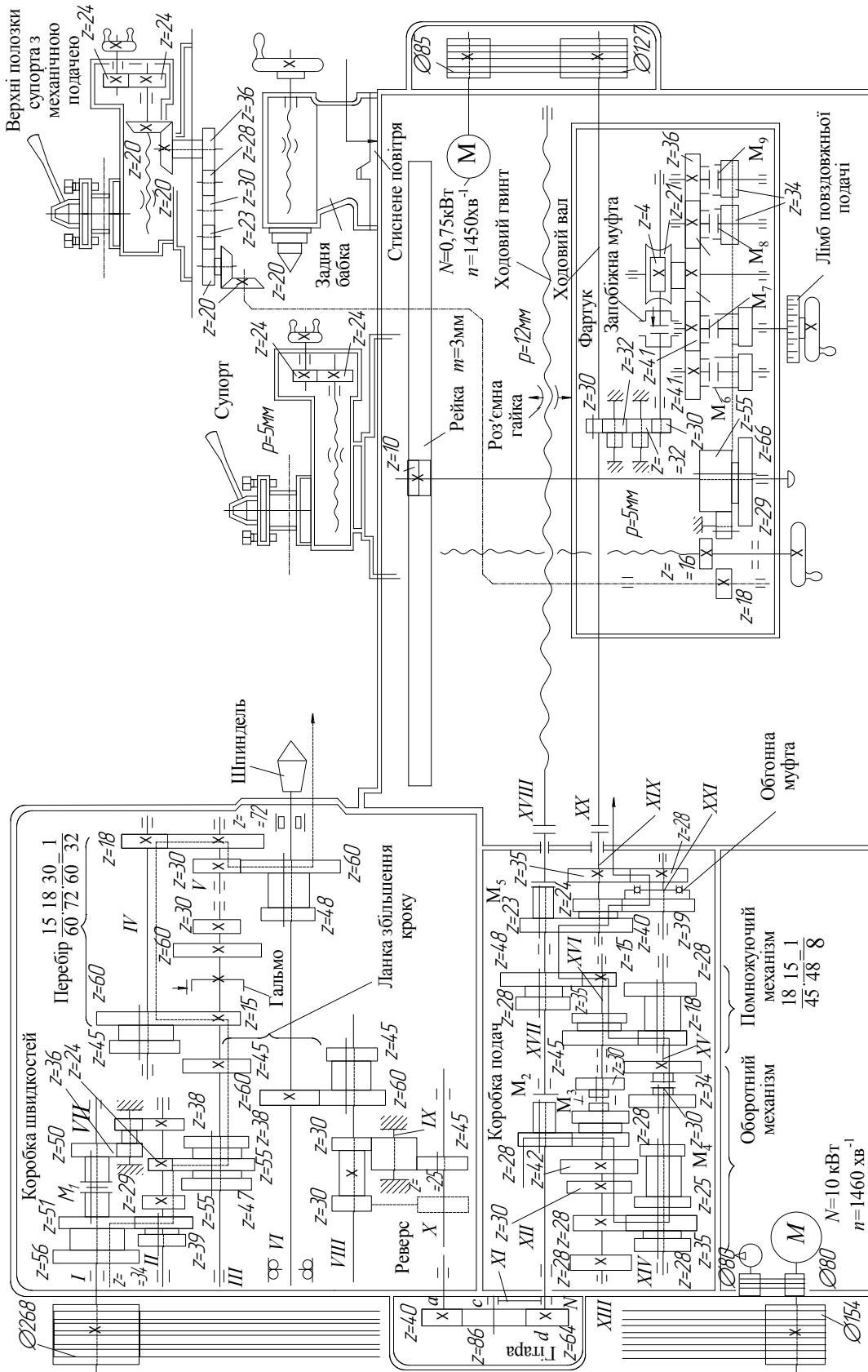


Рисунок 6.3 – Кінематична схема верстату моделі 16К20

і без перебора

$$n_{M1} \cdot \frac{154}{268} \cdot \left| \frac{51}{39} \cdot \frac{47}{21} \cdot \frac{60}{48} \right| \cdot \left| \frac{34}{56} \cdot \frac{55}{30} \cdot \frac{60}{60} \right| = n_{ун}, \quad (6.2)$$

де $n_{ун}$ - частота обертання шпинделя, об/хв;

Шпиндель через кінематичний ланцюг без перебора отримує 12 високих частот обертання і ще 12 низьких частот – через кінематичний ланцюг з перебором. Частоти обертання шпинделя 500 хв^{-1} та 630 хв^{-1} повторюється двічі, а тому фактично шпиндель має 22 частоти обертання.

• *Рух подачі гвинторізного ланцюга* при нарізанні спеціальних різьб або різьб підвищеної точності (муфти M_2 і M_5 увімкнені, коробка подач вимкнена)

$$i_{об.ун} \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot p_{х.з.} = p_n \quad (6.3)$$

де a, b, c, d – числа зубців змінних коліс гітари;

$p_{х.з.}$ – крок ходового гвинта;

p_n – крок різьби, що нарізається.

При нарізанні *метричних* і *модульних* різьб вмикають муфти M_3, M_4, M_5 при вимкненій муфті M_2 .

Рух від шпинделя передається безпосередньо через передачу $\frac{60}{60}$ або через механізм збільшення кроку при увімкненій передачі $\frac{45}{45}$. В цьому випадку крок збільшується в 8 чи в 32 рази:

$$i_I = \frac{60}{30} \cdot \frac{72}{18} \cdot \frac{60}{15} = 32$$

$$i_{II} = \frac{60}{30} \cdot \frac{72}{18} \cdot \frac{45}{45} = 8 \quad (6.4)$$

Обертання від валу *VIII* передається через передачу $\frac{30}{45}$ чи через механізм реверсу $\frac{30}{60} \cdot \frac{60}{45}$, що забезпечує зміну напрямку обертання валу *X*.

Через гітару змінних коліс $\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{40}{86} \cdot \frac{86}{64}$ рух передається на вхідний вал *XII*

коробки подач. Від вала XIII коробки подач через передачу $\frac{30}{33}$ отримує обертання вал XV помножувального механізму.

Помножувальний механізм при різному вмиканні передач забезпечує чотири різних значення передатного відношення i_{nM} :

$$\begin{aligned} i_{nMI} &= \frac{28}{35} \cdot \frac{35}{28} = 1; & i_{nMII} &= \frac{18}{45} \cdot \frac{35}{28} = \frac{1}{2}; \\ i_{nMIII} &= \frac{28}{35} \cdot \frac{15}{48} = \frac{1}{4}; & i_{nMIV} &= \frac{18}{45} \cdot \frac{15}{48} = \frac{1}{8}. \end{aligned} \quad (6.5)$$

Від вала XVI через муфту M₅ рух передається ходовому гвинту XVII і через роз'ємну гайку, яка закріплена у фартуку супорта, на різцетримач, в якому встановлено ріжучий інструмент.

Таким чином, отримаємо такі співвідношення (механізм збільшення кроку не враховано):

$$i_{об.шп.} \equiv P_n, \quad i_{об.шп.} \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{35}{30} \cdot \frac{28}{25} \cdot \frac{42}{30} \cdot i_{nM} \cdot P_{x.z.} = P_n. \quad (6.6)$$

При нарізанні *модульних* та *пітчевих* різьб муфти M₂, M₃, M₄ вимикають і встановлюють гітару змінних коліс $\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{60}{73} \cdot \frac{86}{36}$, а тому рівняння кінематичного балансу прийме вигляд

$$i_{об.шп.} \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{38}{34} \cdot \frac{30}{35} \cdot \frac{30}{33} \cdot i_{nM} \cdot P_{x.z.} = P_n \quad (6.7)$$

- Рух поздовжньої подачі s_{mn} (муфти M_2 і M_5 вимкнені, а муфти M_3, M_4 і M_6 увімкнені):

$$1_{об.шп} \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{28}{30} \cdot \frac{28}{30} \cdot \frac{23}{40} \cdot \frac{24}{39} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{30}{32} \times$$

$$\frac{28}{28} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{25}{42} \cdot \frac{30}{30} \times$$

$$\times \frac{32}{30} \cdot \frac{32}{30} \cdot \frac{4}{21} \cdot \frac{36}{41} \cdot \frac{17}{66} \cdot 10 \cdot \pi \cdot m = s_{mn},$$

де a, b, c, d - числа зубів змінних коліс гітари $\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{40}{86} \cdot \frac{86}{64}$;

s_{mn} – поздовжня подача, мм/об;

m – модуль.

Обгінна муфта M_6 дозволяє сумістити обертання ходового вала від коробки подач з обертання його від окремого привода допоміжних (прискорених) переміщень, що містить електродвигун M_2 і пасову передачу з діаметрами шківів $d_1 = 127$ мм, $d_2 = 85$ мм.

При реверсуванні руху вмикають муфту M_7 , а муфту M_6 вимикають. При необхідності отримання великого значення подач задіюють механізм збільшення кроку.

- Рух поперечної подачі s_n (муфти M_2 і M_5 вимкнені, а муфти M_3, M_4 і M_8 увімкнені). Рівняння кінематичного балансу ланцюга подачі має вигляд:

$$1_{об.шп} \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{28}{30} \cdot \frac{28}{30} \cdot \frac{23}{40} \cdot \frac{24}{39} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{30}{32} \times$$

$$\frac{28}{28} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{25}{42} \cdot \frac{30}{30} \times$$

$$\times \frac{32}{30} \cdot \frac{4}{21} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{34}{55} \cdot \frac{55}{29} \cdot \frac{29}{16} \cdot 5 = s_n,$$

де s_n – поперечна подача, мм/об.

При руверсуванні муфту M_9 вмикають, а муфту M_8 вимикають.

• Руху подачі верхнього суппорта (муфти M_2 і M_5 вимкнені, а муфти M_3 , M_4 , M_8 увімкнені, колесо $z = 29$ введено в зачеплення з колесом $z = 18$)

$$\begin{aligned}
 & 1_{об.шп.} \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{45} \cdot \frac{15}{48} \cdot \frac{23}{40} \times \\
 & \times \frac{24}{39} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{30}{32} \cdot \frac{32}{32} \cdot \frac{32}{30} \cdot \frac{4}{21} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{34}{55} \cdot \frac{55}{29} \cdot \frac{29}{18} \times \\
 & \times \frac{20}{20} \cdot \frac{20}{23} \cdot \frac{23}{30} \cdot \frac{30}{28} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{20}{20} \cdot 5 = s_{верх.суп.} \quad (6.10)
 \end{aligned}$$

де $s_{верх.суп.}$ – подача верхнього суппорта, мм/об.

§ 6.3 Класифікація токарних автоматів і напівавтоматів

Більшості робочих машин властива циклічність в роботі, тобто періодична повторюваність окремих дій та рухів, які пов'язані з випуском дискретної продукції. Спостереження за роботою таких машин дає змогу виділити почергову зміну робочих рухів виконавчих механізмів, які здійснюють обробку, та допоміжних рухів, що не пов'язані безпосередньо з технологічними діями, але підготовлюють відповідні умови для них.

Для виготовлення виробів на верстатному обладнанні необхідно спочатку здійснити допоміжні рухи, які пов'язані з подачею та затисканням заготовки, вмиканням, підведенням інструмента, тривалістю $t_{\partial 1}$. Після цього проводиться безпосередньо обробка заготовки тривалістю t_p , за якою знову здійснюються допоміжні рухи тривалістю $t_{\partial 2}$ щодо відводу інструмента, розтискання заготовки, вимикання, зняття обробленого виробу та ін. Далі робота за вказаними операціями повторюється, при чому одні й ті ж самі через однаковий період часу, який називають *робочим циклом* T .

Таким чином, *робочий цикл* – це інтервал часу між виконанням двох однойменних операцій за умови безперебійності роботи верстата.

Робочий цикл верстата складається з тривалості робочих та холостих ходів:

$$T = t_p + t_{\partial 1} + t_{\partial 2} = t_p + t_x, \quad (6.11)$$

де t_p – тривалість робочого ходу;

t_x – тривалість холостих ходів.

Як показує аналіз виразу (6.10), якщо деякі робочі ходи, тобто ті, під час яких здійснюється безпосередня технологічна дія на оброблюваний матеріал, сумістити в часі з холостими ходами, тобто допоміжними рухами, необхідними для обробки, то це дасть змогу зменшити робочий цикл і підвищити продуктивність роботи.

Якщо машина, крім самостійного виконання робочих ходів, виконує і холості ходи, а також керує їх послідовністю, то таку машину називають автоматом.

Отже, *автоматом* називається верстат, в якому автоматизовані всі основні і допоміжні рухи, необхідні для виконання технологічного циклу обробки заготовок. Обслуговування автомата, а саме: наладка, подача матеріалу на верстат і контроль деталей – здійснюється оператором.

Напівавтоматом називається автоматичний верстат, в якому частина рухів неавтоматизована. Найчастіше – це завантаження і зняття заготовок.

Обробляють на токарних напівавтоматах і автоматах складні деталі за допомогою великого числа інструментів.

Токарні напівавтомати і автомати поділяються за такими ознаками:

- за призначенням – універсальні і спеціалізовані;
- за виглядом заготовки – пруткові і патронні;
- за кількістю шпинделів – одно- і багатошпиндельні;
- по розташуванню шпинделів – горизонтальні і вертикальні.

Найбільше поширення набули верстати з кулачковим приводом, який розташований на розподільному валу.

Автомати діляться на 3 групи, які мають:

- 1 розподільний вал, який обертається з постійною швидкістю;
- 1 розподільний вал, який має дві частоти обертання – повільну (робочий хід) і прискорену (холостий хід);
- 1 розподільний вал і ще допоміжний вал для холостих рухів.

Горизонтальні одношпиндельні токарні напівавтомати діляться на:

- багаторізцеві;
- копіювальні;
- багаторізцево-копіювальні.

Для виготовлення великої кількості однакових виробів також застосовують багатошпиндельні автомати (автомобільна, підшипникова промисловість та ін.)

§ 6.4 Особливості конструкції і налагодження багаторізцевого токарного напівавтомата 1Н713

Розглянемо особливості роботи багаторізцевого напівавтомата за допомогою схеми, що наведена на рис. 6.4. Заготовка 2 обробляється декількома одночасно працюючими різцями, встановленими на повздовжньому 12 і поперечному 3 супортах. Одночасна робота великої кількості різців, кожний з яких обробляє свою ділянку заготовки, дозволяє отримати деталь необхідної форми і розмірів шляхом простих і коротких

циклів в роботі супортів і, отже, значно скоротити тривалість обробки. Зняття деталі, установку заготовки, її затиск в патроні або в центрах передньої 1 і задньої 4 бабок, а також пуск верстата здійснюють вручну. Підведення супортів з різцями, обробка заготовки, повернення супортів в початкове положення і зупинка верстата здійснюється автоматично.

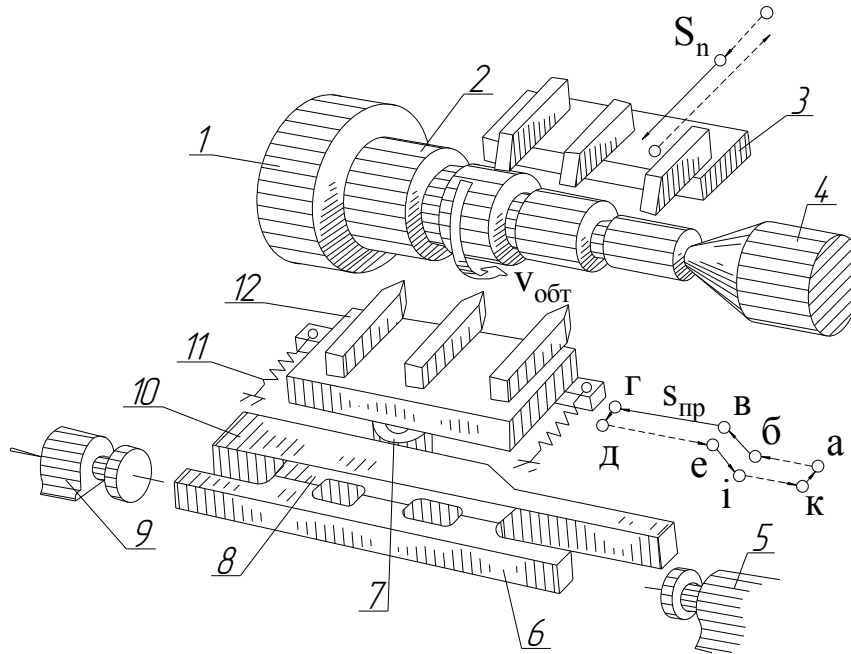


Рисунок 6.4 – Схема роботи багаторізевого напівавтомата.

Поздовжній супорт 12 переміщується разом з планками 6 і 8 відносно нерухомої лінійки 10. При цьому ролик 7 супорта перекочується по робочій поверхні лінійки 10 і постійно притискається до неї пружинами 11. Цикл роботи поздовжнього супорта такий: швидке підведення супорта до заготовки (ділянка $a - б$); врізання різців при переміщенні ролика 7 конусною поверхнею лінійки 10 (ділянка $б - в$); обточування заготовки при робочій подачі (ділянка $в - г$); відведення супорта назад в поперечному напрямку (ділянка $г - д$); швидке відведення супорта в початкове праве положення (ділянки $д - e$, $e - i$, $i - к$); переміщення супорта вперед у вихідне робоче положення (ділянка $к - a$).

Відведення супорта в кінці обробки (приблизно на 1 мм) і повернення його у вихідне положення в кінці відведення назад (ділянки траєкторії $г - д$ і $к - a$) здійснюються за допомогою планок 6 і 8. Обидві планки переміщуються разом з супортом, при цьому планка 6 може переміщуватися відносно супорта в поздовжньому напрямку. На початку роботи супорта обидві планки встановлені одна відносно одної так, що стикаються виступами (як показано на рисунку). В кінці обточування планка 6 підходить

до упору 9 і зміщується відносно планки 8 вліво, внаслідок чого її виступи встановлюються проти западин планки 8.

Супорт 12 разом з роликом 7, лінійкою 10 і планкою 8 під дією пружини 11 відводиться назад на глибину западини планки 8. В результаті цього різці при відході супорта вправо не торкаються обробленої поверхні деталі. Після повернення супорта в початкове праве положення планка 6 торкається другого упору 5 і зміщується ним вліво у вихідне положення, тобто її виступи встановлюються знову напроти виступів планки 8. В результаті супорт з різцями, лінійка 10 і планки 8 встановлюються в початкове робоче положення (точка *a*).

Розглянемо кінематичне налагодження багаторізевого токарного напівавтомата моделі 1Н713.

Верстат призначений для високопродуктивної обробки деталей типу шестерень, валів, кілець, фланців та ін. в центрах чи патронах за допомогою багаторізевої наладки чи копіїв в умовах серійного та масового виробництва.

Технічна характеристика верстата:

- найбільший діаметр оброблюваної деталі, мм:
над станиною.....400
над супортом.....250
- найбільша довжина оброблюваної деталі, мм.....500, 710
- число частот обертання шпинделя.....14
- діапазон частот обертання шпинделя, об/хв.....63...1250
- число подач повздовжнього супорта.....13
- діапазон подач повздовжнього супорта, мм/хв.....25... 400
- швидкість швидких переміщень повздовжнього супорта, мм/хв.....3500
- число подач поперечного супорта.....13
- діапазон подач поперечного супорта, мм/хв.....25...400
- швидкість швидких переміщень поперечного супорта, мм/хв....3500
- потужність електродвигуна головного руху, кВт.....17
- частота обертання електродвигуна, об/хв.....1470
- потужність електродвигунів подач супортів, кВт.....1,5

На рис. 6.5 наведена кінематична схема верстата 1Н713.

- *Головний рух* – це обертання шпинделя верстата . Розрахункові переміщення та рівняння кінематичного балансу мають вигляд:

$$n_{M1} = n_{ш}$$

$$n_{M1} \cdot \frac{115}{270} \cdot \frac{a}{b} \cdot \left| \begin{array}{c} 26 \\ 52 \\ 96 \\ 60 \end{array} \right| \cdot \frac{35}{70} = n_{ш} \quad (6.12)$$

Гітара змінних коліс $a - b$ дозволяє розширити діапазон частот обертання шпинделя.

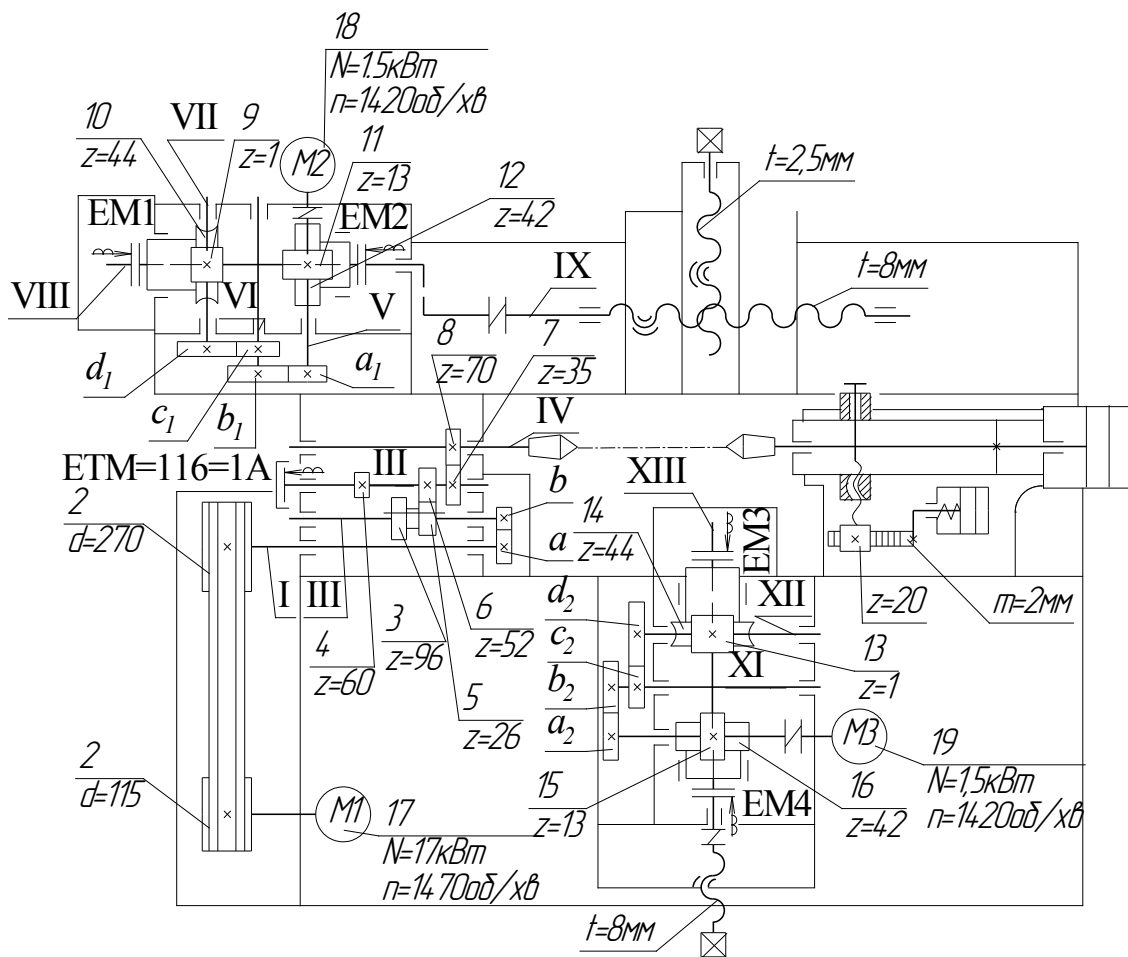


Рисунок 6.5 – Кінематична схема верстата моделі 1Н713

• *робоча подача поздовжнього супорта* забезпечується від автономної коробки подач (АКП-2). При цьому муфта EM1 – увімкнена, муфта EM2 – вимкнена, рух передається від двигуна M2. З рівняння кінематичного балансу:

$$n_{M2} \cdot i_{mn} \cdot \frac{1}{44} \cdot 8 = S_{mn} \quad (6.13)$$

отримуємо формулу налагодження гітари подач i_{mn} поздовжнього супорта

$$i_{mn} = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{11S_{mn}}{2840}$$

При швидкому переміщенні (холостий хід) муфта EM2 – увімкнена, муфта EM1 – вимкнена

$$n_{M2} \cdot \frac{13}{42} \cdot 8 = S_{mn} \quad (6.14)$$

• робоча подача поперечного супорта (муфта EM3 – увімкнена, муфта EM4 – вимкнена). Рівняння кінематичного балансу

$$n_{M3} \cdot i_n \cdot \frac{1}{44} \cdot 2,5 = S_n, \quad (6.15)$$

формула налагодження гітари поперечної подачі:

$$i_n = \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{11S_n}{887,5} \quad (6.16)$$

• Швидке переміщення поперечного супорта (муфта EM4 – увімкнена, муфта EM3 - вимкнена)

$$n_{M3} \cdot \frac{13}{42} \cdot 2,5 = S_n \quad (6.17)$$

§ 6.5 Особливості конструкції і налагодження токарно-револьверного автомата 1Б140

Верстат призначений для обробки деталей з круглого, квадратного та шестигранного прутка в умовах серійного та масового виробництв.

Технічна характеристика:

- найбільший діаметр оброблюваного прутка, мм.....40
- число частот обертання шпинделя.....13
- діапазон частот обертання шпинделя, хв⁻¹:
 - ліве обертання.....160...2500
 - праве обертання.....63...1000
- число супортів:
 - револьверних.....1
 - поперечних.....2
 - вертикальних.....2
 - поздовжніх.....1

На рис. 6.6 наведено загальний вид токарно-револьверного автомата 1Б140. На основі 1 встановлено станина 7 з шпindelною бaбкою 4, револьверним супортом 8, який оснащено револьверною шестипозиційною голівкою 6. Також на станині розміщені поперечні супорти: два горизонтальних 2 (передній і задній) і два вертикальних 5. На передньому поперечному супорті розміщено поздовжній супорт 3, який має можливість переміщуватися в горизонтальній площині паралельно осі шпинделя та під кутом до нього.

Для роботи автомата необхідно, щоб усі рухи виконавчих механізмів здійснювалися у визначеній послідовності. Це досягається за допомогою барабанів керування, встановлених на розподільних валах XV і XVI. На барабанах закріплені спеціальні сухарики, що містять виконавчі механізми, які після завершення заданого циклу руху автоматично вимикаються за допомогою однооборотних муфт з самовимиканням. Ведуча частина 9 кулачкової муфти (рис. 6.7, а) обертається разом з валом VII. На ньому ж вільно встановлена рухома напівмуфта 3, яка праворуч має два видовжені торцеві кулачки 4, що входять у вирізи маточини зубчастого колеса 10. Пружина 11 прагне перемістити напівмуфту 3 вліво, але палець 2, що встановлений на важелі 8, знаходиться в пазу муфти, тим самим унеможливорює її вмикання.

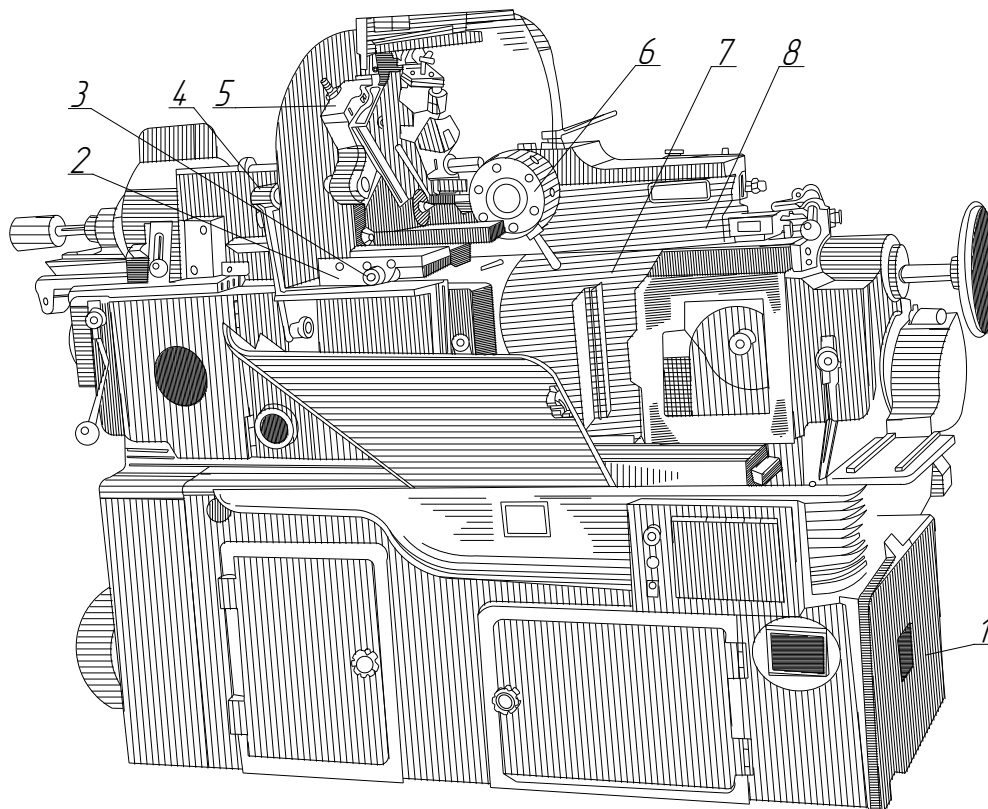


Рисунок 6.6 – Кінематична схема токарно-револьверного автомату моделі 1Б140

Команда на вмикання муфти подається від розподільного вала *IX* (рис. 6.7, б) кулачком 6 барабана 7. При обертанні барабана кулачок піднімає правий кінець важеля 5, і палець звільняє рухому напівмуфту 3. Під дією пружини 11 (рис. 6.7, а) вона зміщується вліво і входить у зачеплення із ведучою напівмуфтою 9. Одночасно призматичний фіксатор 1, що встановлений на важелі 5, витискається з паза. В новому положенні (рис. 6.7, в) деталі 9 і 3 починають обертатися разом з валом *VII*, а палець 2 і фіксатор 1 ковзають циліндричними поверхнями напівмуфти 3. Коли фігурний паз 12 зі скосом *AB* підійде до пальця 2, останній під дією пружини западає в нього, і при подальшому русі напівмуфти палець, переміщаючись скосом *AB*, витискає цю напівмуфту вправо і виводить її з зачеплення з напівмуфтою 9. Одночасно фіксатор 1 входить в призматичний паз напівмуфти 3 і фіксує її.

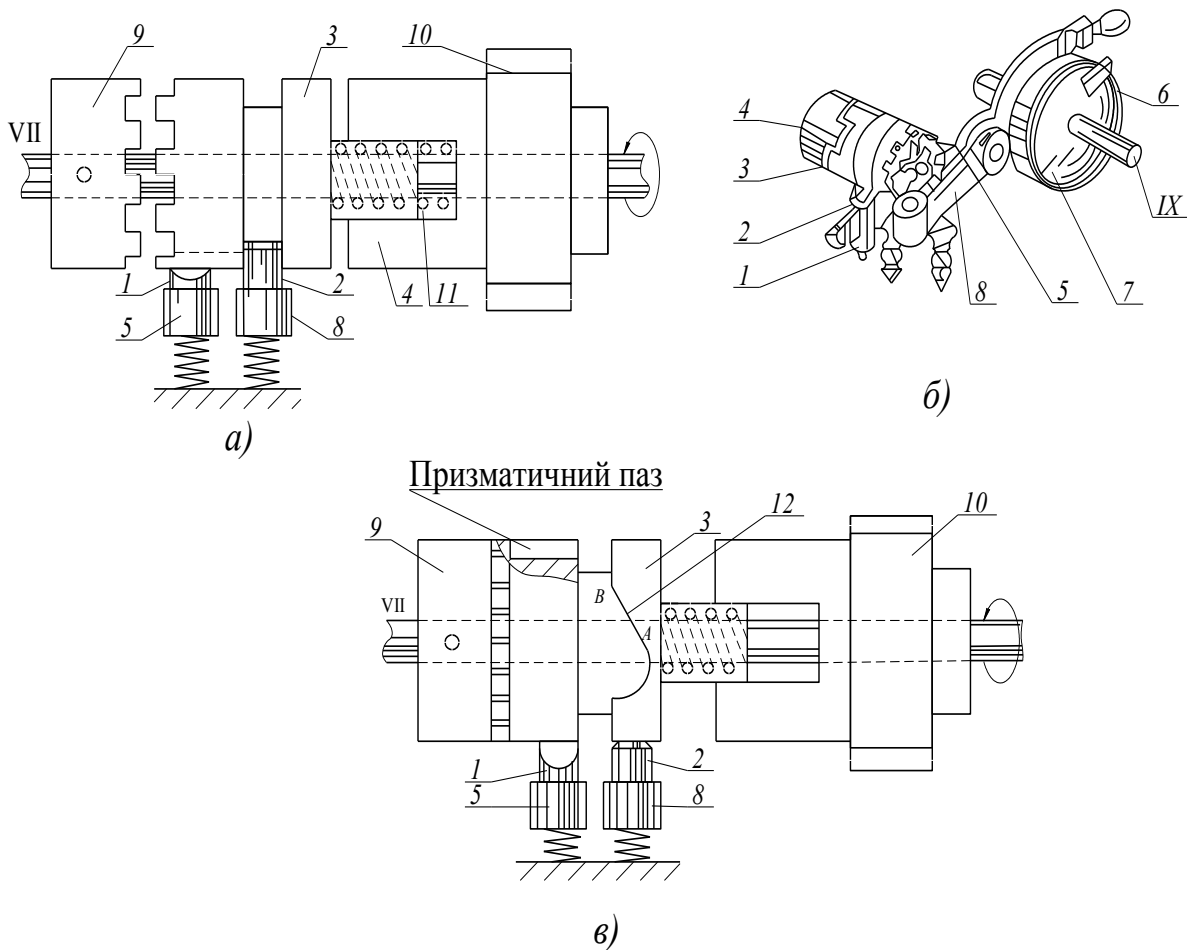


Рисунок 6.7 – Однооборотні муфти з самовимиканням

На рис. 6.8 наведений поздовжній розріз шпиндельної бабки автомата. Шків 3, що встановлено на підшипниках кронштейна 4, зв'язаний зі шпинделем 2, усередині якого розташований механізм подачі і затискання прутка. Він складається з подавальної цанги 10, яку вкручено в правий кінець

труби 6, також затискної цанги 12, стакана 11, втулки 13, труби 9 і механізму переміщення цієї труби. Лівий кінець подавальної труби 6 закріплено у підшипнику 1, корпус якого встановлено на полозках 17, які мають можливість переміщуватись переміщається вздовж осі шпинделя.

При переміщенні муфти 5 вліво довгі плечі важелів 8 зближаються. Це приводить до повороту важелів навколо точок їхньої опори біля нерухомого кільця 7, закріпленого на шпинделі. В результаті цього короткі плечі важелів зміщують вправо затискну трубу 9 і стакан 11, який своїм внутрішнім конусом стискає затискну цангу 12. Поки муфта 5 знаходиться в зображеному на рисунку положенні, довільне звільнення затискної цанги неможливо.

Цикл затискної операції відбувається наступним чином. Цанга знаходиться в правому положенні. Кулачок, що встановлено на барабані 81

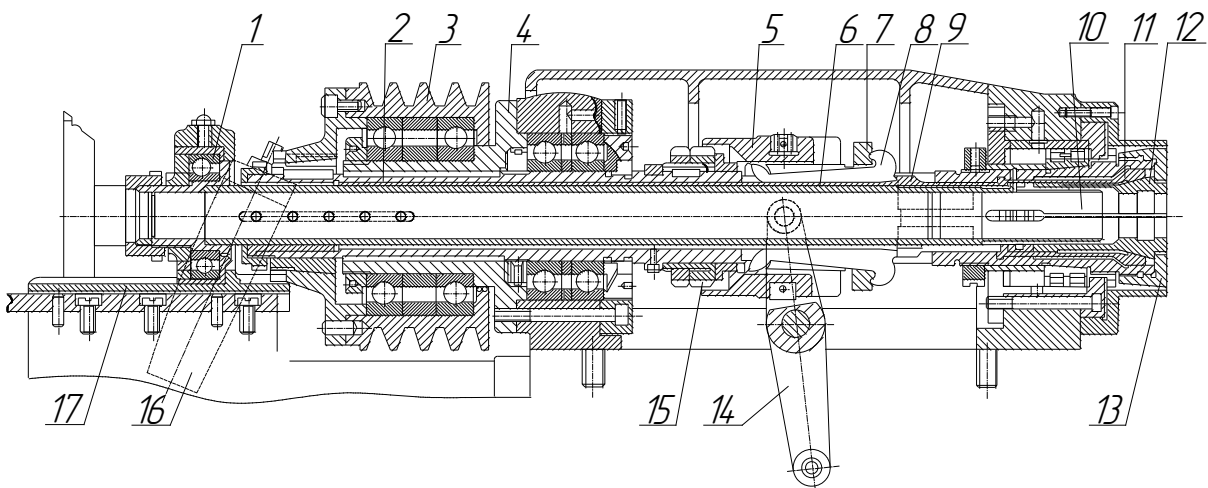


Рисунок 6.8 – Шпиндельна бабка

(рис. 6.9), піднімає один кінець важеля, протилежний кінець якого, опускаючись, звільнює однооборотну муфту 74. Під дією пружини вона переміщується вліво, входить в зачеплення з напівмуфтою, яка жорстко закріплена на допоміжному валу, і починає повертатися, передаючи обертання через зубчасті колеса 27, 28 і 29 на барабани 92 і 86. Робочі ділянки цих барабанів спрофільовані таким чином, що, повернувшись на один оберт, вони за допомогою важелів 14 і 16 (рис. 6.8) зміщують: перший – муфту 5, другий – полозки 17. Полозки відходять вліво на задану довжину подачі прутка. Пелюстки цанги при цьому ковзають поверхнею прутка. Після цього муфта 5 відходить вправо, звільняючи затискну цангу 12 і пруток. Потім полозки 17 із трубою 6, подавальною цангою і прутком переміщується

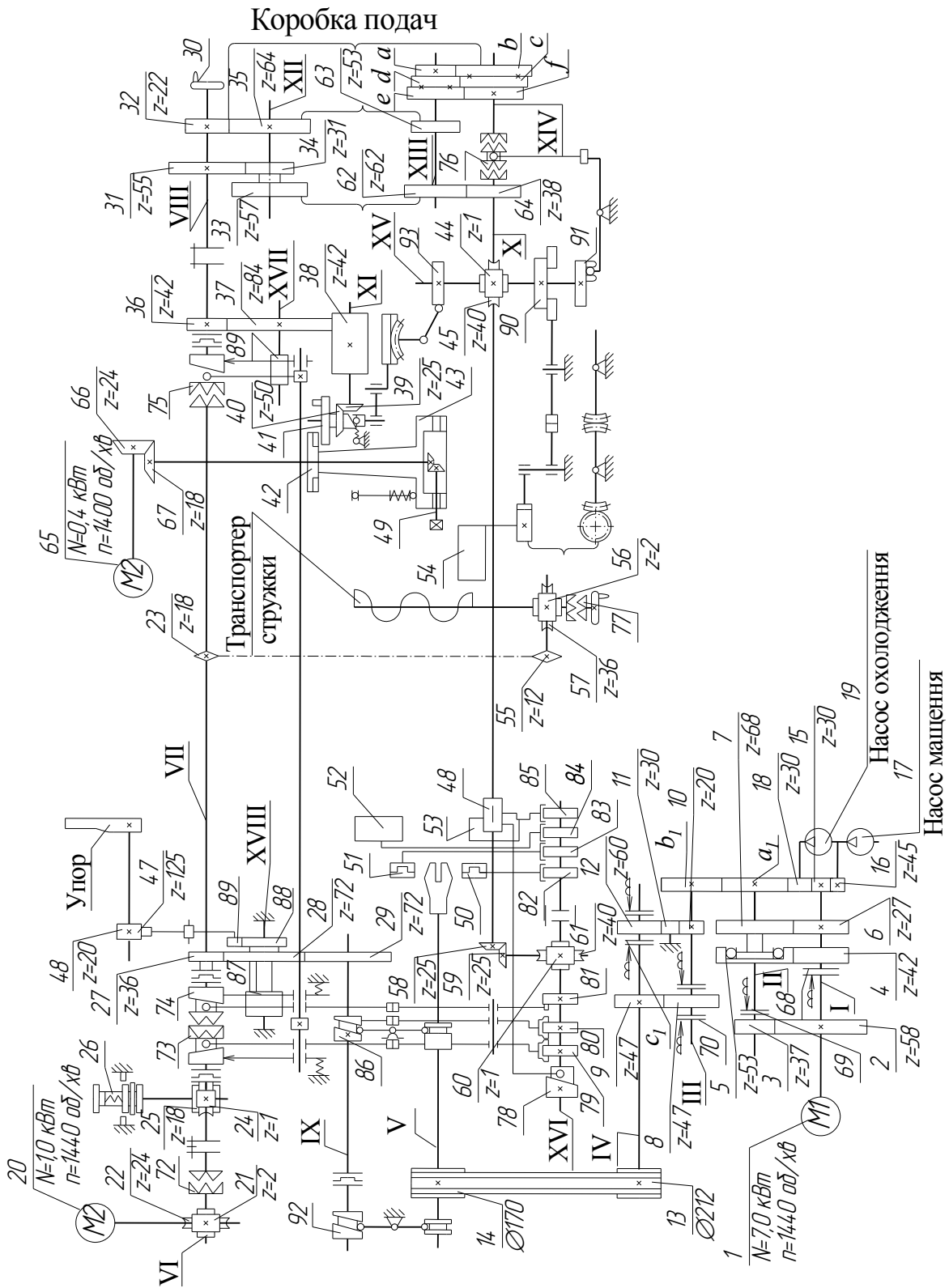


Рисунок 6.9 – Кінематична схема токарно-револьверного автомата моделі 1Б140

вправо, і пруток доходить до відкидного упора, який встановлюється в цей момент проти торця шпинделя. Після цього муфта 5 переміщується вліво, і цанга 12 затискає пруток. Сила затискання прутка регулюється гайками 15.

На подачу і затискання прутка потрібен один оберт вала IX з барабанами 92 і 86 (рис. 6.9), але тому що цей вал обертається в 2 рази повільніше, ніж допоміжний вал ($i = 36/72 = 1/2$), то за час подачі і затискання прутка допоміжний вал зробить два оберти. Для того щоб однооборотна муфта 74 не вмикалася після першого обороту допоміжного вала, на валу XVIII закріплено ексцентриковий кулачок 87, з яким взаємодіє важіль, що вмикає муфту 74.

В корпусі супорта (рис. 6.10) розміщено горизонтальний вал із шестипозиційною револьверною головкою 13. Водило 2 знаходиться на ведучому диску 3. Диск має торцевий кулачок 4, який знаходиться в контакті через двуплечий важіль 15 з фіксатором 14 револьверної головки, і кривошип 12, зв'язаний через шатун 11 (регульований гайкою 5) з рейкою 9, яка може переміщуватися в поздовжньому пазу корпуса супорта. Ролик 8 взаємодіє з дисковим кулачком 7, який закріплено на розподільному валу верстата. Пружина 6 прагне перемістити супорт разом з револьверною головкою, кривошипом 12, шатуном 11 і рейкою 9 вправо, проте цьому перешкоджає рейка, що утримується зубчастим сектором 10, і кулачком 7.

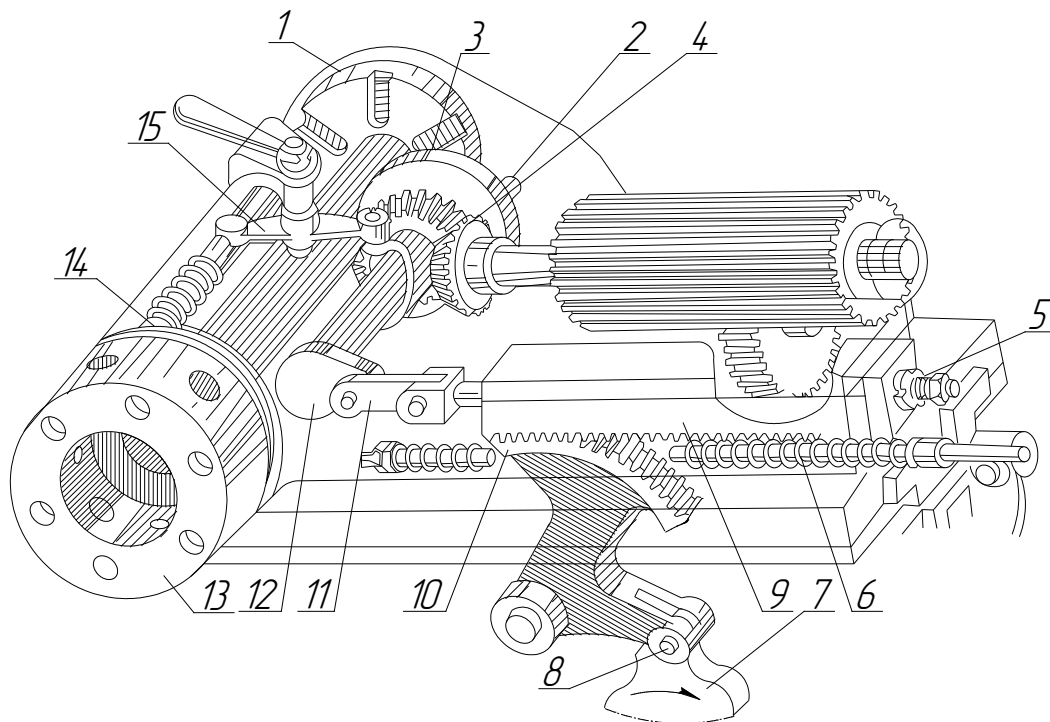


Рисунок 6.10 – Револьверний супорт

Револьверний супорт має два незалежних рухи: повільну робочу подачу від кулачка 7 і швидке відведення і підведення. Після відведення револьверна головка здійснює поворот. При робочій подачі кулачок, обертаючись за годинниковою стрілкою, через зубчастий сектор 10 переміщує вліво рейку 9, а разом з нею і весь супорт, тому що кривошип 12, і шатун 11 при цьому знаходяться в мертвому положенні. Пружина 6 у цей час стиснена. При взаємодії ролика 8 із ділянкою налагодження кулачка 7 вона повертає супорт у вихідне положення.

Холостий хід револьверного супорта з поворотом револьверної головки здійснюється допоміжним валом за допомогою муфти з самовимиканням 75 (рис. 6.9). Команда на цю операцію подається кулачком барабана 80. У потрібний момент кулачок, взаємодіючи з муфтою із самовимиканням 75, звільнює її. Муфта після увімкнення обертає зубчасті колеса 36, 37, 38, 39, 40 і диск 41. Торцевий кулачок 4 (рис. 6.10), діючи на важіль 15, виводить фіксатор 14 із гнізда і звільнює револьверну головку. Слідом за цим водило 2 заходить у паз мальтійського механізму 1 і повертає його на 1/6 оберту, після чого фіксатор під дією пружини западає в чергове гніздо головки та фіксує її. Перед поворотом головки кривошип 12, обертаючись за годинниковою стрілкою, виходить з мертвого положення із шатуном 11, завдяки чому супорт втрачає нерухому опору (рейку 9) і пружина 6 швидко переміщує його вправо. Після повороту кривошипа 12 на 180° він, відштовхуючись від нерухомої рейки 9, надає револьверному супорту швидкий рух вперед у вихідне положення і, опинившись знову в мертвому положенні, зупиняється, тому що в цей момент розмикається муфта з самовимиканням 75 (рис. 6.9).

Револьверна головка здійснює поворот протягом двох обертів допоміжного вала. Для того щоб однооборотна муфта 75 не вмикалася після першого оберту, на валу XVII встановлено ексцентриковий кулачок 89, що вимикає цю муфту тільки після двох обертів допоміжного вала. Поперечні супорти отримують поступальний рух в бік осі шпинделя від важелів із зубчастими секторами 4 (рис. 6.11), зв'язаними з зубчастими рейками 3, а настановне переміщення при налагодженні – від гвинтів 5 і 6. На передньому супорті знаходяться поздовжні напрямні 1, якими переміщується паралельно осі шпинделя чи під кутом до нього поздовжній супорт 2. Робочий рух супорти отримують від кулачків, встановлених на розподільному валу автомата.

Токарно-револьверні автомати даного типу випускаються з найбільшими діаметрами оброблюваних прутків 10, 16, 25, 40 і 65 мм.

Головною особливістю верстату з точки зору кінематики є те, що ланцюги головного руху, подач, допоміжних переміщень – незалежні один від одного.

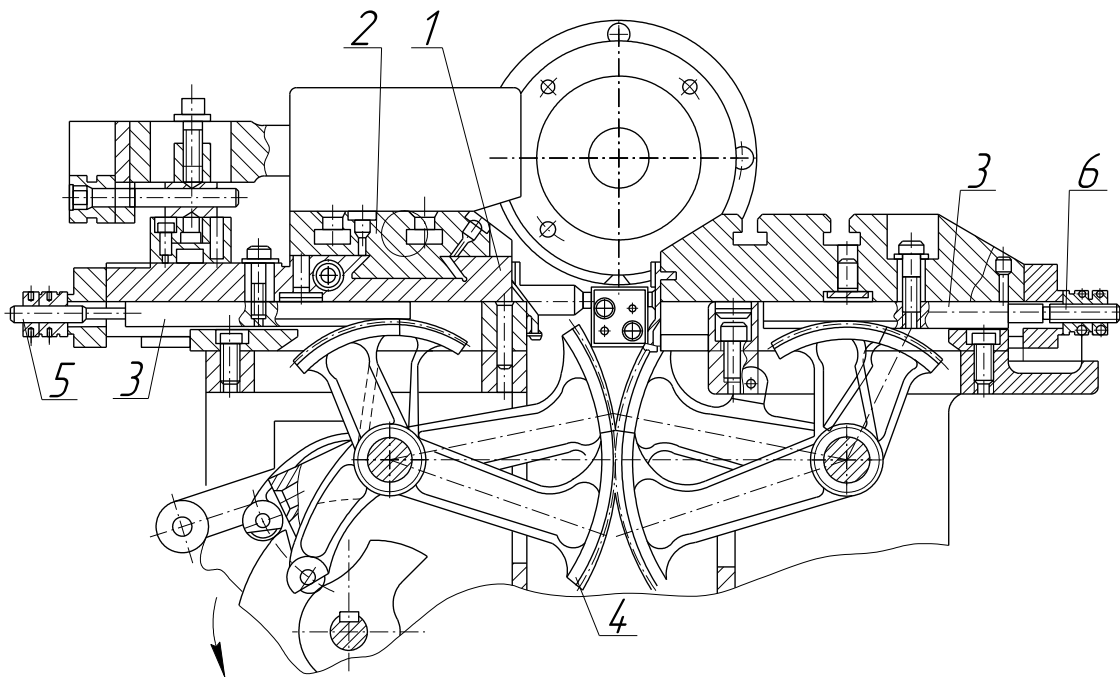


Рисунок 6.11 – Поперечні супорти

• *Головний рух* – обертання шпинделя. Точіння і свердління виконуються при лівому обертанні шпинделя. Рівняння кінематичного балансу має вигляд:

$$n_{M1} \cdot i_{к.ш.} \cdot \frac{212}{170} = n_{шп.}, \quad (6.18)$$

де $i_{к.ш.}$ – передатне відношення коробки швидкостей, яке визначається із співвідношення

$$i_{к.ш.} = \frac{\left| \begin{array}{c} 58 \\ 37 \\ 42 \\ 53 \\ 27 \\ 68 \end{array} \right|}{\left| \begin{array}{c} 20 \\ 60 \\ 47 \\ 47 \end{array} \right|} \cdot \frac{a_1}{v_1}. \quad (6.19)$$

Гітара $a_1 - v_1$ має 3 пари змінних коліс.

• *Привод подачі і допоміжних переміщень.* Допоміжний вал VII – VIII отримує обертання від електродвигуна 20 через черв'ячну пару 21-22 і кулачкову муфту 72. Допоміжний вал робить 2 об/с, а при вимкненій муфті 72 його можна обертати вручну маховиком 30. Від допоміжного вала через черв'ячну передачу 24-25 обертання передається командоапарату 26 перемикання швидкостей шпинделя шляхом вмикання відповідних електромагнітних муфт в коробці швидкостей.

Через зубчасті колеса 27-28-29 обертання передається валу IX і барабанам 92 і 86 механізмом подачі і затискання прутка. Револьверна головка 43 при вмиканні муфти 75 повертається за допомогою коліс 36-37-38, 39-40 і мальтійського механізму 41-42. Від вала VIII через коробку подач і черв'ячну пару 44-45 обертання передається першому розподільному валу XV, а через передачі 58-59 і черв'ячну пару 60-61 – другому розподільному валу XVI. Вали XV і XVI обертаються з однаковою частотою.

На розподільному валу XVI встановлені циліндричний кулачок 78, що здійснює подачу поздовжнього супорта 46, і барабани 79, 80 і 81, які вмикають однооборотні муфти: 73 – повороту барабана командоапарата 26; 74 – подачі і затискання прутка; 75 – повороту револьверної головки 43. Перед подачею прутка кулачок 88 (вал XVIII) за допомогою зубчастого сектора 47 і колеса 48 повертає упор, що здійснює гойдальний рух, і встановлює його проти переднього торця шпинделя. Після подачі прутка упор відходить в початкове положення. На валу XVI встановлені дискові кулачки 82, 83, 84 і 85. Перші два – для подачі вертикальних (50 і 51) супортів, а другі для подачі поперечних (52 і 53) супортів.

На розподільному валу XV розташовані дисковий кулачок 93 переміщення револьверного супорта, барабан 90 лотка 54, який відділяє готові деталі від стружки, і барабан 91 муфти 76 перемикання частоти обертання розподільних валів. Повільне обертання останніх здійснюється від допоміжного вала VIII через зубчасті колеса коробки подач 32-35-63 і змінні колеса *a-b* або *c-d*, або *e-f*, а швидке – через колеса 31-34, 33-62-64.

Для допоміжних рухів служить електродвигун 65, за допомогою якого можна обернути швидкісний свердлильний шпиндель 49, встановлений в одному з гнізд револьверної головки. Цей шпиндель, обертаючись в напрямі, зворотному обертанню заготовки, дозволяє отримати досить високу швидкість різання при свердлінні отворів малого діаметру.

§ 6.6 Кінематика токарного патронно - центрового верстата моделі 16К20Ф3

Верстат призначений для виконання різноманітних токарних робіт у напівавтоматичному циклі. В залежності від можливостей системи ЧПК на верстаті можна обробляти різноманітні різьби. Верстат випускають на базі верстата 16К20.

Технічна характеристика:

- Найбільший діаметр оброблюваної заготовки, мм
над станиною.....400
над супортом.....220

- Число інструментів.....6
- Число частот обертання шпинделя.....12 (за програмою 9)
- Частота обертання шпинделя, хв^{-1}35-1600
- Регулювання подач.....Безступінчаті
- Подача, мм/хв:
 - поздовжня.....3-200
 - поперечна.....3-500
- Швидкість швидких переміщень мм/хв:
 - поздовжніх.....4800
 - поперечних.....2400
- Дискретність переміщень, мм:
 - поздовжніх.....0,01
 - поперечних.....0,005
- Габаритні розміри верстата, мм:
 - довжина.....3360
 - висота.....1710
 - ширина.....1750

На рис 6.12 наведена кінематична схема верстата з ЧПК 16К20Ф3

• Головний рух - обертання шпинделя. Обертання шпинделя *VI* передається від двигуна *M1* через клинопасову передачу з діаметрами шківів $d_1 = 126$ мм і $d_2 = 182$ мм, автоматичну коробку швидкостей (АКШ), вал *III*, клинопасову передачу з шківами $d_1 = 200$ мм та $d_2 = 280$ мм, зубчасту передачу $\frac{40}{54}$ і передачу $\frac{65}{43}$ або $\frac{30}{60}$. На валу *I* АКШ вільно встановлені зубчасті колеса 36, 30, 24 і електромагнітні муфти M_1, M_2, M_3 , при вмиканні яких зубчаті колеса передають крутний момент на вал *II*. На цьому валу жорстко встановлені зубчасті колеса 14, 42, 80, 48, що передають обертання вільно встановленим на валу *III* зубчастим колесам 56, 42, 24 і далі через електромагнітні муфти M_4, M_5, M_6 , на вал *III* і потім на шпиндель. Таким чином, АКШ забезпечує одержання дев'яти частот обертання, які перемикаються автоматично.

Ручне перемикання групової передачі забезпечує два діапазони частот обертання шпинделя: 35...560 і 100...1600 хв^{-1} . Оскільки шість частот у зазначених діапазонах збігаються з величиною, шпиндель фактично має дванадцять частот обертання.

Одночасним вмиканням муфт M_4 і M_6 здійснюється гальмування шпинделя (кінематичний замок).

Рівняння кінематичного балансу

$$n_{M1} \frac{126}{182} \cdot i_{к.ш.} \cdot \frac{200}{280} \cdot \frac{40}{54} \cdot \left| \frac{65}{43} \frac{30}{60} \right| = n_{шп}, \quad (6.20)$$

де $i_{к.ш.}$ – передатне відношення АКШ.

• *Рух подач.* Приводи поздовжньої і поперечної подачі суппорта можуть мати два виконання. У першому виконанні двигунами, що обертають ходові гвинти *X* та *VIII*, є електрогідравлічні крокові двигуни М2 і М4. В другому виконанні використовують високомоментний двигун постійного струму М3. У обох випадках рух на гвинти передається через редукуючу безззорну зубчасту передачу (мале зубчасте колесо встановлено на валу двигуна). При застосуванні високомоментного двигуна постійного струму на ходових гвинтах *VIII* і *X* встановлюють датчики зворотнього зв'язку (ДЗЗ).

РОЗДІЛ 7

РІЗЬБООБРОБЛЮВАЛЬНІ ВЕРСТАТИ

§ 7.1 Особливості кінематики різьбонарізання

Різьбові з'єднання широко застосовують в машинобудуванні як для створення нерухомих з'єднань (болти, гвинти, гайки і т. д.), так і для рухомих (ходовий гвинт – гайка). Різьбу на деталях нарізають різними способами: на токарних верстатах різцем або гребінкою, мітчиками, плашками, різьбонарізальними головками, дисковими і груповими різьбовими фрезами, одно- і багатонитковими шліфувальними кругами, накатуванням та ін. Широке застосування при виготовленні різьб, особливо у великосерійному і масовому виробництві, отримало різьбофрезерування, яке забезпечує високу продуктивність.

Різьбу фрезерують двома основними способами – дисковою і груповою фрезою.

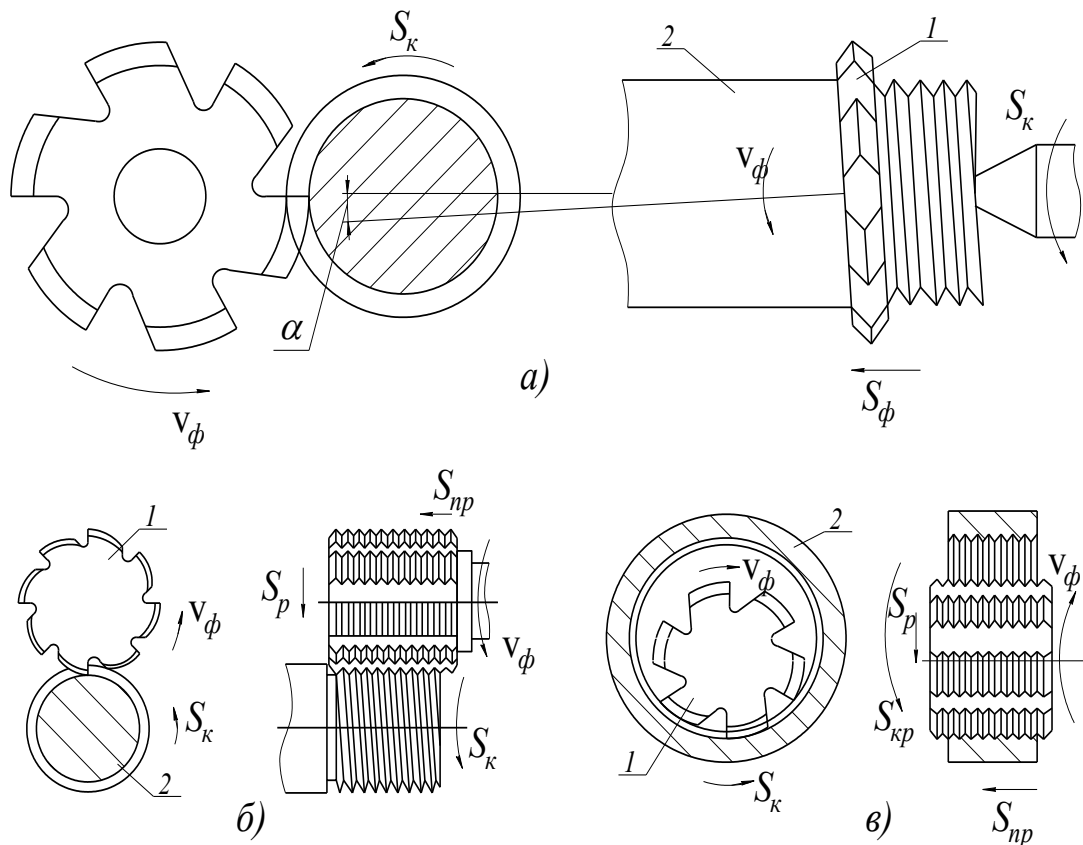


Рисунок 7.1 – Способи фрезерування різьб:
а) – дисковою фрезою; б), в) – груповими фрезами

Фрезерування різьб дисковою фрезой (рис. 7.1, а). При даному способі вісь дискової фрези 1 встановлюють на кут підйому гвинтової нарізки a відносно осі заготовки 2. Фреза одержує головний обертальний рух v_ϕ і повздовжню подачу S_ϕ паралельну осі заготовки, заготовка - обертання (колову подачу S_k). Фрезерування різьби звичайно проводять на повну глибину. За допомогою дискової фрези можна нарізати різьбу різного профілю і кроку та будь-якої довжини.

Фрезерування коротких різьб груповими фрезами (рис.7.1, б, в). Групова фреза 1 має кільцеві канавки. Під час обробки вісь фрези встановлюють паралельно осі заготовки. Фреза отримує головний обертальний рух V_ϕ , рух радіальної подачі S_p до повної глибини фрезерування і рух поздовжньої подачі S_n з кроком нарізуваної різьби, заготовка - обертання (колову подачу S_k). За весь цикл обробки заготовка виконує від $7/6$ до $11/8$ обороту, а фреза переміщується паралельно осі заготовки на величину дещо більше одного кроку. Це пов'язано з тим, що на підведення, різання і відведення фрези, що відбуваються під час обертання заготовки, витрачається частина оберту. Груповими фрезами можна нарізати як зовнішні (рис. 7.1, б), так і внутрішні різьби. Верстат працює за напівавтоматичним циклом (рис. 7.1, в). Оскільки при фрезеруванні різьби вісь фрези паралельна осі заготовки, то необхідно, щоб кільцеві витки були направлені до витків нарізуваної різьби під кутом, рівним куту підйому різьби. Таке неспівпадання витків фрези і різьби незначно змінює профіль різьби, тому метод фрезерування різьби груповими фрезами обмежується заданою точністю різьби і рекомендується для виготовлення різьб з кроком до 6 мм.

§ 7.2 Кінематика різьбофрезерного верстату моделі 5М5Б62

Верстат призначений для фрезерування коротких зовнішніх і внутрішніх різьб груповою (гребінчастою) фрезой.

Технічна характеристика:

- Найбільший діаметр різьби, мм:

зовнішній.....	100
внутрішній.....	80
- Найбільша довжина різьби, мм.....75
- Найбільший крок (мм) різьби, при довжині різьби, мм:

50.....	6
75.....	3

Верстат працює по напівавтоматичному циклу. Кінематична схема верстата наведена на рис. 7.2.

- *Головний рух* (обертання фрези 1 здійснюється від електродвигуна 2 ($P = 1,5$ кВт, $n = 1425$ об/хв). Рівняння кінематичного балансу і формула налагодження мають вигляд:

$$n_{M1} \frac{4}{34} i_V \frac{24}{54} \cdot \frac{54}{24} = n_\phi, \quad i_V = \frac{n_\phi}{168}, \quad (7.1)$$

де n_ϕ – частота обертання фрези, об/хв. Гітара головного руху однопарна. Число частот обертання фрези 9, в межах від 75 до 375 об/хв.

- *Рух колової подачі* (обертання заготовки) здійснюється від електродвигуна 3 ($P = 1$ кВт, $n = 1425$ об/хв)

$$n_{M2} \frac{24}{81} i_S \frac{1}{50} i_{\partial 1} \frac{30}{54} \cdot \frac{54}{24} \cdot \frac{2}{49} = \frac{s_k}{\pi \cdot D_p}, \quad (7.2)$$

де $i_{\partial 1}$ - передаточне відношення диференціала; $i_{\partial 1} = 2$;

s_k – колова подача заготовки, мм/хв;

D_p - середній діаметр різьби, мм.

Виразимо хвилинну подачу через подачу на зуб фрези:

$$s_k = s_z \cdot z_\phi \cdot n_\phi,$$

де s_z – подача на зуб фрези, мм/зуб.

Тоді формула налагодження прийме вигляд

$$i_S = 0,37 \frac{s_z \cdot z_\phi \cdot n_\phi}{D_p}. \quad (7.3)$$

- *Рух поздовжньої подачі* (переміщення фрези в осьовому напрямку з кроком нарізаної різьби) здійснюється за допомогою барабана 5 із змінними кулачками. Кулачок через ролик переміщує тягу, зв'язану з фрезерною бабкою. Положення бабки щодо тяги можна регулювати рукояткою 7. Налагодження ланцюга подачі на крок полягає у визначенні характеристики кулачка. Елементом налагодження є підйом L на кулачку барабана 5, який виконується для всіх кулачків на куту повороту барабана $\theta = 110^\circ$. З рівняння кінематичного балансу

$$1_{\text{об. ум.}} \frac{57}{38} \frac{38}{38} \frac{25}{78} \frac{26}{75} \frac{360^\circ}{\theta} L = p \quad (7.4)$$

отримуємо

$$L = \frac{11}{6} p,$$

де p – крок нарізаної різьби.

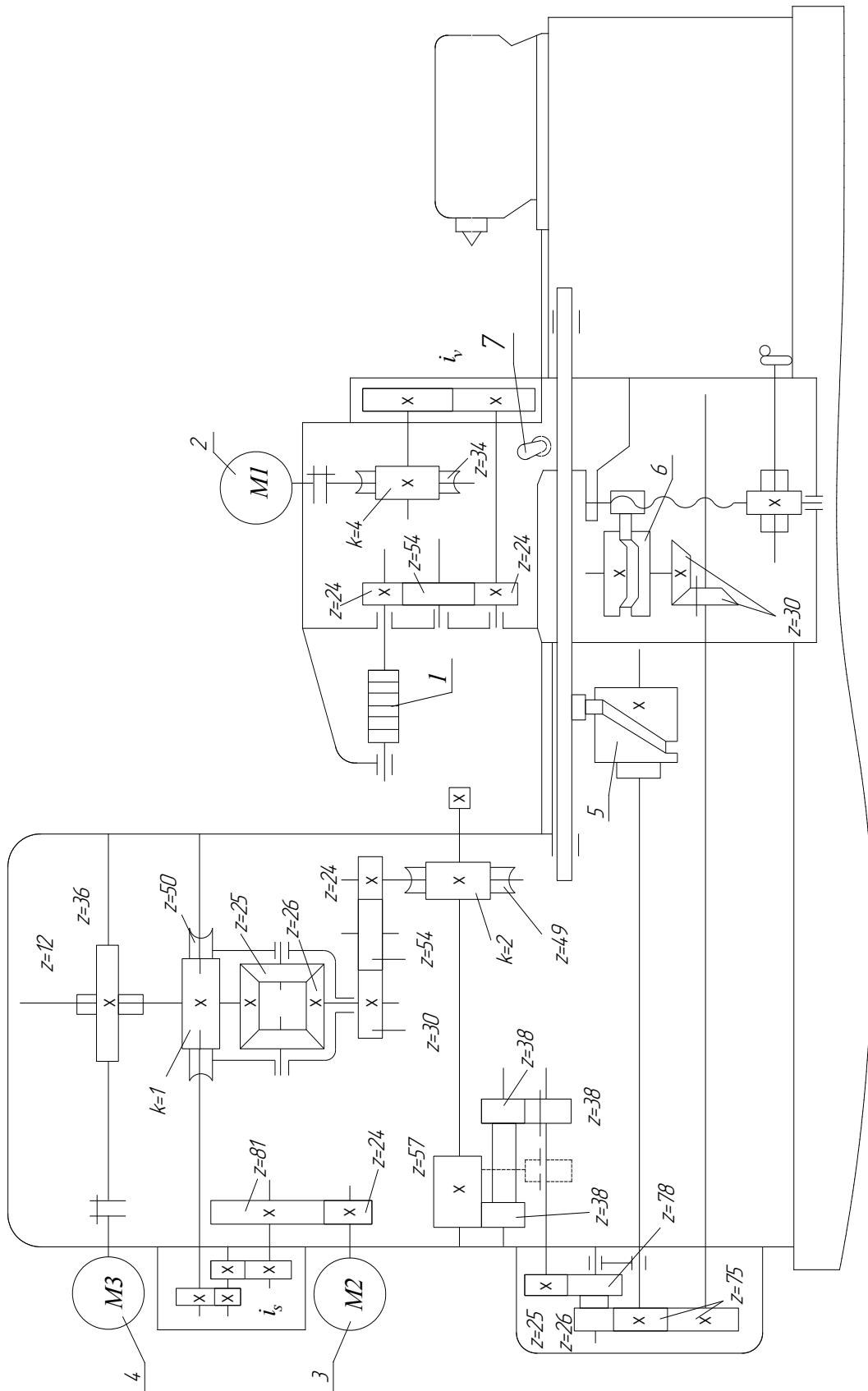


Рисунок 7.2 – Кінематична схема різьбофрезерного верстата моделі 5М5Б62

• *Подача на глибину врізання* (переміщення фрези в радіальному напрямку на повну глибину фрезерування) здійснюється від кулачка барабана 6. Кулачок має постійний підйом і настройка здійснюється за кінцевим переміщенням фрези. Кулачки барабана 6 забезпечують прискорене підведення фрези, з робочою подачею близько 1/6 оберту заготовки і швидке відведення після повного нарізання різьби. За повний цикл обробки барабан 6 зробить 1 оборот:

$$n_{ц.шт} \frac{57}{38} \frac{38}{38} \frac{25}{78} \frac{26}{75} \frac{75}{75} \frac{30}{30} = 1 \text{ об. барабана 6,} \quad (7.5)$$

де $n_{ц.шт}$ – число обертів шпинделя за повний цикл обробки.

• *Прискорені переміщення* (допоміжні рухи) - підведення і відведення фрези здійснюється від окремого електродвигуна 4 ($P = 1$ кВт, $n = 1425$ об/хв). Прискорені рухи додаються до робочих (підсумовуються конічним диференціалом):

$$n_{МЗ} \frac{12}{36} i_{\partial 2} \frac{30}{54} \cdot \frac{54}{24} \cdot \frac{2}{49} \cdot \frac{57}{38} \cdot \frac{38}{38} \cdot \frac{25}{78} \cdot \frac{26}{75} = n_{Б5}; \quad (7.6)$$

де $n_{Б5}$ – частота обертання барабана 5;

$i_{\partial 2} = 1$ – передаточне число диференціала.

§ 7.3. Аналіз кінематики різьбошліфування

Шліфування різьби широко застосовують в машинобудуванні при виготовленні різьбонарізального інструменту, різьбових калібрів, накатних роликів, ходових гвинтів, черв'яків, черв'ячних фрез, мітчиків і т.д. Більшість з перерахованих деталей піддається термічній обробці, яка зазвичай призводить до зміни профілю різьби. Застосовують декілька способів шліфування різьб.

1. *Шліфування різьб одноститковим шліфувальним кругом* (рис. 7.3, а). Інструментом є одноститковий шліфувальний круг, профіль якого відповідає профілю однієї западини різьби. Вісь шліфувального круга встановлюють під кутом α нахилу гвинтової нарізки. Під час обробки шліфувальний круг отримує головний обертальний рух, а заготовка – повільне обертання (колова подача) і переміщення уздовж своєї осі на величину кроку за один оборот (повздовжня подача). Даним способом можна шліфувати різьби різного профілю і довжини.

2. *Шліфування різьб багатонитковим шліфувальним кругом, що має кільцеві канавки*. Існує два способи шліфування різьби багатонитковим кругом – повздовжній і врізний. Обидва вони значно продуктивніші шліфування одноститковим кругом, але вимагають більше часу на наладку.

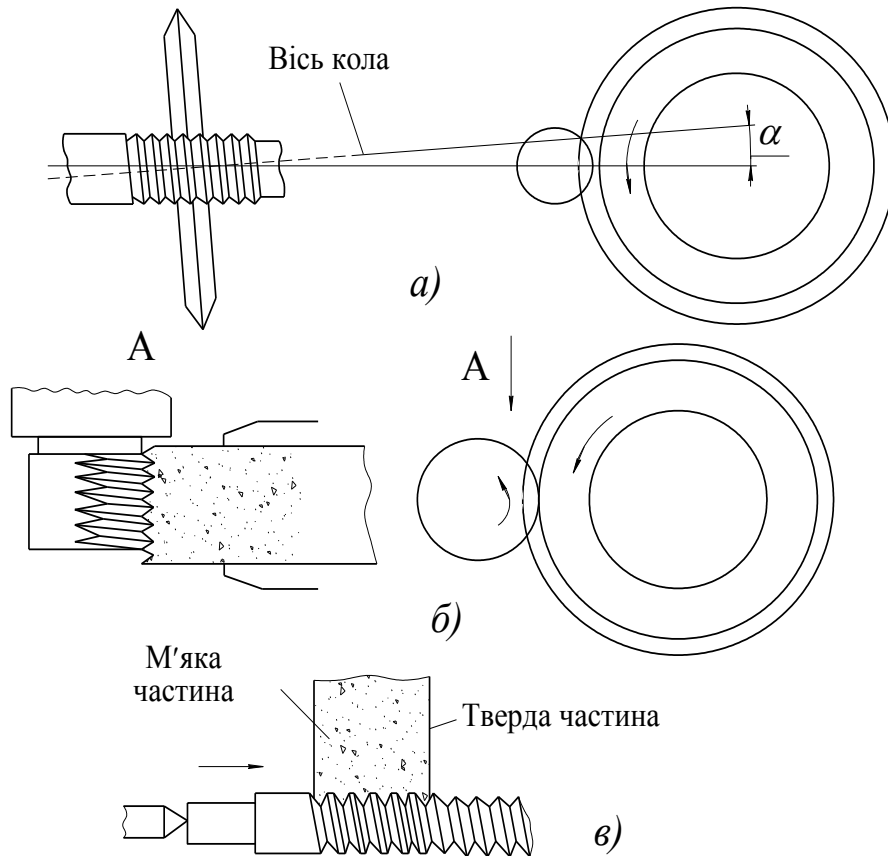


Рисунок 7.3 – Способи шліфування різьб: а – однитковим кругом;
 б – багатонитковим кругом короткої різьби;
 в - багатонитковим кругом довгої різьби

Різьби з кроком до 4 мм на деталі із сталі вигідніше шліфувати багатонитковим кругом по всій заготовці. Шліфування багатонитковим кругом здійснюється при горизонтальній установці шліфувального круга, коли осі круга і заготовки паралельні.

Врізне шліфування різьби (рис. 7.3, б) застосовують для шліфування коротких різьб і деталей з кільцевою нарізкою (різьбові фрези). При шліфуванні коротких різьб круга, що отримує головний обертальний рух, спочатку надається поперечна подача на повну або встановлену глибину профілю за проміжок часу, рівний приблизно $1/2$ обороту заготовки, далі здійснюється повний оберт заготовки, і робочий хід закінчується. При цьому заготовка переміщується вздовж своєї осі з кроком шліфування різьби. Врізне шліфування здійснюється приблизно за $7/4$ обороту заготовки. Ширина шліфувального круга повинна перевищувати довжину шліфованої різьби більш ніж на два кроки.

При паралельному розташуванні вісей круга і заготовки отримаємо деяку розбіжність розмірів профілів різьби по довжині обробленої поверхні,

але при звичайних для нормальних різьб співвідношеннях розмірів ця розбіжність, зважаючи на малий кут підйому різьби, незначна, тому нею нехтують. З цієї причини багатониткові круги не використовують при шліфуванні різьб крупних профілів і з великим кутом підйому.

Поздовжнє шліфування різьби (рис. 7.3, в) застосовують, коли довжина різьби значно більша ширини багатониткового круга. При даному способі шліфувальний круг, встановлений на повну глибину профілю різьби, отримує головний обертальний рух, заготовка – обертання і переміщення з кроком шліфованої різьби. Перші за рухом столу гребені шліфувального круга виконують попереднє шліфування, наступні – остаточне. При збільшенні ширини шліфувального круга росте його стійкість, але збільшується перебіг столу. Тому ширину круга порівнюють з довжиною шліфованої різьби: різьби завдовжки близько 200 мм шліфують кругом шириною 20 мм, а різьбу більшої довжини – кругом шириною 40 мм.

§7.4 Кінематика універсального різьбошліфувального верстата моделі 5822М

Верстат призначений для шліфування циліндричних і конічних різьбових калібрів-пробок і калібрів-кілець, точних гвинтів і черв'яків, затилування мітчиків, модульних черв'ячних фрез і ін. Верстат автоматизований і дозволяє виконувати шліфування одно- і багатонитковим шліфувальним кругом.

Технічна характеристика:

- Розміри встановлюваних деталей, мм, не більше:

діаметр.....	200
довжина.....	500
- Діаметр шліфованих різьб, мм:

одноритковим кругом.....	3...150
багатонитковим кругом.....	10...120
- Крок шліфованої метричної різьби, мм:

одноритковим кругом.....	0,25...24
багатонитковим кругом.....	1...4
- Крок шліфованої дюймової різьби, нитки на 1":

одноритковим кругом.....	28...3
багатонитковим кругом.....	24...6

Кінематична схема верстата зображена на рис. 7.4.

- *Головний рух* – обертання шліфувального круга – здійснюється від електродвигуна *М1* ($P = 5,5$ кВт, $n = 1500$ об/хв):

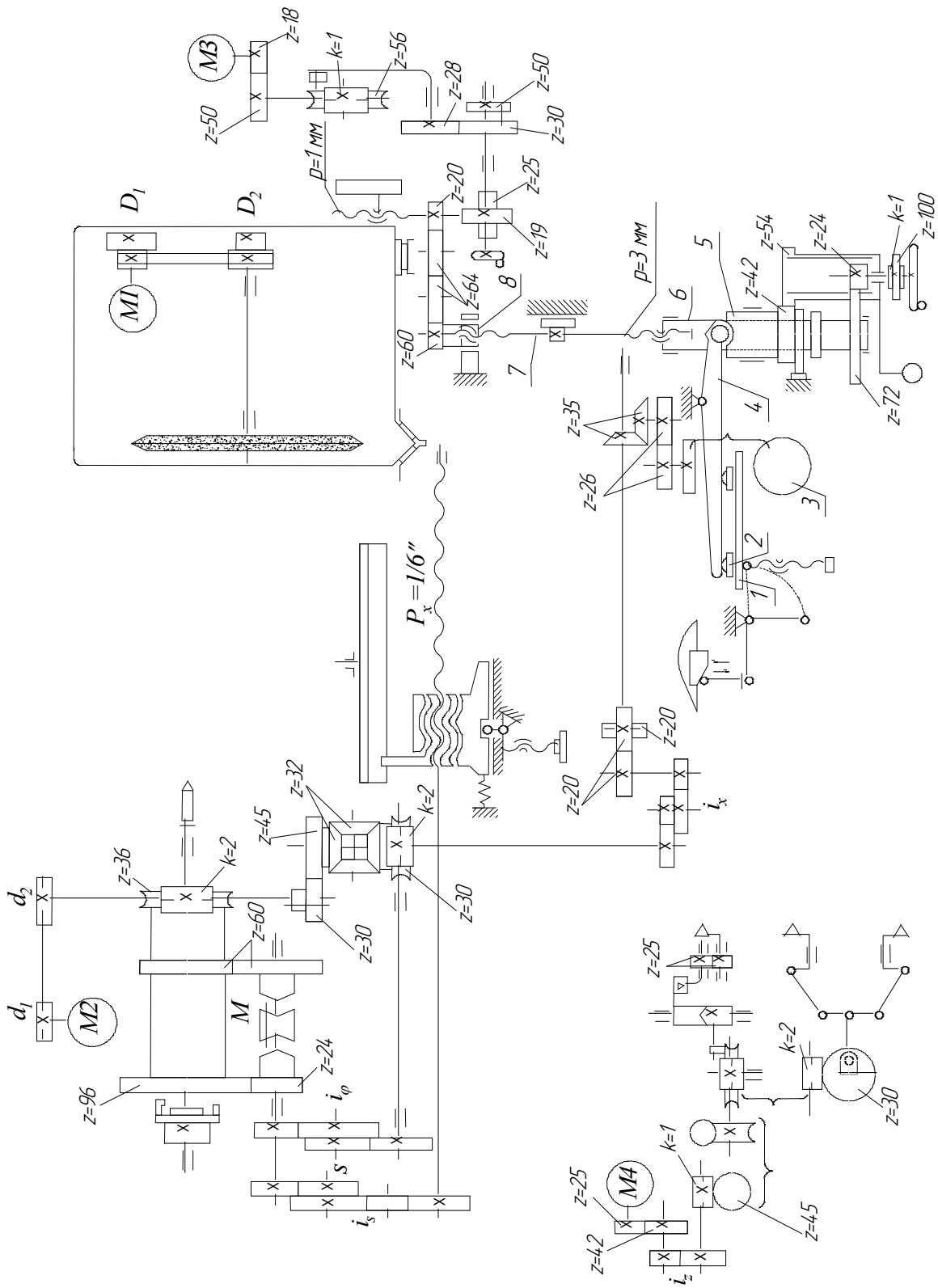


Рисунок 7.4 – Кінематична схема різьбошліфувального верстата моделі 5822М

$$n_{M1} \frac{D_1}{D_2} = n_{ш.к.} \quad (7.7)$$

Регулювання частот обертання шліфувального круга забезпечується за допомогою швидкозмінних ступінчастих шківів.

Змінні шківви забезпечують наступні частоти обертання (об/хв) шліфувального круга: при зовнішньому шліфуванні – 1440; 1680; 2010; 2380; при внутрішньому шліфуванні – 11800; 9000; 6000.

• *Колова подача* (обертання деталі здійснюється від електродвигуна постійного струму $M2$ ($P = 0,75$ кВт, $n = 2000$ об/хв):

$$n_{M2} \frac{d_1}{d_2} \frac{2}{36} = n_{ум.} \quad (7.8)$$

Завдяки використуванню електродвигуна постійного струму частота обертання шпинделя безступінчасто регулюється в діапазоні 0,3...45 об/хв.

• *Гвинторізний рух* – переміщення столу з оброблюваною деталлю в повздовжньому напрямку з кроком шліфованої різьби:

$$1 \text{ об. ум. } i_n \cdot i_s \left(\frac{1}{6} \right)^n 25,4 = p, \quad (7.9)$$

$$i_s = \frac{6p}{i_n \cdot 25,4},$$

де i_n – передаточне відношення перебору.

При шліфуванні різьб з кроком p до 8 мм $i_n = \frac{60}{60} = 1$ і $i_s = \frac{6p}{25,4}$. При шліфуванні різьб з кроком p більше 8 мм рух на ходовий гвинт передається через ланку збільшення кроку, тоді

$$i_n = \frac{96}{24} = 4 \text{ і } i_s = \frac{6p}{4 \cdot 25,4}.$$

Налагоджувальний крок можна у вузьких межах зменшувати і збільшувати за допомогою коректувальної лінійки. Для шліфування багатозахідних різьб на верстаті застосовують точний ділильний патрон, закріплений на фланці шпинделя виробу. Різьби з числом заходів два і чотири шліфуються перемиканням однозубої муфти в передній бабці без ділильного патрона.

• *Рух затилування і врізного шліфування*. Швидке підведення і відведення шліфувального круга і затилування здійснюються переміщенням шліфувальної бабки напрямними кочення. Рівняння кінематичного балансу і формула налагодження:

$$1_{об. ум} \cdot \frac{36}{2} \cdot \frac{30}{45} \cdot i_{\partial 1} \cdot i_x \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{26}{26} = z_{об.к}, \quad (7.10)$$

де $i_{\partial 1} = \frac{1}{2}$ – передаточне відношення диференціала;

$i_x = \frac{z}{6}$ – передаточне відношення гітари затилування;

z – число зубців фрези, що затилується.

Від кулачка затилування 3 рух гойдання передається через важіль 1, повзун 2 (повзун призначений для налагодження величини затилування), важіль 4 кулачку швидкого відведення 5. Кулачок швидкого відведення через корпус 6 гайки поперечної подачі, гвинт 7 поперечної подачі і гайку компенсуючої подачі 8 пов'язаний з шліфувальною бабкою.

Врізне шліфування застосовують при шліфуванні багатонитковим шліфувальним кругом коротких різьб. Кінематичне налагодження полягає в наступному: гвинторізний ланцюг налагоджують на крок шліфованої різьби; на вал механізму затилування замість кулачка затилування встановлюють кулачок врізання; на гітару затилування i_x встановлюють змінні зубчаті колеса $\frac{30}{90} \cdot \frac{30}{120}$ (на рисунку не показані).

• *Диференціальний рух* використовують при затилуванні деталей з спіральними стружковими канавками. Він забезпечує додатковий поворот кулачка затилування при переміщенні столу із заготовкою в повздовжньому напрямку:

$$\frac{1}{p_x} \cdot \frac{1}{i_s} \cdot i_\varphi \cdot \frac{2}{30} \cdot i_{\partial 2} \cdot i_x \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{26}{26} = \frac{l \cdot z}{T}, \quad (7.11)$$

де p_x – крок ходового гвинта, мм;

l – переміщення столу;

T – крок спіральної стружкової канавки;

z – число затилувальних поверхонь.

$$i_s = \frac{6p}{25,4}; i_{\partial 2} = \frac{1}{2}; i_x = \frac{z}{6}; i_\varphi = \frac{180p}{T}$$

Привод механізму подачі керуючих пристроїв і компенсуючої подачі шліфувальної бабки здійснюється від електродвигуна МЗ ($P = 0,05$ кВт, $n = 1500$ об/хв). Рівняння кінематичного балансу:

$$n_{МЗ} \frac{18}{50} \cdot \frac{1}{56} \cdot \frac{28}{30} \cdot \frac{K}{50} \cdot \frac{19}{25} \cdot 1 = s_{к.м.},$$

де $s_{к.м.}$ – подача керуючих механізмів;

K – число зубців колеса храповика $z = 50$, яке зачіплюється з собачкою.

Одночасно від гвинта з кроком $p = 1$ через зубчасті колеса $z = 20$, $z = 64$ і $z = 60$ обертання передається на гайку δ подачі шліфувального круга, тобто разом з подачею ползків керуючих пристроїв здійснюється компенсуюча подача шліфувальної бабки.

Рівняння кінематичного балансу:

$$n_{M3} \frac{18}{50} \cdot \frac{1}{56} \cdot \frac{28}{30} \cdot \frac{K}{50} \cdot \frac{19}{25} \cdot \frac{20}{64} \cdot \frac{64}{64} \cdot \frac{64}{60} \cdot 3 = s_{ш.б.}, \quad (7.13)$$

де $s_{ш.б.}$ – компенсуюча подача шліфувальної бабки.

Переміщення алмазів автоматичного керуючого пристрою здійснюються від електродвигуна $M4$ ($P = 0,05$ кВт, $n = 1500$ об/хв) через зубчасті колеса, кулісний механізм і систему важелів, які надають алмазам робочий поворотно-гойдальний рух (п.х./хв). Рівняння кінематичного балансу:

$$n_{M4} \cdot \frac{25}{42} \cdot i_z \cdot \frac{1}{45} \cdot \frac{2}{30} = n.$$

Отримані співвідношення дозволяють проводити кінематичне налагодження верстату як на зубошліфування, так і на затилування ріжучих інструментів.

РОЗДІЛ 8

ВЕРСТАТИ ДЛЯ ОБРОБКИ ПРИЗМАТИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

§ 8.1 Різновидності верстатів для обробки призматичних деталей. Фрезерні верстати, їх компоновка

Всі деталі, які обробляються на верстатному обладнанні можна поділити на дві великих групи:

- деталі, які за формою відносяться до тіл обертання;
- деталі, які за формою нагадують призматичні тіла.

До другої групи деталей належать стояки, корпусні деталі, плити, рами та ін.

Призматичні деталі обробляються на свердлильних, фрезерних, розточних, стругальних, багатоопераційних верстатах. За своєю компоновкою верстати поділяються на вертикальні, горизонтальні, радіальні та настільні.

В окрему групу віднесено алмазрозточувальні верстати.

Найбільш поширеними серед зазначених є *фрезерні верстати*.

Фрезерні верстати призначені для обробки плоских і фасонних поверхонь за допомогою фрез – багатолезових інструментів з ріжучими кромками, які розташовані на поверхні тіла обертання або на його торцевій поверхні. Найбільше поширення отримали циліндричні, дискові, кінцеві, торцеві, фасонні фрези (рис.8.1).

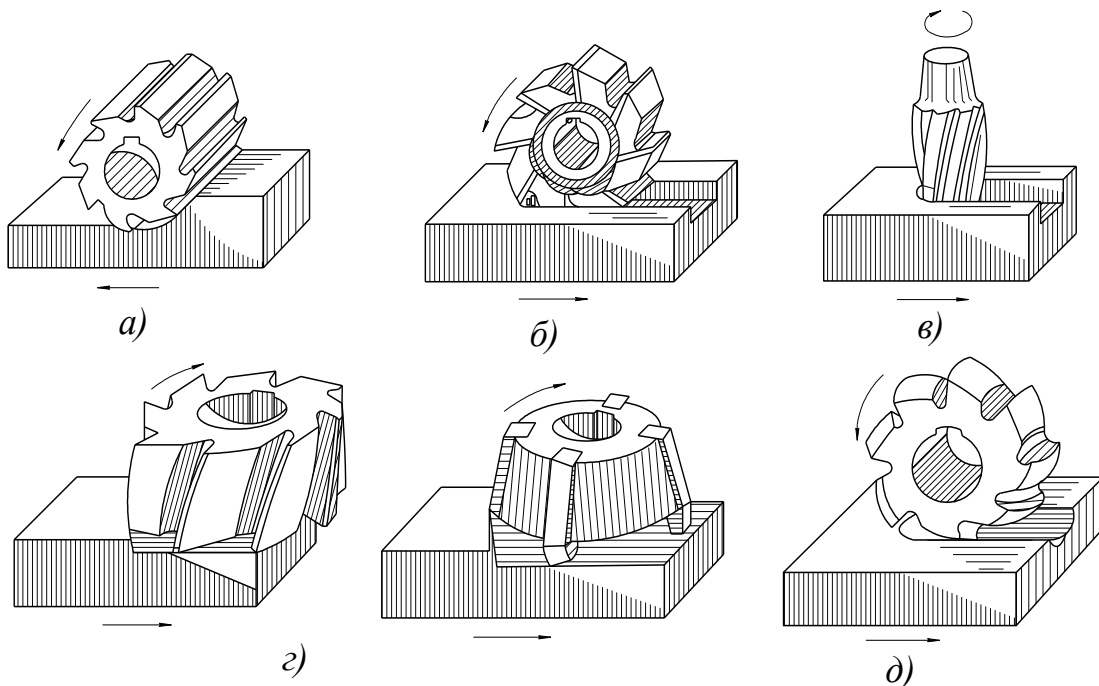


Рисунок 8.1 – Основні типи фрез: *a* – циліндрична; *б* – дискова; *в* – кінцева; *г* – торцева; *д* – фасонна

Згідно класифікації фрезерні верстати відносяться до шостої групи. Головний рух у всіх фрезерних верстатах – це обертання фрези, а рух подачі – відносне переміщення фрези та заготовки. Механізми цих рухів незалежні, тобто вони забезпечуються окремими двигунами.

В залежності від розташування вузлів верстата розрізняють *консольні і безконсольні фрезерні верстати*.

Основною конструктивною ознакою *консольно-фрезерних верстатів* є наявність консолі 1, яка переміщується у вертикальній площині напрямними 2. (рис 8.2). На консолі встановлені горизонтальні напрямні, якими рухаються полозки 3, що несуть стіл 4, на якому кріпиться заготовка.

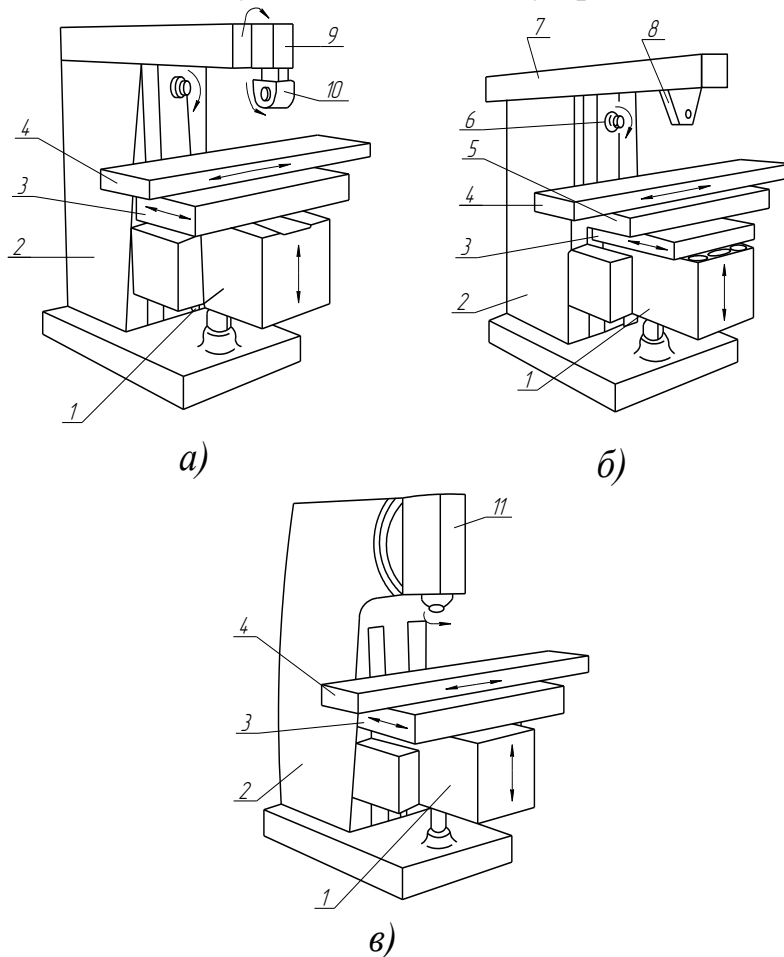


Рисунок 8.2 – Консольно-фрезерні верстати:

а – широкоуніверсальний; *б* – горизонтальний універсальний;
в – вертикальний

Консольно-фрезерні горизонтальні універсальні верстати відрізняються тим, що на полозках 3 встановлена проміжна поворотна плита 5, горизонтальними напрямними якої переміщуються стіл 4 (рис.8.2, б). Шпиндель 6 розташований горизонтально, а на стояку 2 змонтовано хобот 7, на якому розміщено сергу 8.

Функціональні можливості *широкоуніверсальних фрезерних верстатів* розширюються завдяки наявності накладної фрезерної головки 10 зі шпинделем, який обертається під будь-яким кутом в горизонтальній площині (рис. 8.2, а). В цих верстатах відсутня поворотна плита.

Вертикальні консольні фрезерні верстати оснащені вертикально розміщеною головкою 11, яка повертається у вертикальній площині (рис. 8.2, в).

Безконсольні вертикально- і горизонтально-фрезерні верстати (рис. 8.3) відрізняються тим, що полозки 2, які несуть стіл 3, переміщуються горизонтальними напрямними станини 1, а шпиндельна бабка 4 переміщується у вертикальному напрямку напрямними стояка 5.

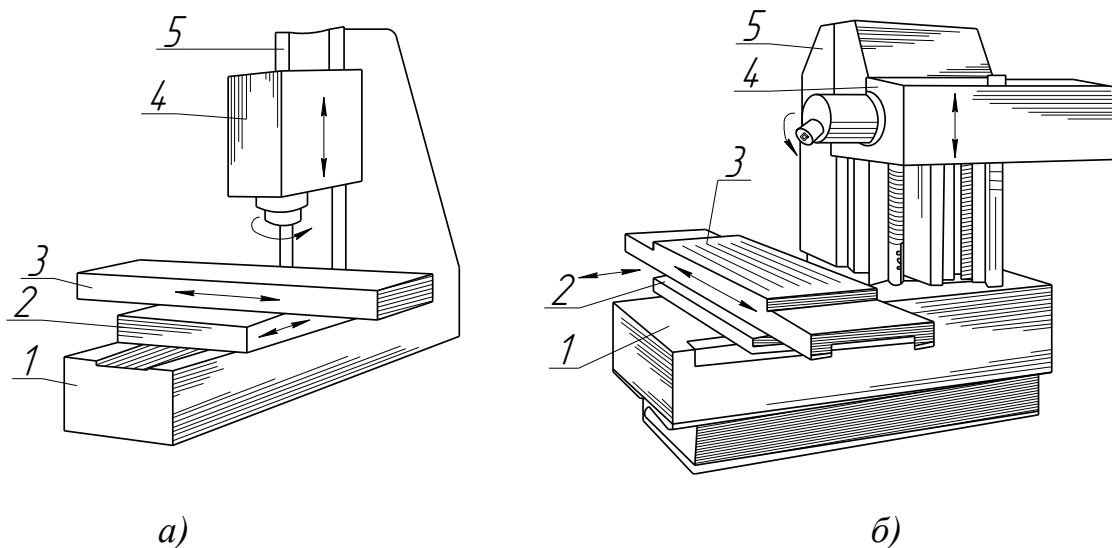


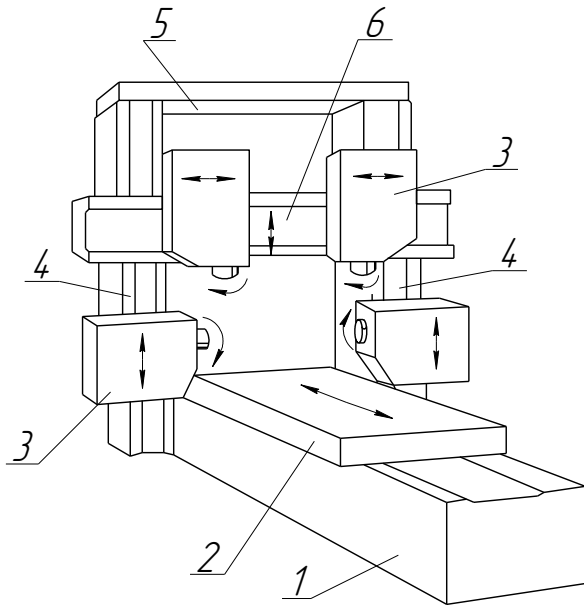
Рисунок 8.3 – Безконсольні фрезерні верстати:
а – вертикальний; б – горизонтальний

Поздовжньо-фрезерні верстати (одно- та двохстоякові) призначені для обробки деталей з великими габаритами, в основному торцевими фрезами (рис.8.4).

Горизонтальними напрямними станини 1 переміщується стіл 2, а шпиндельні головки 3 переміщуються в двох напрямках: стояками 4 портала, зв'язаного балкою 5, чи напрямними поперечини 6, яка в свою чергу переміщується напрямними портала.

Карусельно-фрезерні і барабанно-фрезерні верстати оснащені круглим столом з горизонтальною віссю обертання або багатогранним барабаном з вертикальною віссю обертання, що забезпечує колову подачу. На столах чи на порталах розміщені шпиндельні головки з одним чи декількома шпинделями.

Процес фрезерування, як відомо, характеризується змінною величиною сили різання. Тому для підвищення рівномірності обертання шпинделя на ньому інколи встановлюють маховик. В деяких конструкціях роль маховика відводиться зубчастому колесу великого діаметра, розміщеного безпосередньо біля переднього кінця шпинделя.



Для розширення функціональних можливостей фрезерних верстатів застосовують різні пристосування, що дозволяють закріпленій заготовці отримати додаткові рухи. До таких пристосувань відносяться круглі поворотні столи з механізмом повороту, зв'язаним з механізмом подачі стола, ділильні головки різної конфігурації, одно- та багатшпиндельні, свердлильні, довбальні, шліфувальні головки.

Рисунок 8.4 – Поздовжньо-фрезерний верстат

§ 8.2 Кінематика верстата моделі 6P13PФЗ

Вертикально-фрезерний консольний верстат з ЧПК 6P13PФЗ призначений для обробки деталей складної форми торцевими і кінцевими фрезами. Верстат оснащений револьверною головкою, в якій можуть бути встановлені крім фрез також сверла, зенкери, розвертки.

Технічна характеристика:

- Розмір робочої поверхні стола (довжина × ширина), мм...1600×400
- Частота обертання шпинделя, хв⁻¹40...2000
- Число частот обертання шпинделя.....18
- Робоча подача, мм/хв:
за осями X' та Y'8...1200
за віссю Z8...800
- Регулювання.....безступінчасте
- Швидкість швидких переміщень за осями X' та Y' , мм/хв.....400
- Габаритні розміри верстату, мм:
довжина.....2575
висота.....2180

- ширина.....2480
- Число інструментів в револьверній головці.....5
- Число керованих координат:
всього.....6
- одночасно.....3
- Дискретність відліку за осями координат, мм.....0,01

Фрезерні верстати з ЧПК відрізняються тим, що в них відсутні коробки подач, так як привід оснащений високомоментним двигуном з широким діапазоном регулювання.

Кожний рух у верстаті забезпечується власним двигуном.

На рис. 8.5 наведена кінематична схема верстата.

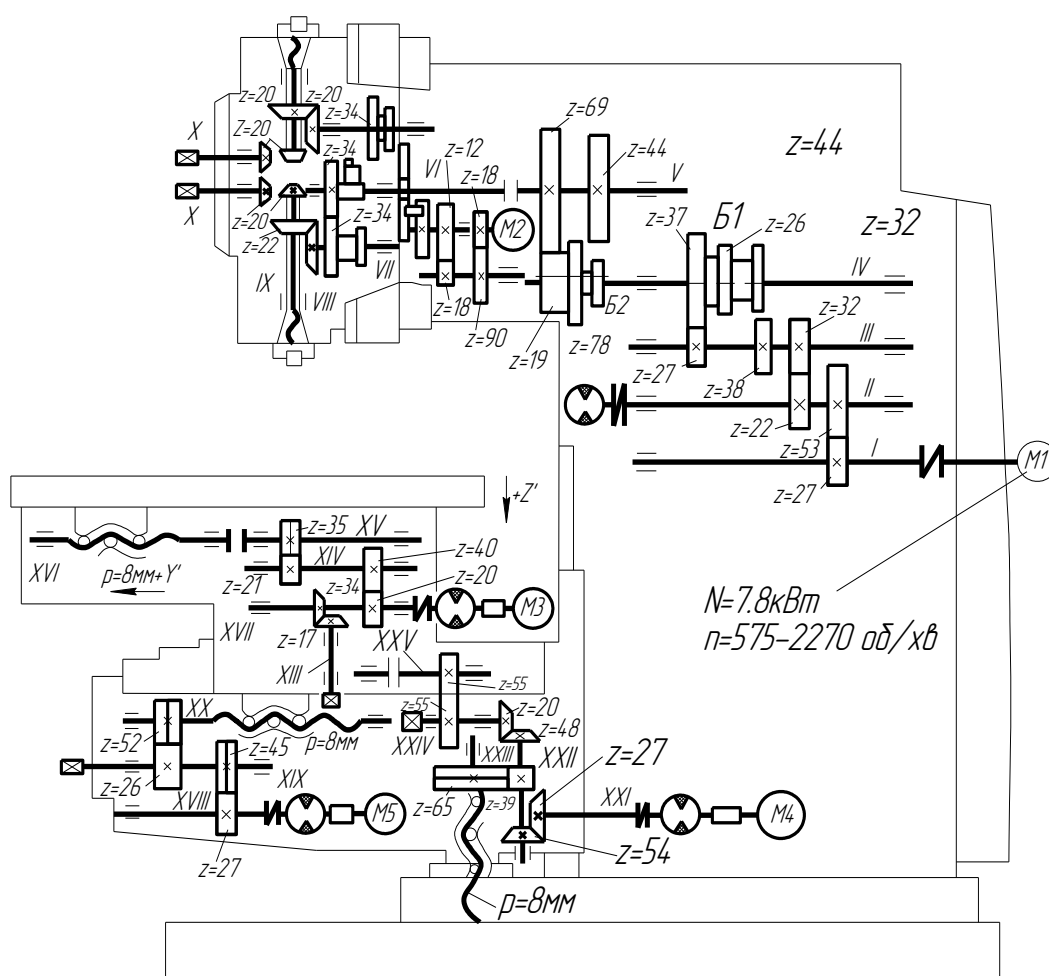


Рисунок 8.5 – Кінематична схема вертикально-фрезерного консольного верстата з ЧПК моделі 6Р13Ф3

- *Головний рух* – це обертання шпинделя, яке він отримує від двигуна М1 типу ПБСТ-63 постійного струму через механічні передачі.

Рівняння кінематичного балансу

$$n_{M1} \cdot \frac{27}{53} \cdot \frac{22}{32} \cdot \left| \frac{38}{26} \right| \cdot \left| \frac{78}{44} \right| \cdot \frac{34}{34} \cdot \frac{22}{22} = n_{\phi}, \quad (8.1)$$

де n_{M1}, n_{ϕ} – частоти обертання двигуна та шпинделя.

Комбінація змін частоти обертання двигуна з безступінчастим регулюванням і коробки швидкостей забезпечує 18 частот в діапазоні $n_{\phi} = 40 \dots 2000 \text{ хв}^{-1}$.

Всі подачі та настановні переміщення стола здійснюються від крокових двигунів ШД5-Д1 з гідропідсилювачем моменту Э32Г18-24.

• *Поперечна подача стола S_n* визначатиметься із рівняння кінематичного балансу

$$n_{M3} \cdot \frac{20}{40} \cdot \frac{21}{35} \cdot 8 = S_n, \quad (8.2)$$

а вертикальна подача консолі S_e –

$$n_{M4} \cdot \frac{27}{54} \cdot \frac{39}{65} \cdot 8 = S_e \quad (8.3)$$

і поздовжня подача стола S_{mn} –

$$n_{M5} \cdot \frac{27}{45} \cdot \frac{26}{52} \cdot 8 = S_{mn}. \quad (8.4)$$

Ходовий гвинт вертикальної подачі зв'язаний через конічну і циліндричну передачі з гідравлічною муфтою M_1 , яка запобігає довільному опусканню консолі.

Поворот револьверної головки здійснюється від гідродвигуна Г12-22(М2) через передачі $\frac{18}{90}, \frac{18}{72}$, вал *XII* з водилом і мальтійським хрестом.

§ 8.3 Кінематика верстата моделі МА655Ф3

Вертикально-фрезерний верстат МА655Ф3 з хрестовим столом і ЧПК призначений для обробки деталей складної конфігурації в умовах одиничного і малосерійного виробництв, може бути використаний в автоматизованому комплексі з керуванням від ЕОМ.

Технічна характеристика:

- Розмір робочої поверхні стола, мм:

довжина.....	1250
ширина.....	500
• Частота обертання шпинделя, хв^{-1}	63...2500
• Число частот обертання шпинделя.....	17
• Робоча подача, мм/хв :	
стола.....	12...700
повзуна.....	12...700
• Регулювання подач стола і повзуна.....	безступінчасте
• Швидкість швидких переміщень стола і повзуна, мм/хв	1400
• Найбільше переміщення стола, мм :	
поздовжнє.....	1000
поперечне.....	500
• Число керованих координат:	
всього.....	6
одночасно.....	3
• Система числового керування.....	фазово-імпульсна типу УМС-2Ф

На рис. 8.6 наведена кінематична схема верстата МА566Ф3

• *Головний рух* – це обертання фрези, яке вона отримує від двигуна М1 через коробку швидкостей. Рівняння кінематичного балансу:

$$n_{M1} \cdot \frac{39}{51} \cdot \frac{44}{46} \cdot \frac{34}{56} \cdot \frac{29}{61} \cdot \frac{25}{65} \cdot \frac{21}{69} \cdot \frac{28}{62} \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{19}{41} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{40}{40} = n_{\Phi}, \quad (8.5)$$

де n_{M1} , n_{Φ} – частоти обертання двигуна М1 та фрези відповідно.

Оскільки ряди частот перекриваються, то шпиндель отримує 17 частот обертання.

- Вертикальне переміщення повзуна S_6 здійснюється від двигуна ПГТ-2 з тиристорною електричною слідкуючою системою:

$$n_{M2} \cdot \frac{12}{12} \cdot \frac{36}{72} \cdot 6 = S_6. \quad (8.6)$$

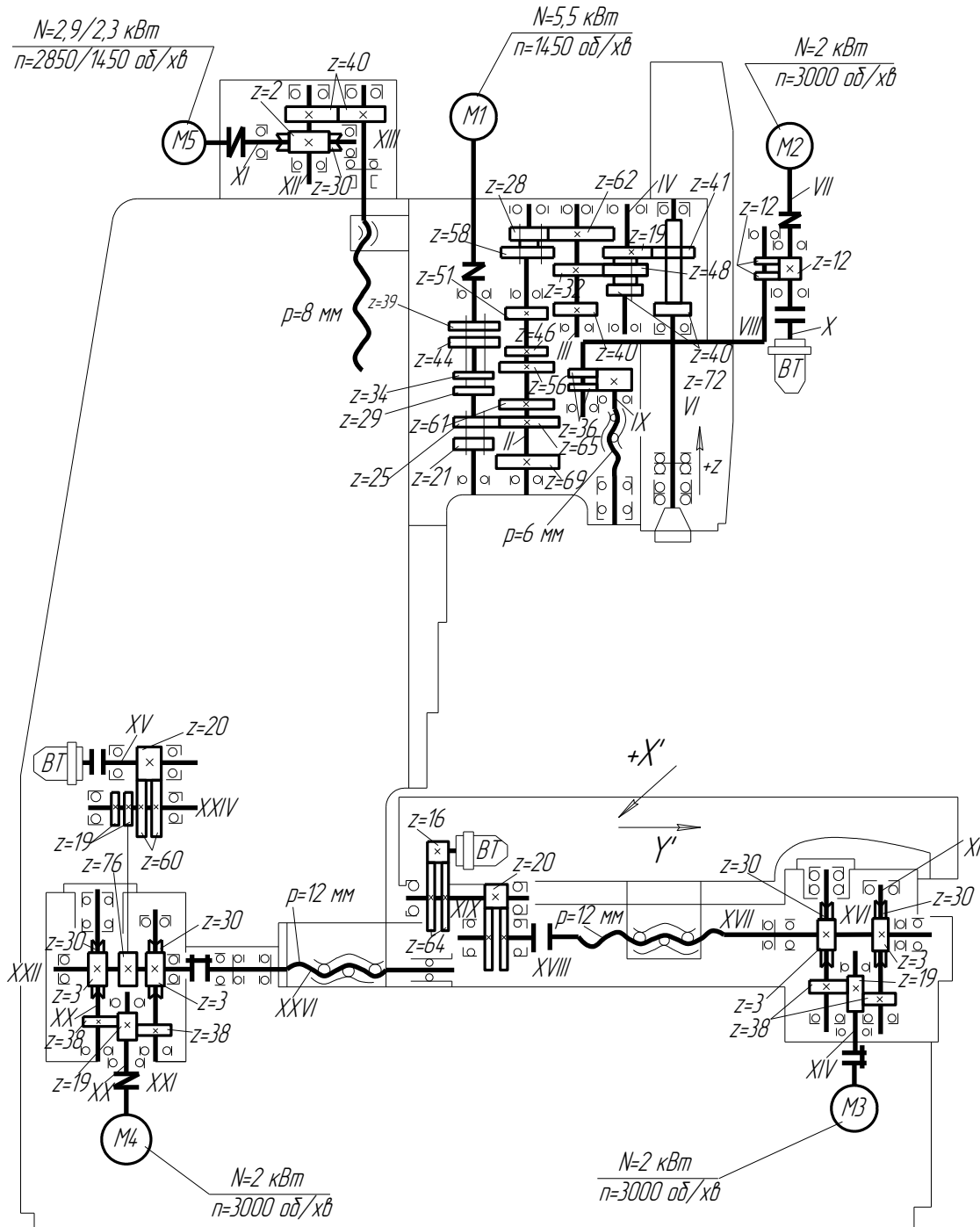


Рисунок 8.6 – Кінематична схема вертикально-фрезерного верстата з ЧПК моделі МА655Ф3

- Поперечне переміщення ползків забезпечується від двигуна М4 спеціальними безззорними черв'ячними редукторами. Зазор вибирають осьовим зміщенням одного з черв'яків, які мають два паралельні кінематичні ланцюга

$$n_{M4} \cdot \frac{19}{38} \cdot \frac{3}{30} \cdot 12 = S_n \quad (8.7)$$

- У кінематичному ланцюгу *повздовжнього переміщення стола* S_{mn} ползками також використані безззорні черв'ячні редуктори.

$$n_{M3} \cdot \frac{19}{38} \cdot \frac{3}{30} \cdot 12 = S_{mn} \quad (8.8)$$

- *Настановне переміщення шпindelної бабки* S_n здійснюється від двигуна М5:

$$n_{M5} \cdot \frac{2}{30} \cdot \frac{40}{40} \cdot 8 = S_n \quad (8.9)$$

§ 8.4 Багатоопераційні верстати. Верстат моделі 2623 ПМФ-4

Багатоопераційні (багатоцільові) верстати з числовим програмним керуванням призначені для комплексної обробки деталей з автоматичною зміною інструментів. Багатоопераційні верстати в основному використовують для обробки призматичних і корпусних деталей, що мають велике число суцільних, ступінчастих і різьбових отворів різних діаметрів і розташованих з різних сторін деталі. Крім того, можлива обробка площин і складних контурів.

Таким чином, на багатоопераційних верстатах виконують свердління, зенкування, розточування, розгорткування, нарізання різьби, підрізування торців, фрезерування контурів і площин. Відомі верстати, на яких окрім вказаних операцій можливі розмітка, стругання, протягання.

Особливістю цих верстатів є максимальна концентрація операцій на одній позиції, тобто заміна одним багатоопераційним верстатом декількох верстатів, кожний з яких здійснював би свою операцію. Тому для багатоопераційних верстатів виникає необхідність мати значний запас інструментів, автоматичну їх зміну, пристрій для періодичного поділу, яке забезпечує обробку з декількох сторін, і пристосування для автоматичної зміни заготовок.

Автоматична обробка складної корпусної деталі в умовах малосерійного виробництва вимагає оснащення багатоопераційних верстатів універсальною системою числового програмного керування, яка забезпечує управління циклом, установку координат, контурну обробку, періодичну установку у вихідне положення, зміну режимів різання, автоматичну зміну

інструментів, автоматичний поворот заготовки, автоматичну зміну заготовки.

На верстатах цього типу, як правило, обробляють дорогі деталі, тому багатоопераційні верстати повинні мати високу надійність. З цією метою верстати оснащують системами діагностики і контролю деталі та інструменту, а в системі числового керування повинна бути передбачена можливість ручної (з пульта) або автоматичної корекції положення і переміщення вузлів верстата та інструментів, а також режимів різання відповідно до параметрів контрольно-вимірювальної апаратури. Найпоширеніші багатоопераційні верстати мають компоновку, схожу з компоновками верстатів загального призначення. На рис. 8.7 приведена компоновка багатоопераційного верстата, виконаного на базі горизонтально-розточувального верстата.

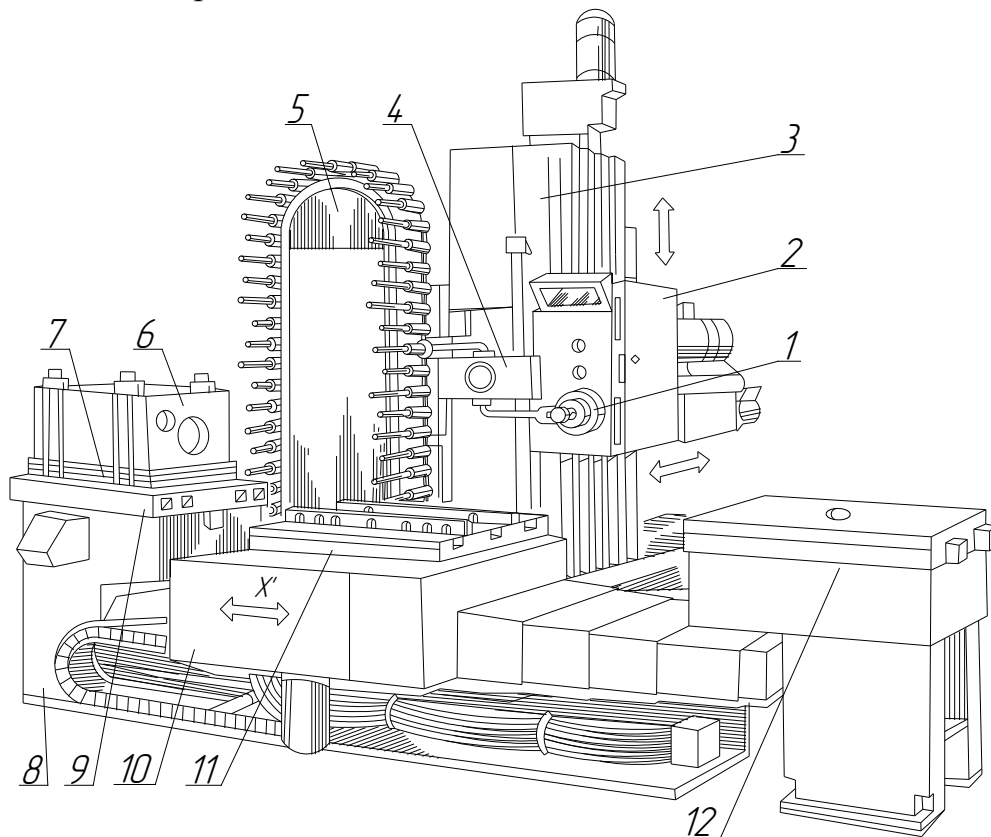


Рисунок 8.7 – Горизонтальний багатоопераційний верстат

Сійка 3 переміщується горизонтальними напрямними станини в напрямку, який співпадає з напрямом осі шпинделя 1. Стіл верстата складається з двох частин: нижня частина 10 переміщується горизонтальними напрямними станини в напрямку, перпендикулярному осі обертання шпинделя; верхня частина 11 – поворотна. Шпиндель встановлений у висувній пінолі. Бабка шпинделя 2 переміщується вертикальними напрямними стійки. Верстат забезпечений інструментальним

магазином 5, який виконано у вигляді нескінченного ланцюга, ланки якого несуть гнізда для розміщення оправки з інструментами. З магазину необхідний інструмент забирає автооператор 4 і передає його в шпindel верстата. На станині 8 встановлено додатковий стіл 9 з пристосуванням-супутником 7, на якому закріплюють підготовлену до обробки заготовку 6. На початку циклу обробки пристосування-супутник разом із заготовкою переміщується по столу 9 у напрямку стола 10 верстата, який у цей момент встановлений в положення завантаження. Після передачі пристосування-супутника із заготовкою на поворотний стіл 11 верстата і закріплення його, нижній стіл 10 верстата переміщується в зону обробки. З протилежної сторони встановлений аналогічний додатковий стіл 12 з пристосуванням-супутником, на якому під час обробки попередньої заготовки закріплюють наступну. Після повної обробки деталь повертається на стіл 9, і наступна заготівка із столу 12 встановлюється в зону обробки. Такий «маятниковий» спосіб завантаження деталі дозволяє сумістити допоміжний час, що витрачається на закріплення деталі, з машинним часом обробки, що істотно підвищує продуктивність верстата.

Пристрої для автоматичної зміни інструментів, що застосовують в багатоопераційних верстатах, різноманітні за конструкцією і можуть бути розділені на три групи: пристрої, що забезпечують зміну інструментів шляхом повороту револьверної головки, в якій вони встановлені; пристрої для автоматичної зміни інструментів без автооператора; пристрої для зміни інструментів з автооператором.

Пристрої першої групи за конструкцією мало відрізняються від пристроїв, що застосовують в токарно-револьверних верстатах і автоматах. Єдиною відмінністю є забезпечення вибіркового повороту револьверної головки в будь-якому напрямі і установка її в будь-якій позиції.

У пристроях другої групи передбачено перенесення інструментів з магазину в шпindel верстата і назад тільки за рахунок рухів, що надаються магазину і шпинделю. Є конструкції, в яких магазин 1 розміщений співвісно з шпинделем 2 (рис. 8.8, а), і конструкції, в яких вісь магазину 1 паралельна осі шпинделя 2 (рис. 8.8, б, в).

Недоліком пристроїв цієї групи є велика втрата часу на перезавантаження інструментів, оскільки вона пов'язана з переміщеннями вузлів значної маси. Крім того, місткість магазину відносно невелика (12—15 інструментів).

У пристроях третьої групи (рис. 8.9) обов'язкова наявність одного або двох автооператорів 1. Автооператор – це пристосування малої маси, яке здійснює поворотний та осьовий рухи і переміщує інструменти з магазину 2 в шпindel 3 верстата і назад. Магазинович пристроїв великої місткості (до

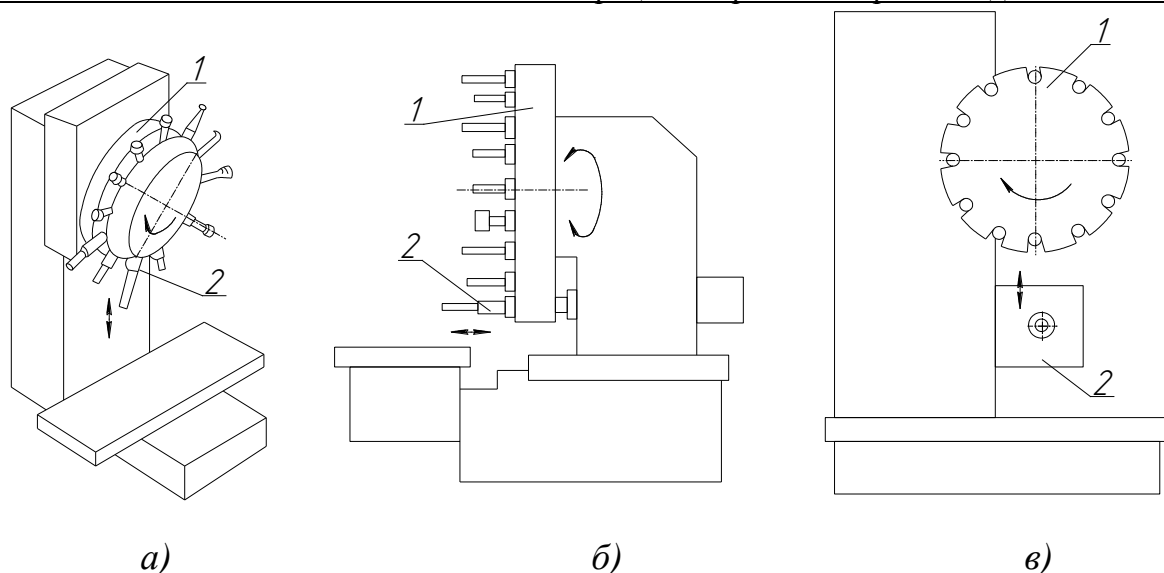


Рисунок 8.8 – Пристрої для автоматичної зміни інструменту з магазином, розташованим співвісно з шпинделем (а) і паралельно йому (б, в)

100 інструментів) дискового або ланцюгового типу розташовують поза верстатом на окремих стояках або на верхньому торці стояка верстата.

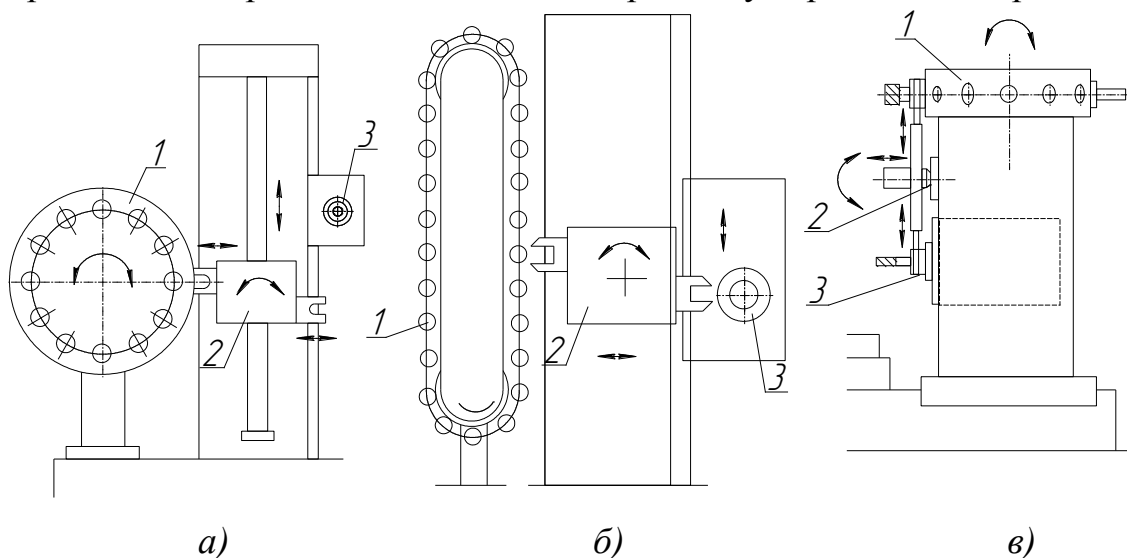


Рисунок 8.9 – Пристрій для автоматичної зміни інструменту з автооператором і магазином:

а – дисковим; б – ланцюговим; в – розташованим на стійці верстата

Відомі пристрої зміни інструменту, що мають проміжну позицію, в якій тимчасово знаходиться переміщуваний інструмент «позиція очікування». В цьому випадку повільне обертання магазину великої місткості, за умови кодування гнізда магазину співпадає з тривалістю обробки, а підготовлений до завантаження в шпиндель або витягнутий з шпинделя інструмент знаходиться у позиції очікування. На рис. 8.10 зобра-

жено пристрій такого типу для багатоопераційних верстатів з горизонтальним розташуванням шпинделя.

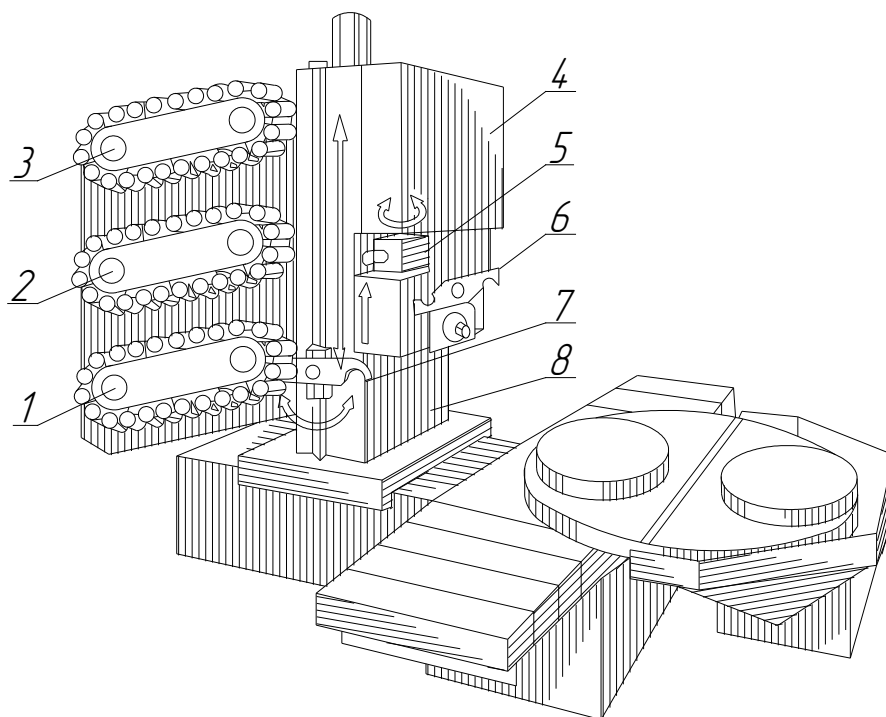


Рисунок 8.10 – Пристрій для автоматичної зміни інструменту з автооператором і позицією очікування.

Три інструментальні магазини 1, 2, 3 місткістю до 30 інструментів встановлені на окремому стояку. Поворотне гніздо 5 позиції очікування і основний автооператор 6 розміщені на бабці шпинделя 4. Для перенесення інструментів з магазинів у позицію очікування і назад служить додатковий автооператор 7, який може повертатися навколо своєї осі і переміщуватися вертикально додатковими напрямними стояка 8. Таким чином, завантаження позиції очікування і шпинделя може відбуватися за будь-якого положення бабки шпинделя. Автооператор 7 забирає інструмент з будь-якого магазину і переносить його в позицію очікування. Гніздо позиції очікування повертається на 90° , що забезпечує установку його в площині дії автооператора 6, який забезпечує завантаження і вилучення інструменту.

Багатоопераційний верстат 2623ПМФ-4 призначений для обробки в корпусних деталях отворів кінцевими інструментами. На верстаті виконують свердління, зенкування, розточування, розгорткування, нарізання різьби, фрезерування.

Технічна характеристика:

- діаметр висувного шпинделя, мм.....110
- конус кріплення інструменту в шпинделі.....№50

• розмір вмонтованого поворотного стола і стола-супутника, мм:	
ширина.....	1120
довжина.....	1250
• найбільша маса встановленої заготовки, кг:	
на столі.....	4000
на столі-супутнику.....	2000
• переміщення, мм:	
вертикальне бабки шпинделя.....	1250
поздовжнє шпинделя.....	500
поздовжнє стояка.....	1000
поперечне стола.....	1600
• колове переміщення стола, °.....	360
• частота обертання шпинделя, хв ⁻¹	5...1250
• число частот обертання шпинделя.....	25
• найбільший діаметр отворів, розточуваних шпинделем, мм.....	320
• найбільша тягова сила подачі, Н:	
стояка.....	15000
шпинделя.....	10000
шпинделя бабки.....	8000
стола (поперечна).....	8000
• подача рухомих вузлів (регулювання безступінчате), мм/хв.....	2...1600
• швидкість швидких переміщень рухомих вузлів, мм/хв.....	8000
• число інструментів в магазині, шт.....	50
• потужність головного приводу, кВт.....	15
• габаритні розміри верстата, мм:	
довжина.....	8300
висота.....	7500
ширина.....	4500
• маса верстата, кг.....	31000

Верстат забезпечено інструментальним магазином з ланцюговим приводом і пристроєм для автоматичної зміни столів-супутників, а також системою числового програмного керування рухомими вузлами за п'ятьма координатами.

Кінематична схема верстата зображена на рис. 8.11. Кінематика верстата винятково проста і не вимагає додаткових пояснень. Привід головного руху (обертання шпинделя) має широкий діапазон регулювання; у нього входять двигун постійного струму потужністю 15 кВт при $n = 750 \text{ хв}^{-1}$ і

двохступінчаста коробка швидкостей. Частота обертання шпинделя регулюється в діапазоні $750 \dots 2350 \text{ хв}^{-1}$ при постійній потужності і в діапазоні $47 \dots 750 \text{ хв}^{-1}$ при постійному моменті. Механізм перемикання зубчастих коліс в коробці швидкостей гідравлічний з приводом від гідроциліндра. У момент перемикання двигун головного руху загальмовується і переходить на роботу в режимі повільного гойдаючого руху, а в кінці ходу гідроциліндра нормальне обертання двигуна відновлюється.

Привід переміщення шпиндельної бабки здійснюється від високомоментного двигуна постійного струму, зв'язаного (без редуктора) з гвинтом спеціальною муфтою, яка забезпечує можливість установки двигуна з деякими відхиленнями від співвісності та беззасторожне з'єднання з гвинтом високої жорсткості на кручення. Самовільному переміщенню бабки, за умови відмови гідравлічного механізму її врівноваження, запобігає гальмо M_1 , що зв'язане з ходовим гвинтом передачі $\frac{55}{44}$.

РОЗДІЛ 9

ВЕРСТАТИ ШЛІФУВАЛЬНОЇ ГРУПИ

§ 9.1 Класифікація, призначення і особливості конструкції шліфувальних верстатів

Шліфувальні верстати згідно класифікації відносяться до третьої групи. Верстати цієї групи поділяються на круглошліфувальні, внутрішньошліфувальні, обдирношліфувальні, спеціалізовані шліфувальні, заточні та плоскошліфувальні.

В машинобудуванні застосовують також шліфувальні верстати для обробки різьб, зубців коліс, шліців та ін. З метою досягання високої чистоти поверхні застосовують шліфувально-доводжувальні та шліфувально-притиральні верстати, а для отримання дзеркальної поверхні – полірувальні верстати. Для підвищення якісних показників оброблювальних поверхонь до шліфувальних верстатів висуваються підвищені вимоги щодо жорсткості, вібростійкості, зносостійкості і температурних деформацій.

Розглянемо особливості конструкції найбільш поширених верстатів.

Круглошліфувальні верстати призначені для зовнішньої обробки суцільних, перервних циліндричних та торцевих поверхонь тіл обертання. На цих верстатах застосовують поздовжнє та візне шліфування.

Під час круглого шліфування заготовка *1* (рис. 9.1, *а*) отримує колову $\Phi_{S1}(O_2)$ та поздовжню $\Phi_{S2}(П_3)$ подачі. Колова подача досягається прямолінійним зворотно-поступальним переміщенням стола, на якому в центрах встановлена заготовка. В кінці одинарного чи подвійного переміщення стола шліфувального круга *2*, окрім головного руху $\Phi_V(O_1)$, надається поперечна подача $\Phi_{S3}(П_4)$. Тобто припуск знімається за декілька робочих ходів методом поздовжнього шліфування.

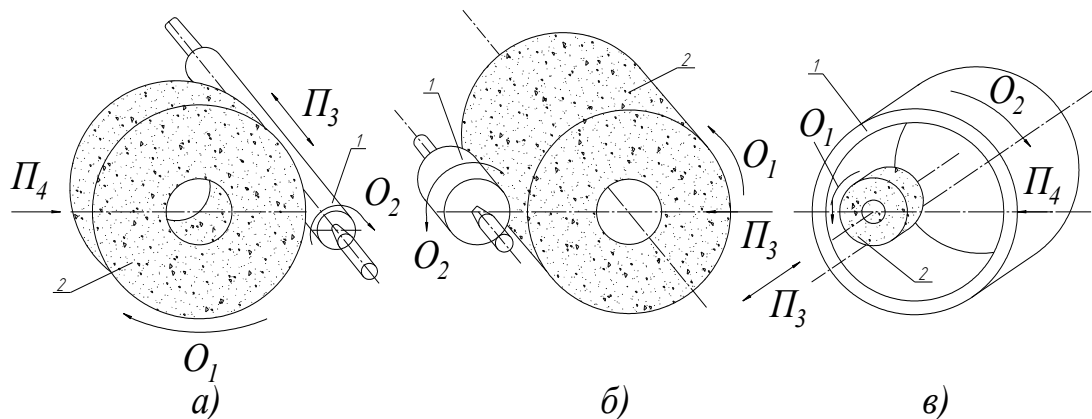


Рисунок 9.1 – Схеми круглого шліфування

Іншим чином здійснюється обробка коротких деталей (рис. 9.1, б). Шліфкруг 2 отримує головний обертальний рух $\Phi_V(O_1)$, а також радіальну подачу $\Phi_{S2}(П_3)$ (врізне шліфування), заготовка 1 – лише колову подачу $\Phi_{S1}(O_2)$.

Основними вузлами верстата (рис. 9.2) є станина 1, шліфувальна бабка 3, передня 2 та задня 4 бабки, стіл, що містить нижній стіл 6, який розміщений на поздовжніх напрямних, і верхній поворотний стіл 5, який змонтовано на нижньому. За допомогою фіксованого повороту верхнього стола 5 здійснюється обробка конічних поверхонь.

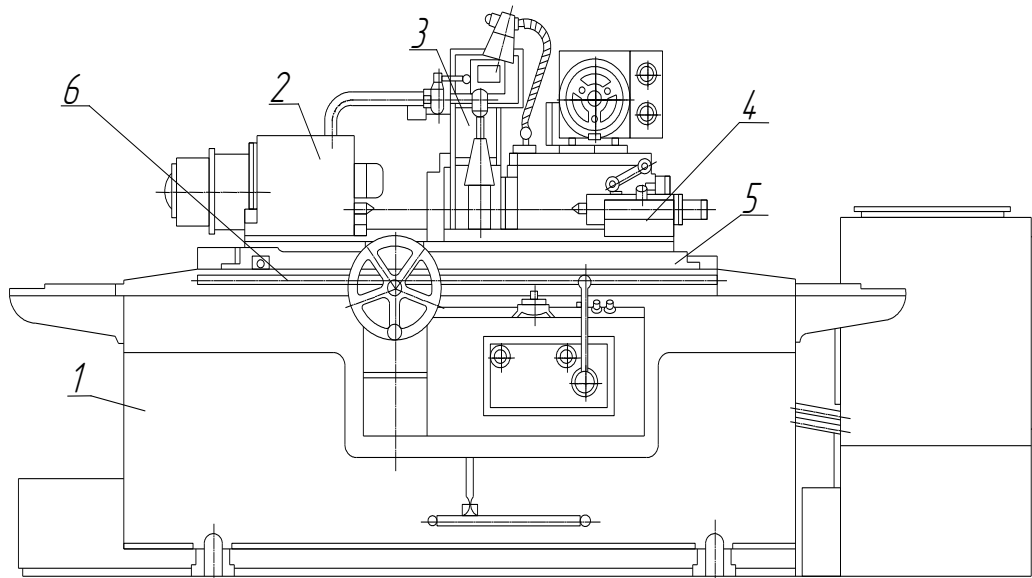


Рисунок 9.2 – Компонівка круглошліфувального верстата

Шліфувальна бабка переміщується поперечними напрямними плити, що закріплені на станині. Шпиндель шліфувальної бабки встановлено на двох гідродинамічних підшипниках ковзання з самоустановлювальними вкладниками.

Шпиндель передньої бабки нерухомий. В ньому розміщено центр, на якому базується заготовка, яка отримує обертання за допомогою поводка, закріпленого на планшайбі.

На верстатах цього типу використовують пристосування двох типів: для базування і затискання заготовок; для передачі обертання заготовці.

До пристосувань першого типу відносяться різноманітні оправки, які можуть бути жорсткими для закріплення заготовки по конусу або торцю, розтискними з цанговим та пружним елементом, а також з розсувними елементами.

До пристосувань другого типу належать поводкові патрони та хомутики різної конструкції. Круглошліфувальний верстат оснащується пристроєм для правки шліфувального круга.

Внутрішньошліфувальні верстати призначені для шліфування отворів методами поздовжньої і поперечної подачі. Найбільш поширеними є верстати (рис. 9.1, в), в яких головним рухом є обертання шліфкруга $2 - \Phi_V(O_1)$. Колова подача $\Phi_{SI}(O_2)$ здійснюється обертанням заготовки, поздовжня $\Phi_{SI}(П_3)$ і поперечна $\Phi_{SI}(П_4)$ – переміщенням шліфувального шпинделя чи бабки виробу. Верстати цієї групи можуть бути патронними чи безцентровими.

Для обробки крупногабаритних заготовок використовують верстати планетарного типу, в яких заготовка встановлена нерухомо, а шліфувальний шпиндель здійснює обертальний рух навколо осі обертання оброблюваного отвору і обертання навколо власної осі.

Внутрішньошліфувальний верстат (рис. 9.3) містить станину 1, міст 2, на якому розташована бабка виробу 3, стіл 7, шліфувальну бабку 6, торцешліфувальне пристосування 4, пульт керування 5.

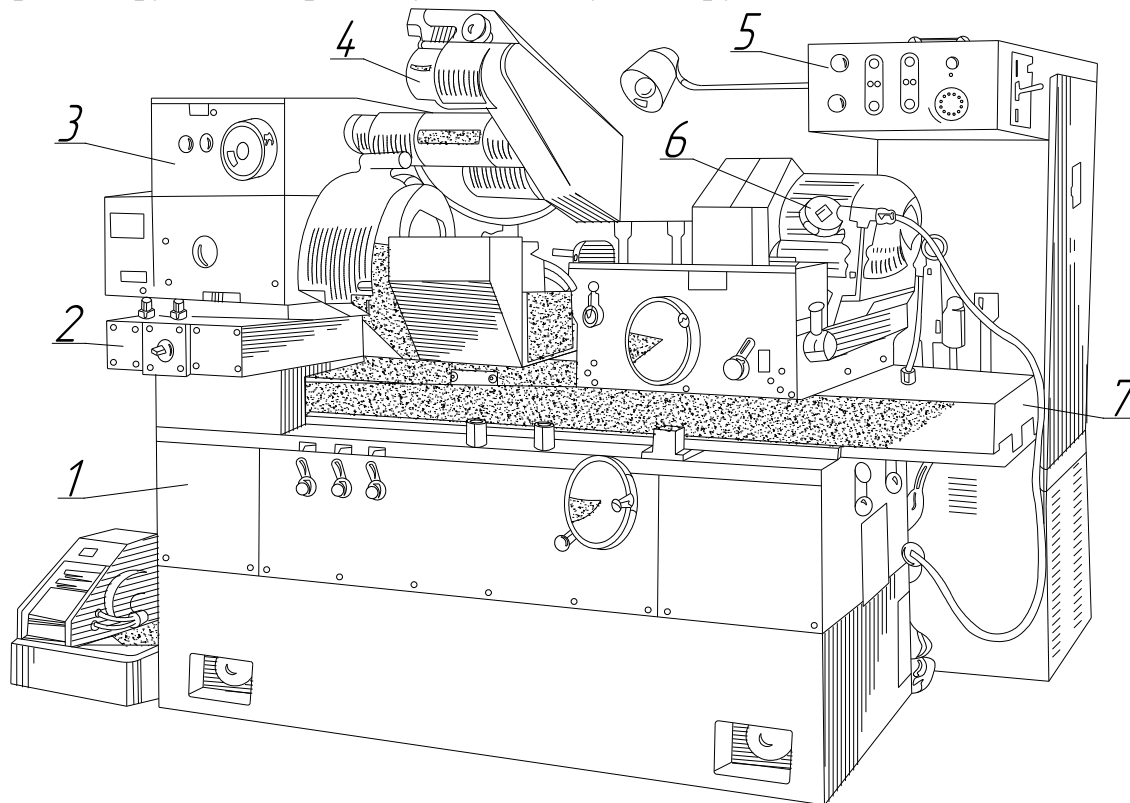


Рисунок 9.3 – Компонівка внутрішньошліфувального верстата

Міст може переміщуватися поперечними напрямними ковзання, а стіл – поздовжніми напрямними кочення.

Торцешліфувальний шпиндель пристосування отримує осьове переміщення, що забезпечує врізання. Ці верстати мають дві різновидності, в одній з них подача здійснюється поперечним переміщенням бабки виробу, в другій – переміщенням шліфувальної бабки.

Верстат оснащено пристроєм для правки шліфувального круга.

Найбільш поширеними пристосуваннями у цих верстатах є самоцентруючий патрон.

В умовах масового виробництва застосовують швидкодіючі мембранні та магнітні патрони.

Плоскошліфувальні верстати призначені для чистової обробки площин на деталях різних розмірів. Головним рухом у верстатах є обертальний рух $\Phi_V(O_1)$ шліфувального круга 1 (рис. 9.4). Заготовки, в залежності від форми стола 2, надають поздовжню $\Phi_{S1}(P_2)$ (рис. 9.4, а, в) чи колову подачу $\Phi_{S1}(O_2)$ (рис. 9.4, б, г). У випадку, коли ширина оброблюваної площини більше ширини шліфувального круга 1 або 3, заготовці чи кругу надається поперечна подача $\Phi_{S2}(P_3)$. Крім того, шліфувальний круг або заготовка періодично переміщуються на певну глибину $\Phi_{S3}(P_4)$ перпендикулярно оброблюваній площині.

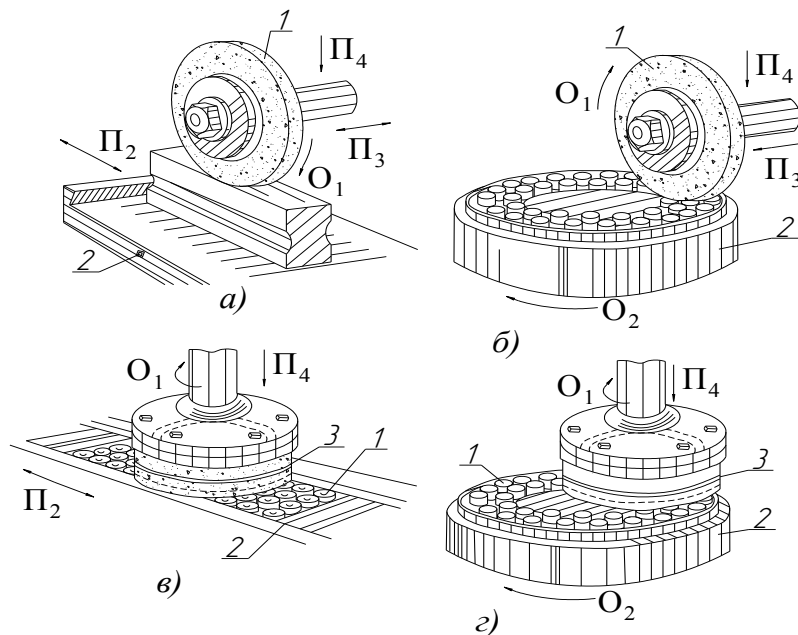


Рисунок 9.4 – Схеми плоского шліфування

Шліфування здійснюється периферією (рис. 9.4 а, б) чи торцем (рис. 9.4, в, г) шліфувального круга. Може застосовуватися і два шліфкруга одночасно. При шліфуванні торцем круга вісь його може бути не лише встановлена перпендикулярно оброблюваній поверхні, але і з певним нахилом.

Верстати з прямокутним і круговим столом оснащуються горизонтальним чи вертикальним шпинделем.

Для закріплення заготовки на плоскошліфувальних верстатах, як правило, застосовують магнітні плити.

§ 9.2 Особливості обробки при безцентровому шліфування. Кінематика безцентрово-шліфувального верстата моделі ЗМ182

Безцентрово-шліфувальні верстати призначені для високо-продуктивної обробки поверхонь заготовок у формі тіл обертання малого діаметра і великої довжини, та деталей, що не мають центрових отворів.

Обробка заготовок на цих верстатах здійснюється трьома способами: шліфуванням напрохід (рис. 9.5, а); врізним шліфуванням (рис. 9.5, б); шліфуванням до упору (рис. 9.5, в).

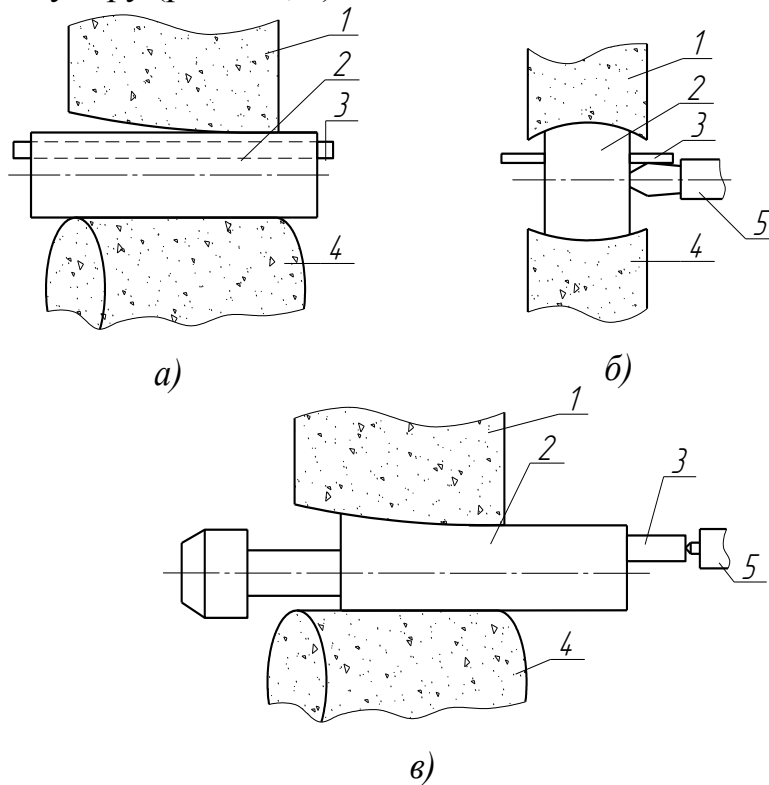


Рисунок 9.5 – Способи безцентрового шліфування

Для надання поздовжньої подачі заготовці 2 користуються нахилом ведучого круга 4 (рис. 9.6, а), або опорного ножа 3 (рис. 9.6, б).

В першому і другому випадках поздовжня подача буде визначатися співвідношенням:

$$S = v \sin \alpha = v_0 \operatorname{tg} \alpha, \quad (9.1)$$

де v, v_0 – колова швидкість ведучого круга та заготовки, м/с;
 S – поздовжня подача, м/с;
 α – кут повороту ведучого круга чи опорного ножа.

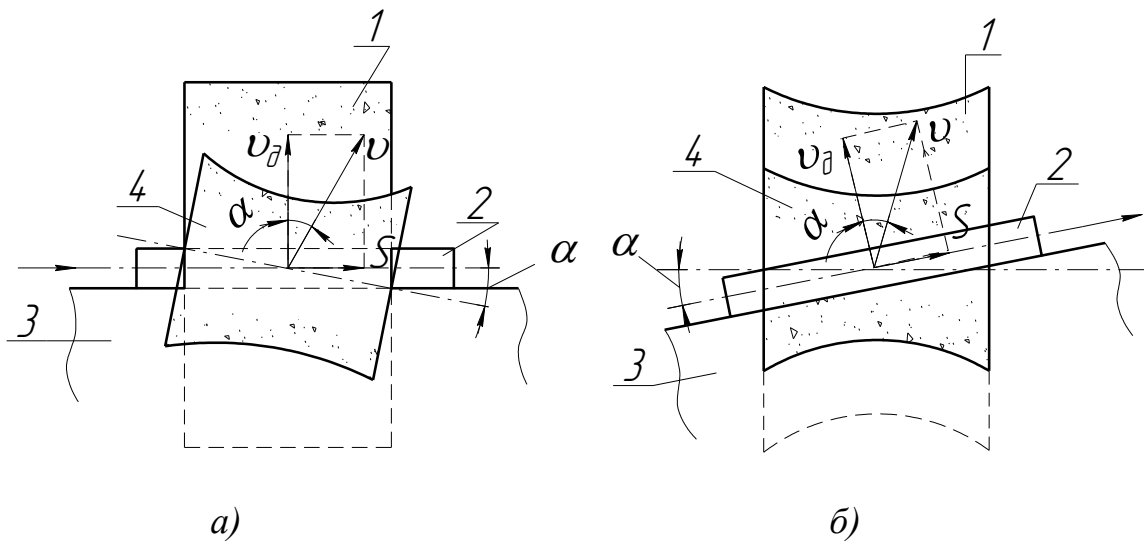


Рисунок 9.6 – Схема отримання поздовжньої подачі заготовки при безцентровому шліфуванні шляхом повороту ведучого круга і опорного ножа

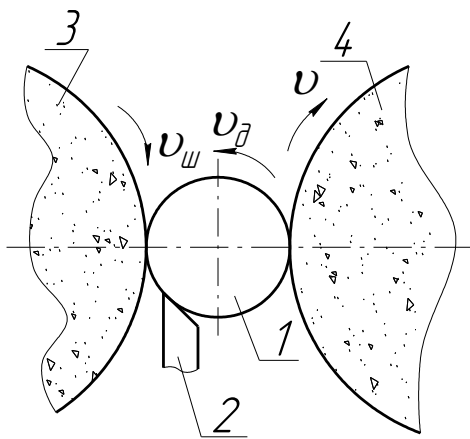


Рисунок 9.7 – Схема безцентрового шліфування

Ведучий круг 4 й шліфувальний 3 обертаються в одному напрямку, але частота обертання шліфувального круга в 60 – 100 разів вища частоти обертання ведучого (рис. 9.7). При цьому заготовка 1 знаходиться в контактi також з опорним ножом 2.

Поперечна подача на верстатах здійснюється декількома способами:

- переміщенням ведучого круга і опорного ножа відносно нерухомої шліфувальної бабки;
- переміщенням шліфувальної бабки і опорного ножа відносно нерухомого ведучого круга;

- переміщенням шліфувального і ведучого кругів відносно нерухомого опорного ножа.

Для забезпечення постійної продуктивності у верстатах застосовують безступінчасте регулювання частоти обертання ведучого круга, що компенсує зміну швидкості по мірі його зношування.

Базування заготовок здійснюється на ножі. Опорна поверхня ножів виготовляється з легованої загартованої сталі. Якщо ніж виготовлено з вуглецевої сталі, то опорна поверхня оснащується твердим сплавом. В разі полірування поверхонь користуються ножем, в якому опорна поверхня вико-

нана з твердої гуми.

Безцентрово-шліфувальний верстат 3М182 призначений для обробки методами поздовжнього або врізного шліфування гладких, ступінчастих, конічних та фасонних поверхонь тіл обертання.

Технічна характеристика:

- діаметр шліфування, мм.....0,8...25
- найбільша довжина деталі, що шліфується, мм.....170
- розмір (довжина × ширина) круга, мм:
шліфувального.....200 × 40
ведучого.....150 × 40
- частота обертання ведучого круга, хв⁻¹.....11...150
- потужність електродвигуна приводу шліфувального круга, кВт.....7,5
- Габаритні розміри, мм:
довжина.....2230
висота.....1455
ширина.....2120
- Відхилення від круглості після шліфування, мкм.....0,6

Кінематична схема верстата наведена на рис. 9.8.

- *Привод головного руху.* Обертання шліфувального круга здійснюється від асинхронного електродвигуна М1 через пасову передачу $\frac{\varnothing 188}{\varnothing 140}$. Електродвигун встановлено на окремій плиті з індивідуальним фундаментом.

- *Обертання ведучого круга* здійснюється від електродвигуна постійного струму М2 типу ПБСТ-22 через черв'ячну передачу $\frac{1}{24}$.

- *Ручне переміщення шліфувальної бабки* здійснюється від маховика через черв'ячну передачу $\frac{1}{50}$ на ходовий гвинт VII з кроком $p = 4$ мм. Швидке переміщення шліфувальної бабки здійснюється від електродвигуна М4 через циліндричну передачу $\frac{33}{60}$ і черв'ячну передачу $\frac{1}{50}$ на ходовий гвинт VII з кроком $p = 4$ мм.

Переміщення полозків механізмів правки шліфувального і ведучого кругів здійснюється згідно ланцюга: двигуни М3 – передача $\frac{28}{102}$ –

запобіжні муфти M_1 і M_2 – передача $\frac{35}{95}$ - ходовий гвинт XII з кроком $p = 2$ мм.

Поштовхову подачу шліфувальної бабки виконують важелем 3 через храпову собачку і храпове колесо $z = 80$ і далі по кінематичному ланцюгу переміщення шліфувальної бабки.

Рух врзання шліфувальна бабка отримує від гідроциліндрів ГЦ1 та ГЦ2. Поперечна подача здійснюється від гідроциліндра ГЦ1, котрий переміщує клин I , що контактує з штоком гідроциліндра ГЦ2, який є продовженням гвинта VII . Прискорений рух здійснюється штоком гідроциліндра ГЦ2. Виходжування відбувається на упорі 2 в кінці поперечної подачі, коли переривається контакт між клином і штоком гідроциліндра ГЦ2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматические станочные системы / В.Э. Пуш, Р. Пигерт, В.Л. Сосонкин; Под ред. В.Э. Пуша. - М.: Машиностроение, 1982. - 319 с.
2. Агрегатные станки средних и малых размеров / Ю.В. Тимофеев, В.Д. Хицан, М.С. Васерман, В.В. Громов; Под ред. Ю.В. Тимофеева. - М.: Машиностроение, 1985. - 248 с.
3. Батов В.П. Токарные станки. - М.: Машиностроение, 1978. - 152 с.
4. Бобров А.Н., Перченко Ю.Г. Автоматизированные фрезерные станки для объемной обработки. - Л.: Машиностроение (Ленингр. отд.), 1979. - 231 с.
5. Богуславский Б.Л. Токарные автоматы. Основы расчета, проектирование и эксплуатация. - М.: Машгиз, 1958. - 595 с.
6. Волчкевич Л.И. и др. Автоматы и автоматические линии. Ч. 1 Основы проектирования. Под ред. Шаумяна Г.А. Учеб. пособие для вузов. - М.: «Высш. школа», 1976. - 230 с.
7. Волчкевич Л.И., Кузнецов М.М., Усов Б.А. Автоматы и автоматические линии. 4.2 - Системы управления и целевые механизмы. Учеб. Пособие/ Под ред. Шаумяна Г.А. - М.: Высшая школа, 1976. - 336 с.
8. Воронов А.Л., Гребенкин И.А. Коробки передач металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1964. - 192 с.
9. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1978. - 208 с.
10. Ганзбург Л.Б., Вейц В.Л. История техники. В 3-х ч. - Изд. 2-е, испр. и доп. 4.2. История машиностроения, связи и бытовой техники. - СПб.: СЗГУ, 2000. - 188 с, 105 ил., 2 табл.
11. Детали и механизмы металлорежущих станков / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Д.Н. Решетова. - М.: Машиностроение, 1972 - Т. 1 - 663 с, Т.2 - 520 с.

12. Эксплуатация многоцелевых станков / И.Г. Федоренко, И.С. Шур, В.Н. Давыгора и др.; Под общ. ред. В.А. Федорца. - К.: Техніка, 1988. - 176 с.
13. Жевелев Г.И., Рубинович Б.Х., Тув А.М. Тяжелые горизонтально-расточные и продольно-строгальные станки. - М.: Машиностроение, 1969. - 238 с.
14. Кабатов Н.Ф., Лапато Г.А. Конические колеса с круговыми зубьями. - М.: Машиностроение, 1969. - 298 с.
15. Колка И.А., Кувшинский В.В. Многооперационные станки. - М.: Машиностроение, 1983. - 136 с.
16. Конструкции и наладка автоматических линий и специальных станков / Борн Л.С, Власов С.Н., Константинов К.Н. и др. - М.: Высш. школа, 1973.-310 с.
17. Конструкция и наладка станков с программным управлением и роботизированных комплексов: Учеб. пособие / Л.Н. Грачев и др. - М.: Высшая школа, 1986. - 288 с.
18. Кузнецов Ю.Н. Станки - автоматы и автоматические линии. Учеб. пособие. - К.: ООО «ЗМОК» - ПП «Гнозис», 1999. - 204 с.
19. Кузнецов Ю.Н. Станки с ЧПУ и станочные комплексы. Учеб. пособие. - К.: - Тернополь: ООО «ЗМОК» - ПП «Гнозис», 1999. - 343 с.
20. Кучер П.М. Металлорежущие станки. - Л.: Машиностроение, 1971. - 320 с.
21. Ленк А. Электромеханические системы. Пер. с нем. - М.: Мир, 1978. - 283 с.
22. Локтев Д.А. Металлорежущие станки. - М.: Машиностроение, 1968. - 303 с.
23. Лоскутов В.В., Ничков А.Г. Зубообрабатывающие станки. - М.: Машиностроение, 1978. - 192 с.

24. Лурье Б.Г., Комиссаржевская В.Н. Шлифовальные станки и их наладка. - М.: Машиностроение, 1978. - 192 с.
25. Малахов Я.М. Зубообрабатывающие и резьбофрезерные станки и их наладка. - М.: Высшая школа, 1967. - 344 с.
26. Матвеев В.Н., Остапенко В.Ф., Рау Т.Т. Агрегатные станки. - М.: Машиностроение, 1965. - 234 с.
27. Металлорежущие станки / Н.С. Ачеркан, А.А. Гаврюшин, В.В. Ермаков и др. Под ред. Н.С. Ачеркана. - М.: Машиностроение, 1965 - Т.1 - 764 с, Т.2 - 628 с.
28. Металлорежущие станки и автоматы / Краткий курс / В.К. Тепенкичиев, Л.В. Красниченко, А.А. Тихонов, Н.С. Колев. - М.: Машиностроение, 1972.-511 с.
29. Металлорежущие станки / Под ред. В.Э. Пуша. - М.: Машиностроение, 1985. -256 с.
30. Металлорежущие станки / Под ред. проф. В.К. Тепинкичиева. - М.: Машиностроение, 1973. -472 с.
31. Металлорежущие станки. Учеб. пособие для втузов. Н.С. Колев, Л.В. Красноченок, Н.С. Никулин. - М.: Машиностроение, 1980. - 500 с.
32. Модзелевский А.А., Соловьев А.В., Лонг В.А. Многооперационные станки. - М.: Машиностроение, 1981. - 215 с.
33. Многооперационные станки (обрабатывающие центры) / Ю.Д. Врагов, СИ. Игнатов, Ю.Б. Муравин, И.В. Саввин. М. ИНМАШ, 1970. - 108 с.
34. Ничков А.Г. Фрезерные станки. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1984. - 184 с.
35. Опитц Г. Современная техника производства. Пер. с нем. - М.: Машиностроение, 1975. - 275 с.
36. Пестунов В.М., Кариков Е.А. Повышение точности и производительности металлорежущих станков. - К.: Техніка, 1979. - 96 с.

37. Повышение производительности и надежности токарно-револьверных станков / В.Н. Шишкин, В.Е. Лоев, Л.И. Новицкий, А.В. Шевченко. - К.: Техніка, 1986. - 95 с.
38. Проников А.С. Расчет и конструирование металлорежущих станков. - М.: Высшая школа, 1967. - 431 с.
39. Пуш В.Э. Конструирование металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1977. - 390 с.
40. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1986. - 336 с.
41. Рыбкин А.Л. Затыловочные станки. - М.: Машиностроение, 1964. - 168 с.
42. Спиридонов А.А. Металлорежущие станки с программным управлением. - М.: Машиностроение, 1972. - 348 с.
43. Станочное оборудование автоматизированного производства. Под ред. В.В. Бушуева. - М.: Изд-во «Станки», 1993. - Т.1 - 584 с, 1994. - Т.2 - 656 с.
44. Станки с числовым программным управлением (специализированные) / Н.А. Богданов, У.В. Говберг, М.И. Добромыслин и др. Под ред. В.А. Лещенко. - М.: Машиностроение, 1979. - 592 с.
45. Тарзиманов Г.А. Проектирование металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1972. - 288 с.
46. Токарные многошпиндельные автоматы / В.И. Чергикало, О.И. Гуров, Б.П. Давидович и др. - М.: Машиностроение, 1978. - 309 с.
47. Федотенко А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1970. - 408 с.
48. Хубка В. Теория технических систем: Пер. с нем. - М.: Мир, 1987. - 208 с.
49. Чалый-Прилуцкий А.Н. Обоснование и определение основных технических характеристик металлорежущих станков и их проектирование. - М.: Высшая школа, 1969. - 133 с.