

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

В.Г.Біланенко, В.П.Приходько, О.О.Мельник

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Частина 1. Оброблення деталей-тіл обертання

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»,
спеціалізаціями «Технології машинобудування» та «Технології виготовлення
літальних апаратів»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

АНТОНЮК В.С., докт. техн. наук, професор кафедри виробництва приладів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Рецензенти: *ШЕЙКІН С.Є.*, докт. техн. наук, професор, завідувач відділу Інституту
надтвердих матеріалів імені В.М. Бакуля Національної Академії Наук
України

Відповідальний редактор *ПУХОВСЬКИЙ Є.С.*, докт. техн. наук, професор кафедри
технології машинобудування КПІ ім. Ігоря Сікорського

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 7 від
01.04.2019 р.)

за поданням Вченої ради механіко-машинобудівного інституту (протокол № 7 від
25.02.2019 р.)

Електронне мережеве навчальне видання

Біланенко Віктор Григорович, канд. техн. наук, доцент

Приходько Василь Петрович, канд. техн. наук, доцент

Мельник Олена Олексіївна, канд. техн. наук, доцент

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Частина 1. Оброблення деталей-тіл обертання

Проектування технологічних процесів. Частина 1. Оброблення деталей-тіл обертання. [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій «Технології машинобудування» та «Технології виготовлення літальних апаратів» / Біланенко В.Г., Приходько В.П., Мельник О.О.; КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Електронні текстові дані (1 файл: pdf - 12,8 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 232 с.

Даний навчальний посібник містить порядок, зміст та особливості технологічного підготовки виробництва деталей машин у сучасному машинобудуванні. У посібнику розглянуті основні питання проектування технологічних процесів оброблення деталей-тіл обертання зокрема: алгоритми та рекомендації щодо вибору технологічних баз, визначення послідовності оброблення поверхонь та формування змісту операцій. Представлено приклади засобів технологічного оснащення - верстатів та верстатних пристроїв, що застосовуються для реалізації технологічних процесів оброблення деталей-тіл обертання, приведені їх технічні характеристики, рекомендації щодо областей та особливостей їх застосування. Показано методологію, особливості та приклади розрахунку необхідних сил затиску при встановленні заготовок-тіл обертання у різних верстатних пристроях. Приведені приклади проектування технологічних процесів оброблення валів різних конструкцій на верстатах з ЧПУ із практичним застосуванням відповідних алгоритмів та рекомендацій.

Навчальний посібник призначений для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», що вивчають дисципліну «Проектування технологічних процесів». Він допоможе студентам оволодіти алгоритмами та методологією проектування технологічних процесів та їх практичному застосуванню при виконанні курсових і дипломних робіт, магістерських дисертацій. Він може бути також корисним студентам спеціальності 133-«Галузеве машинобудування»

© В.Г. Біланенко, В.П. Приходько, О.О. Мельник, 2019

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019

ЗМІСТ

Вступ	5
Розділ 1. ТЕХНІЧНЕ ПІДГОТОВЛЕННЯ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА	10
1.1 Основні поняття, складові та завдання технічного підготовки виробництва	10
1.2 Технологічне підготвлення виробництва	13
1.2.1 Функції та завдання технологічного підготвлення виробництва	13
1.2.2 Організаційне забезпечення технологічного підготвлення виробництва	18
1.2.3 Системи технологічного підготвлення виробництва, як засіб підвищення його ефективності та зменшення тривалості	23
1.2.4 Автоматизовані інформаційні системи підтримки та забезпечення технологічного підготвлення виробництва	26
1.2.5 Забезпечення технологічності конструкції виробу	34
1.2.6 Види технологічних документів, що розробляються за результатами технологічного підготвлення виробництва	37
Питання для самопідготовки	41
Розділ 2. ЗАГАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	43
2.1 Етапи технологічних процесів оброблення заготовок, їх зміст та завдання	43
2.2 Загальні рекомендації для визначення послідовності оброблення поверхонь	47
Питання для самопідготовки	53
Розділ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛІВ	54
3.1 Конструктивні особливості валів	54
3.2 Основні конструкційні матеріали та методи виготовлення заготовок валів	61
3.3 Проектування заготовок для валів	63
3.4 Основні технічні характеристики робочих поверхонь валів	68
3.5 Визначення технологічних баз для процесу оброблення валів	69
3.5.1 Визначення загальних технологічних баз	69
3.5.2 Визначення технологічних баз для перших операцій	80
3.6 Загальні закономірності проектування технологічних операцій оброблення валів	83
3.7 Проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня»	87
3.7.1 Проектування ескізу заготовки деталі «Вал-шестерня»	89
3.7.2 Визначення технологічних баз для виготовлення деталі «Вал-шестерня»	90
3.8 Проектування послідовностей оброблення елементарних поверхонь валу	95
3.9 Основні нормативні матеріали для проектування технологічних процесів оброблення різанням	96
3.10 Проектування одиничного операційного технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня»	100
3.11 Основні характеристики верстатів для технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня»	108
3.12 Особливості проектування технологічних процесів виготовлення деталей тіл обертання з ускладненими конструктивними елементами	116
3.12.1 Визначення технологічних баз для процесу виготовлення деталі «Корпус борштанги»	119
3.12.2 Проектування послідовностей оброблення елементарних поверхонь деталі «Корпус борштанги»	122

3.12.3	Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус борштанги»	124
3.12.4	Короткий опис вибору верстатного обладнання для технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус борштанги»	130
	Питання для самопідготовки	134
	Розділ 4. ВЕРСТАТИ ТА ПРИСТРОЇ ДЛЯ ТОКАРНОГО ОБРОБЛЕННЯ ЗАГОТОВОК	135
4.1	Технічні та технологічні характеристики верстатів токарної групи	135
4.1.1	Основні умови функціонування	135
4.1.2	Характеристики продуктивності верстатів	136
4.1.3	Характеристики точності верстатів	136
4.1.4	Експлуатаційні властивості верстатів	136
4.1.5	Класифікація токарних верстатів за ступенем автоматизації	137
4.1.6	Техніко-економічні показники верстатів	137
4.1.7	Геометричні та кінематичні похибки верстатів	138
4.2	Верстатні пристрої для токарного оброблення	143
4.2.1	Кулачкові токарні патрони	144
4.2.2	Розрахунок сил затиску заготовок, що закріплюються в кулачкових патронах	156
4.2.3	Повідкові токарні патрони	171
4.2.4	Оправки для встановлення заготовок-тіл обертання	178
4.2.5	Особливості оброблення деталей малої жорсткості	190
4.2.6	Встановлення заготовок у центрах	195
4.2.7	Розрахунок сил затиску та оцінка точності оброблення при встановленні заготовок на оправках	200
	Питання для самопідготовки	205
	Література	206
	Додаток А. Індивідуальні завдання	208

ВСТУП

Відновлення машинобудівного виробництва України потребує глибокого аналізу сучасних тенденцій розвитку світового машинобудівного виробництва. За останні двадцять років відбулися значні зміни в організації та функціонуванні машинобудівного виробництва передових індустріальних держав, що, в першу чергу, характеризується значним розширенням використання верстатів з ЧПУ та багатофункціональних верстатів на їх основі, вдосконаленням технологічних процесів виготовлення інструментальних матеріалів та створенням нових інструментальних матеріалів з поліпшеними фізико-механічними характеристиками, розробленням нових конструкцій різальних інструментів та формуванням нових технологічних схем оброблення, які раніше були невідомими, що, в першу чергу, відноситься до оброблення осьовими різальними інструментами та фрезеруванням, а в сукупності з розширеними технологічними можливостями металорізальних верстатів забезпечує ефективне оброблення різноманітних складних геометричних конструкцій деталей машин. Сучасні верстати з ЧПУ можуть ефективно забезпечити оброблення складно профільних поверхонь, які описуються рівняннями аналітичної геометрії.

Другим важливим фактором сучасного машинобудівного виробництва є постійне зростання вимог до характеристик якості робочих поверхонь деталей машин та підвищення продуктивності технологічних операцій за умов оброблення спеціалізованих конструкційних матеріалів, які повинні забезпечувати довготривалу роботу машин в заданих умовах експлуатації.

Важливою внутрішньою тенденцією машинобудівного виробництва є необхідність зростання використання високотехнологічного обладнання з відповідним скороченням частки операційних неавтоматизованих верстатів, що забезпечує підвищення продуктивності праці та зменшення витрат на виготовлення продукції. Зростання вимог до характеристик якості продукції

машинобудівного виробництва вимагає реформування наявних технологічних процесів промислових підприємств за рахунок розширення застосування верстатів з ЧПУ, багатофункціональних верстатів та інших верстатів високої продуктивності, що забезпечує виготовлення конкурентоздатної продукції як для внутрішнього так і світового ринку.

Не менш важливим сучасним завданням є перебудова системи організації та управління сферою виробництва з метою забезпечення гарантованого виготовлення якісної та конкурентоздатної продукції. Необхідно приймати до уваги, що практична більшість технологічних процесів, які в теперішній час використовуються в світовому машинобудівному виробництві базуються на процесах механічного оброблення різанням, які реалізуються різноманітними видами лезового та абразивного оброблення. Оброблення матеріалів різанням є універсальним методом формоутворення робочих поверхонь деталей машин, які за обсягом застосування складають біля 85% всіх процесів розмірного оброблення, які використовуються в машинобудуванні і за технічними прогнозами спеціалістів на протязі найближчих десятиліть будуть залишатись основними технологічними методами виготовлення деталей машин [1]. В технологічних процесах виготовлення деталей машин застосовуються і інші види розмірного оброблення: фізико-хімічні, електрохімічні, електроерозійні, ультразвукове оброблення електронними та лазерними променями, але доля їх використання в виробничих процесах до цього часу достатньо обмежена. Види оброблення різанням переважають їх за продуктивністю, економічністю, витратами енергії, екологічністю та універсальністю.

Сучасні види оброблення різанням практично не мають обмежень за конструктивними особливостями деталей машин, фізико-механічними характеристиками оброблюваних матеріалів і мають тривалу перспективу широкого практичного застосування в машинобудівному виробництві. Традиційна система організації машинобудівного виробництва, в першу чергу, базується на визначенні типу виробництва, для кожного з яких,

характерним є застосування певних типів металообробного обладнання, технологічних верстатних пристроїв, інструментального забезпечення, засобів та методів вирішення технологічних завдань, систем управління виробничими процесами.

Незважаючи на збереження характерних ознак сучасного машинобудівного виробництва певного типу, спостерігається стійка тенденція до створення універсальних гнучких багатомономенклатурних виробництв, які, за необхідності, здатні ефективно вирішувати завдання всіх типів виробництва. Такі можливості забезпечуються, в першу чергу, значним розширенням застосуванням верстатів з ЧПУ, багатофункціональних верстатів, гнучких виробничих систем, розширенням сучасної номенклатури інструментальних матеріалів, конструкцій різальних інструментів, сучасних інтегрованих систем вирішення технологічних завдань та систем управління виробництвом.

Виготовлення деталей машин в умовах машинобудівного виробництва здійснюється послідовним застосуванням процесів формоутворення поверхонь заготовки із заданими характеристиками якості. Етапи оброблення та послідовність їх виконання визначають технологічні процеси оброблення деталей, які, в залежності від традиційного типу виробництва та змісту, поділяють на маршрутні, маршрутне-операційні та операційні. В традиційному машинобудівному виробництві такі технологічні процеси застосовувались в певних типах виробництва та забезпечували його надійне функціонування. Найбільш обґрунтоване та глибоке вирішення технологічних завдань здійснюється при проектуванні операційних технологічних процесів, які передбачають: проектування послідовності виконання технологічних переходів для оброблення поверхонь заготовки на різних етапах технологічного процесу, обґрунтування вибору верстатного обладнання, технологічних пристроїв, інструментальних матеріалів та конструкцій різальних інструментів, визначення припусків та розрахунок режимів різання для кожного технологічного переходу.

Розширення застосування верстатних систем ЧПУ є ефективним практично в умовах більшості сучасних машинобудівних виробництв, що обумовлює зменшення впливу типу виробництва на алгоритми та засоби технологічного підготовки таких виробництв. Верстати з ЧПУ забезпечуються певними системами верстатних пристроїв, конструкціями різальних інструментів та вимагають проектування операційних технологічних процесів з оптимізацією режимів різання за критерієм максимальної продуктивності, яка при цьому забезпечує і мінімальну вартість оброблення. Тому на етапах технологічного підготовки сучасного виробництва визначення типу виробництва за традиційними алгоритмами практично втратило своє значення і не має суттєвого впливу на алгоритми вирішення типових завдань технологічного підготовки машинобудівного виробництва. З урахуванням тенденцій розвитку світового машинобудівного виробництва, ми будемо розглядати основні закономірності підготовки переважно багатомономенклатурного машинобудівного виробництва з широким застосуванням сучасних конструкцій верстатних систем з ЧПУ та багатофункціональних верстатів.

Важливою складовою відновлення машинобудівного виробництва є підготовка кваліфікованих технічних спеціалістів, які здатні вирішувати сучасні завдання технічного підготовки виробництва. Необхідно приймати до уваги, що неавтоматизоване проектування технологічних процесів є достатньо трудомістким технологічним завданням, рішення, які приймаються проектантом залежать від його кваліфікаційного рівня і не завжди є оптимальними. Лише невелика частина часу проектування технологічних процесів (в межах 10-15%) витрачається на прийняття рішень, а весь інший час витрачається на пошук необхідної інформації та оформлення (документування) результатів проектування [2]. Скорочення тривалості ТПВ та загального часу виробничо-технологічного циклу створення машин, з одночасним підвищенням якості рішень, які приймаються та реалізуються в заданих виробничих умовах можуть

забезпечити тільки засоби автоматизації виконання функції технологічного підготовки виробництва. Тому характерною особливістю сучасного технологічного підготовки виробництва є практично обов'язкове застосування сучасних автоматизованих систем конструювання САД-систем, проектування технологічних процесів САРР-та САМ-систем, управління виробничими процесами САЕ-системи, які можуть забезпечити зменшення тривалості технологічного підготовки виробництва та підвищення його надійності. Разом з тим, наявність та практичне застосування таких універсальних автоматизованих систем вимагає високої кваліфікації виконавців технологічного підготовки виробництва, яка передбачає володіння сучасними науково обґрунтованими алгоритмами проектування технологічних процесів та вміннями їх реалізації засобами автоматизованих систем проектування. Проектування технологічних процесів є першим етапом їх подальшого застосування у виробничих умовах. Впроваджені у виробництво технологічні процеси постійно досліджуються та вдосконалюються.

Ефективна робота машинобудівного виробництва забезпечується постійним супроводженням реалізації технологічних процесів у виробничих умовах, їх дослідженням та вдосконаленням з урахуванням досягнень нових технологічних досліджень, які забезпечують підвищення продуктивності оброблення та надійності реалізації кожної технологічної операції. Є очевидним, що незмінні технологічні процеси реалізуються на обмеженому проміжку часу, а їх подальше постійне вдосконалення є вимогою сучасної конкурентної ринкової економіки. Такі умови сучасного машинобудівного виробництва обумовлюють необхідність постійного підвищення кваліфікаційного рівня технічних спеціалістів, які його забезпечують та обов'язкового практичного вміння використовувати сучасні засоби автоматизації вирішення типових технологічних завдань.

Розділ 1

ТЕХНІЧНЕ ПІДГОТОВЛЕННЯ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА

1.1 Основні поняття, складові та завдання технічного підготовки виробництва

Успішне виведення на ринок нових конкурентоздатних виробів забезпечується якісним технічним підготовленням виробництва.

Технічне підготовлення виробництва це система заходів, яка охоплює виконання всього обсягу робіт з проектування, впровадження нових та вдосконалення освоєних конструкцій машин і технологічних процесів [3].

Технічне підготовлення виробництва включає науково-дослідне, проектно-конструкторське, технологічне та організаційно-матеріальне підготовлення [3].

Науково-дослідне підготовлення виробництва передбачає проведення прикладних досліджень, які пов'язані з удосконаленням продукції, техніки, технологій, складу застосовуваних матеріалів, організації виробництва, праці та керування [3].

Проектно-конструкторське підготовлення виробництва передбачає проектування нової продукції та модернізацію виготовлюваної, а також розроблення проектів реконструкції та переобладнання підприємства або окремих його підрозділів [3].

Технологічне підготовлення виробництва передбачає проектування технологічних процесів виробництва, вибір та розміщення устаткування, визначення, проектування та виготовлення технологічного оснащення,

розроблення методів контролю, нормування матеріально-технічних витрат і забезпечує випуск продукції потрібного рівня якості за встановлених термінів та обсягів випуску [3].

Організаційне підготовлення виробництва передбачає проектування організаційних рішень, які встановлюють взаємодію матеріальних, трудових та керівних елементів виробництва промислового об'єкта, що гарантує високоефективний та безпечний хід виробничих процесів у різні періоди життя виробничої системи [3].

Найбільш науково-обґрунтованою, важливою та трудомісткою складовою технічного підготовлення виробництва є технологічне підготовлення виробництва (ТПВ). Трудомісткість технологічного підготовлення виробництва для умов малосерійного виробництва складає (30-40)% від загальної трудомісткості технічного підготовлення виробництва, а для умов великосерійного виробництва досягає (50-60)%. Загальна трудомісткість технологічного підготовлення виробництва в (2-3) рази перевищує трудомісткість проектно-конструкторського підготовлення виробництва. Технологічне підготовлення виробництва повинно забезпечувати ефективні споживчі характеристики виробу на всіх етапах його життєвого циклу.

Життєвий цикл виробу-це сукупність взаємопов'язаних процесів створення та послідовної зміни стану виробу від формування вимог до його початкових споживчих характеристик до завершення його експлуатації та використання [2].

Успішне виведення на ринок виробів машинобудування вимагає послідовного виконання типових технологічних та економічних завдань:

- маркетингові дослідження ринку та створення моделі конкурентоздатного виробу;
- конструювання конкурентоздатного виробу;

- проектування технологічних процесів виготовлення деталей та процесів їх складання, контролю характеристик якості виробу та його виробничого випробування;
- матеріально-технічне забезпечення необхідними ресурсами виробничих процесів для заданих техніко-організаційних умов виробництва;
- формування системи технічного сервісу, яка забезпечує його подальшу експлуатацію та обслуговування, включаючи етап утилізації.

На етапі маркетингових досліджень аналізується сегмент ринку відповідної машинобудівної продукції. За їх результатами встановлюють наявність поточної та перспективної потреби у виробах певного функціонального призначення. Визначають основні вимоги до споживчих характеристик таких виробів. Встановлюють склад та основні показники експлуатаційних характеристик якості (потужність, продуктивність, об'єм, коефіцієнт корисної дії, показники надійності, гарантійні терміни та інше).

Розробляється загальний опис конкурентоздатного виробу із зазначенням умов експлуатації та визначенням показників експлуатаційних характеристик якості, споживчих уподобань по відношенню до ергономічних, естетичних та інших характеристик, які в підсумку створюють сприятливі умови використання та експлуатації таких виробів. За підсумками таких досліджень визначають проектний загальний обсяг випуску таких виробів.

На основі вимог, які внесені до опису конкурентоздатного виробу, розробляється технічне завдання на його конструювання. При цьому є очевидним, що може бути розроблено декілька конструктивних варіантів таких виробів, що буде обумовлювати необхідність виготовлення дослідних зразків, їх випробування, визначення переваг та недоліків кожного з них. Всі технічні дані, які необхідні та достатні для виготовлення, контролю, випробування, поставки, експлуатації та

ремонту конкурентоздатного виробу повинні бути розроблені в комплекті конструкторської документації.

На етапі матеріально-технічного забезпечення визначають перспективні потреби виробництва в різноманітних ресурсах. До виробничих ресурсів відносять: сукупність необхідних засобів виробництва, трудові, природні, фінансові, енергетичні та інформаційні ресурси, які повинні забезпечити ефективну реалізацію виробничих процесів. За умов відсутності в наявності певних ресурсів розробляється план їх придбання у терміни, які не гальмують виробництво.

Завершення технологічного підготовлення виробництва визначається наявністю на виробництві повних комплектів робочої конструкторської та технологічної документації, наявності всіх необхідних комплектів технологічного оснащення, яке надійно та ефективно забезпечує виготовлення заданого обсягу виробів з визначеними експлуатаційними характеристиками.

Загальною метою для всіх етапів життєвого циклу виробів є забезпечення високих характеристик якості виробу в процесі виготовлення та експлуатації. Це забезпечується виконанням на кожному етапі комплексу відповідних заходів. Найбільш важливими етапами життєвого циклу виробу, на яких значною мірою забезпечується формування характеристик якості виробів є етап технологічного підготовлення виробництва та етап його реалізації безпосередньо у виробничих умовах, які часто об'єднують у виробничо-технологічний цикл (ВТЦ). Найбільш ефективною формою організації виробництва є поєднання інформаційних технологій та технологій матеріального виробництва, яке називають комп'ютеризованим інтегрованим виробництвом (Computer integrated manufacturing-CIM).

1.2 Технологічне підготовлення виробництва

1.2.1 Функції та завдання технологічного підготовлення виробництва

При виконанні технологічного підготовки виробництва доцільно використовувати практичний досвід його виконання в машинобудівному виробництві, який базується на застосуванні системи технологічного підготовки виробництва (СТПВ).

Система технологічного підготовки виробництва представляє певну систему організації та керування технологічним підготовленням виробництва, що регламентовано державними стандартами [4]. Для умов технологічного підготовки традиційного виробництва СТПВ-це встановлена державними стандартами система організації та управління процесом технологічного підготовки виробництва, яка базується на широкому застосуванні прогресивних типових технологічних процесів, стандартного технологічного оснащення та обладнання, засобів механізації та автоматизації виробничих процесів, інженерно-технічних та управлінських рішень. Необхідно відзначити, що сучасне автоматизоване машинобудівне виробництво має нові відмінні ознаки від традиційного неавтоматизованого, але для виконання частини технологічних завдань ці напрацювання можуть бути успішно використані.

Технологічне підготовки виробництва доцільно виконувати у відповідності до стандартів ДСТУ 2960-94 *Організація промислового виробництва. Основні поняття. Терміни та визначення*. ДСТУ 2974-95 *Технологічне підготовки виробництва та* ДСТУ 2391-94 *Система технологічної документації*.

Технологічне підготовки виробництва (ТПВ) включає послідовне вирішення типових технологічних завдань, а саме: сукупність заходів яка охоплює проектування технологічних процесів виробництва, вибір та розміщення устаткування, визначення технологічного оснащення, розроблення методів технічного контролю, нормування матеріально-технічних витрат і повинно забезпечувати випуск продукції певної якості за встановлений термін часу та заданим обсягом випуску.

Відповідно до стандартів ЄСТПВ передбачені наступні функції ТПВ:

- забезпечення технологічності конструкцій виробів (ТКВ);
- проектування технологічних процесів для всіх етапів виготовлення деталей (виготовлення заготовок, оброблення та складання);
- проектування та виготовлення засобів технологічного оснащення, яке включає верстатні пристрої, засоби контролю, випробування та діагностики. При застосуванні верстатів з ЧПУ найчастіше використовують спеціалізовані системи пристроїв, а саме: універсально-збірні та збірно-розбірні пристрої;
- організація та управління ТПВ.

За даними досліджень трудомісткість виконання перелічених завдань складає (60-75)% загальної трудомісткості технічного підготовки виробництва наукомісткої продукції. Найбільш важливим етапом технологічного підготовки виробництва є проектування технологічних процесів, оскільки структура технологічного процесу буде визначати методи забезпечення точності при виконанні операцій оброблення та складання виробів, форму організації виробництва і, відповідно, трудомісткість процесів. Види заготовок та припуски на оброблення поверхонь визначають коефіцієнт використання матеріалу при механічному обробленні, енергетичні та матеріальні витрати для оброблення поверхонь. Проектування уніфікованих операцій та технологічних процесів значною мірою визначає загальний обсяг робіт практично за всіма функціями ТПВ. Визначення технологічного оснащення, яке запроектовано для виконання технологічних операцій, особливості інструментального забезпечення будуть визначати завантаженість конструкторських підрозділів виробництва. Обґрунтоване нормування всіх складових ТПВ у підсумку визначає собівартість виготовлення виробу.

Для визначення технологічних параметрів при вирішенні задач проектування ТП розробляються технологічні моделі для різноманітних методів і етапів оброблення, для визначення характеристик технологічної оснастки. Використання зв'язків між конструктивними параметрами у

вигляді технологічних моделей підвищує рівень автоматизації проектування ТП, ступінь інтеграції функціональних підсистем ТПВ і знижує зворотні зв'язки від технології до проектування конструкції при аналізі конструкції деталі на технологічність.

Технологічні моделі, організовані в спеціальні бібліотеки, можна розглядати як бази знань для проектування ТП. Сучасна комп'ютерна техніка відкриває широкі можливості автоматизації комп'ютерного конструювання та просторового моделювання з використанням САД- систем, проектування технологічних процесів в діалоговому або автоматизованому режимі з використанням САМ-систем на базі повного математичного представлення окремих поверхонь, складових елементів складальних одиниць, деталей та заготовок, що є принципово новою базою для створення САПР ТП. Так, наприклад, на базі математичного ядра, яке відповідає міжнародним стандартам DFX 3D, SAT, STL, JGES, XT та XB (Parasolid), STEP створено системи тривимірного геометричного моделювання при конструюванні та проектуванні технологічних процесів T-FLEX CAD/CAM/CAE/PDM, САПР ТП «ТехноПро» та інші.

Повне математичне ядро функціонує у широко розповсюдженій у більшості світових держав системі автоматизації креслення, конструювання та просторового моделювання Auto CAD 3D, на базі якої створюють різноманітні технологічні додатки. Сучасне технологічне підготвлення виробництва (ТПВ) базується на досягненнях технологій оброблення та сучасної організації виробництва і повинно забезпечувати суттєве зростання його технічного рівня. ТПВ повинно вирішувати не тільки завдання, які безпосередньо пов'язані з підготвленням виготовлення конкурентоздатних виробів, але й вирішувати завдання взаємодії виробництва та продукції, що виготовляється зі сферою її споживання, а саме підтримання продукції на протязі її життєвого циклу та визначення її впливу на навколишнє середовище.

Зростання обсягів виготовлення наукомісткої продукції робить все більш актуальним завдання підвищення надійності та ефективності її виконання при умові одночасного скорочення витрат часу, обсягів праці та фінансових витрат у сфері експлуатації. Витрати на ефективне використання виробу в сфері експлуатації, з однієї сторони, повинні враховувати інтереси користувачів, з другої—забезпечувати рентабельність виробництва для виробника.

Важливою тенденцією розвитку сучасного машинобудівного виробництва в умовах конкурентного ринкового середовища є скорочення обсягів виробництва однотипної продукції та значного розширення номенклатури виробів, що виготовляються. Такі тенденції висувають нові вимоги до організації ТПВ, що передбачають підвищення продуктивності підготовки виробництва та зменшення витрат на її виконання. Незважаючи на достатньо велику кількість наукових досліджень та практичних рекомендацій до виконання ТПВ і до цього часу його важливою проблемою є недостатній рівень формалізації виконання значної кількості технологічних завдань. Тому ефективне виконання ТПВ в значній мірі базується на інтелектуальному рівні виконавців, які можуть забезпечити три основні вимоги до ТПВ, а саме:

- високу продуктивність виконання;
- високий науковий рівень вирішення типових завдань;
- мінімальні витрати на ТПВ та організацію виробництва.

Актуальною проблемою сучасного машинобудівного виробництва є скорочення часу технологічного підготовки виробництва (ТПВ). Проблема викликана тенденціями до підвищення якості і складності виробів, збільшення інтенсивності зміни випуску виробів, підвищення питомої ваги циклу ТПВ для наукомістких виробів.

Прискорення ТПВ у теперішній час реалізується за наступними напрямками:

- підвищення рівня автоматизації проектних робіт на всіх стадіях (функціях) ТПВ;
- впровадження автоматизованих систем проектування і виготовлення переналагоджуваної технологічної оснастки;
- забезпечення автоматизованого обміну інформаційними потоками між суміжними функціями ТПВ.

1.2.2 Організаційне забезпечення технологічного підготовки виробництва

Технологічне підготовки виробництва передбачає вирішення складних типових технологічних завдань, серед яких: виробничі, організаційні та соціальні завдання.

Вихідними даними для виконання технологічного підготовки виробництва є:

- повний комплект конструкторської документації на новий виріб, який повинен включати 3-D моделі виробу, його складальних одиниць та окремих деталей. За необхідності, кресленики виробу, вузлів та робочі кресленики деталей;
- опис службового призначення виробу та умов його експлуатації;
- річний обсяг виготовлення виробів з урахуванням обсягу випуску запасних частин та поставок іншим виробникам за кооперацією;
- планова тривалість виготовлення незмінного виробу та обсяги випуску за роками;
- плановий режим роботи підприємства, який визначає кількість робочих змін та загальну тривалість робочого тижня;
- плановий коефіцієнт завантаження обладнання основного виробництва та стратегія виконання поточних ремонтів на підприємстві;
- планові поставки на виробництво за кооперацією вузлів, напівфабрикатів та підприємства-постачальники;

- планові поставки на виробництво стандартних виробів та підприємства-постачальники;
- прогностні ринкові ціни нових товарів;
- прийнята для виробництва стратегія ризиків (необхідність наявності дублюючого обладнання);
- прийнята на підприємстві система соціального захисту робітників.

В залежності від технологічних завдань, які вирішуються в технологічному підготовленні виробництва його поділяють:

- перспективне;
- оперативне.

Перспективне технологічне підготовлення виробництва передбачає вирішення завдань технологічного забезпечення конкурентоздатності нових виробів, підготовлення виробничих засобів виробництва для випуску нових виробів за рахунок реконструкції та переоснащення, проектування складних систем технологічного обладнання, роботизованих та гнучких інтегрованих виробництв, у тому числі і автоматичних ліній.

Оперативне технологічне підготовлення виробництва забезпечує технологічну готовність підприємства до випуску нової продукції методами організації та управління ТПВ, технологічного аналізу нового виробу та технологічних можливостей виробництва, проектування ефективних технологічних процесів для конкретних умов виробництва, засобів технологічного оснащення для його реалізації, підготовлення управляючих програм для верстатів з ЧПУ, визначення термінів технологічного проектування, виготовлення засобів технологічного оснащення, монтажу дільниці цеху та її налагодження.

Перспективне технологічне підготовлення виробництва може виконуватись за межами виробництва та безпосередньо на виробництві. Для виконання технологічного підготовлення виробництва за межами

виробництва найчастіше залучають проектно-технологічні інститути, спеціальні конструкторсько-технологічні бюро, спеціалізовані підприємства підготовки виробництва, а також інші ринкові організаційні науково-технічні структури, які мають відповідні ліцензії на виконання таких робіт.

Враховуючи залучення до вирішення технологічних завдань таких структур, його називають науково-технологічним підготвлення виробництва.

Для вирішення завдань перспективного технологічного підготвлення виробництва в умовах сучасного ринкового виробництва створюють та залучають нові структури, які спеціалізуються на виконанні таких завдань. Відповідні організації, які виконують технологічне підготвлення виробництва за межами виробництва поділяють:

- регіональні та загальнодержавні центри нових технологій;
- об'єднання підприємств для інноваційного співробітництва;
- інноваційні організації в навчальних закладах.

До складу регіональних та загальнодержавних центрів нових технологій входять:

- *технополіси*-це міста по створенню нової техніки, в яких залучають декілька найбільш передових підприємств певної галузі промисловості;
- *центри промислових технологій*-це організації, які надають допомогу по впровадженню нових технологічних досягнень в серійне виробництво;
- *інкубатори бізнесу*-це організації, які займаються створенням нових компаній. Вони надають в оренду приміщення організаціям інноваційного підприємництва, надають послуги невеликим фірмам. На базі успішних невеликих компаній в майбутньому

створюються: дослідницькі, конструкторські, технологічні, дослідницько-експериментальні та виробничі підрозділи.

До складу об'єднань підприємств для інноваційного співробітництва входять:

- *фінансово-промислові групи*-це об'єднання підприємств та фінансових організацій, які створюють в своїй організаційній структурі науково-дослідні, дослідно-конструкторські та проектно-технологічні підрозділи для просування своїх розробок на ринок;
- *створення спільних підприємств*-це об'єднання підприємств різних держав для створення нових технологій спільними дослідженнями, обмін випробуваними ефективними технологіями, спільна розробка нових виробів та виведення їх на ринок;
- *створення консорціумів*-це добровільне об'єднання ресурсів підприємств для здійснення крупних високовартісних проектів. Після успішного вирішення такого завдання консорціум може бути розформований.
- *створення альянсів* (асоціації, корпорації, акціонерні товариства-ВАТ, ЗАТ)-це об'єднання декількох організацій, в тому числі університетів, державних дослідницьких центрів на основі договору про спільне фінансування науково-дослідних та конструкторських розробок, а також модернізації продукції.

До складу інноваційних організацій в навчальних закладах входять:

- *технопарки*-це об'єднання науково-дослідних центрів навчальних закладів, які мають наміри комерціалізації результатів власних наукових розробок, шляхом відкриття малих підприємств, які відокремлюються від навчального закладу для відкриття власної справи;

- *інженерні (інноваційно-технологічні) центри* у вищих навчальних закладах освіти, які за підтримки державного фінансування розробляють нові технології;
- *центри нововведень*-такі організації виконують спільні з підприємствами наукові дослідження та здійснюють для них підготовку технічних спеціалістів, які володіють новими технологіями вирішення технологічних завдань. Такі об'єднання поряд з науково-технічною допомогою можуть фінансувати утворення нових ринкових об'єднань на базі успішних творчих колективів;
- *університетсько-промислові центри*-це науково-дослідницькі підрозділи, які виконують дослідження в тих областях, які є важливими для організацій учасників.

Для організації та виконання технологічного підготовлення виробництва безпосередньо на виробництві створюють та залучають спеціальні підрозділи та служби, наприклад, головного технолога, головного металурга, відділ механізації та автоматизації, відділ верстатів з ЧПУ та інші, а також спеціалізовані бюро: технологічні бюро цеху, проектно-технологічні бюро реконструкції, бюро проектування технологічного оснащення та інші. Важливою складовою виробництва є окремі спеціалізовані лабораторії, обчислювальні центри, центри розмноження технологічної документації та інше.

Для вирішення складних виробничих завдань, можуть створюватись тимчасові творчі колективи, які розробляють складні інноваційні проекти технологічного підготовлення виробництва. Для виготовлення засобів технологічного оснащення, які повинні забезпечити реалізацію запроєктованих технологічних процесів у структурі підприємства можуть організувати допоміжні виробничі підрозділи підготовлення виробництва: експериментально-технологічні, інструментальні, збірних пристроїв, виготовлення штампів та прес-форм, нестандартного обладнання, засобів механізації та автоматизації та інше. За певних умов виробництва можуть

створюватись додаткові дільниці підготовки та забезпечення виробництва безпосередньо в цехах основного виробництва, наприклад, майстерня по ремонту верстатних пристроїв та інструментального оснащення. Конкретні додаткові підрозділи забезпечення технологічного підготовки виробництва на підприємстві будуть залежати від складності технологічних завдань, які необхідно вирішувати на виробництві, виробничих та фінансових можливостей підприємства, наявності необхідних кваліфікованих кадрів для вирішення таких завдань.

1.2.3 Системи технологічного підготовки виробництва, як засіб підвищення його ефективності та зменшення тривалості

Для підвищення ефективності технологічного підготовки виробництва, необхідно приймати до уваги, що після впровадження у виробництво виробу на протязі певного проміжку часу виробничий процес буде здійснюватися за незмінними креслениками виробу. Зміна конструкції виробу, буде вимагати внесення змін у всі складові технічного підготовки виробництва. Для зменшення тривалості технічного підготовки виробництва необхідно більш інтегровано вирішувати завдання проектно-конструкторського, організаційного та технологічного підготовки виробництва. При виконанні технічного підготовки виробництва частина завдань технологічного підготовки виробництва передається для їх вирішування безпосередньо при проектуванні конструкції виробу, тобто етапу проектно-конструкторської підготовки, а саме:

- забезпечення технологічності конструкції виробу;
- попереднє проектування технологічної документації для забезпечення конкурентоздатності нового виробу;
- розробку директивних технологічних процесів, які забезпечують не тільки високі характеристики якості та конкурентоздатність виробу але можуть забезпечити і зменшення трудомісткості виготовлення виробу при його виготовленні в умовах виробництва.

Комплект директивної технологічної документації-це сукупність технологічних документів на окремі технологічні процеси, необхідні та достатні для проведення попередніх укрупнених інженерно-технічних, організаційно-економічних розрахунків при прийнятті рішень про постановку нових виробів на виробництво з урахуванням умов конкретного виробництва.

Частина функцій організаційного етапу підготовки виробництва, таких як планування термінів виконання технологічного підготовки виробництва, аналіз завантаження наявного виробничого обладнання, технологічне підготовка виробничого обладнання шляхом реконструкції та технічного переоснащення виробничої ділянки, передаються на етап технологічного підготовки виробництва. Такі практичні зміни забезпечують більш високу надійність та комплексність вирішення завдань і одночасно забезпечують зменшення загальної тривалості технічного підготовки виробництва.

Система технологічного підготовки виробництва включає:

$S\{\text{система}\} = [\{\text{цілі}\}, \{\text{структура}\}, \{\text{технології}\}, \{\text{умови існування}\}]$

Ціллю будь-якої системи технологічного підготовки виробництва є забезпечення технологічної готовності виробництва до виготовлення нової продукції у задані терміни та з мінімальними витратами.

Структура (від лат. побудова, порядок) характеризує взаємозв'язки складових системи ТПВ. Технології-це будь-які засоби перетворення вихідних матеріалів, енергії, інформації для отримання необхідної продукції або послуги.

Відповідно, в системах ТПВ розглядають технології основного (товарного) виробництва та технології допоміжного виробництва (наприклад, виготовлення інструментів, спеціального обладнання, контрольних засобів, засобів автоматизації та іншого технологічного оснащення).

До послуг відносять інформаційні технології, наприклад, управління проектами ТПВ, автоматизація ТПВ, уніфікація ТПВ та інше.

Умови існування-це будь-які фактори, які впливають на створення системи ТПВ, їх функціонування та розвиток (ресурси, науково-технічні заділи створення автоматизованої системи технологічного підготовлення виробництва (АСТПВ), методи системотехнічного проектування, методи математичного моделювання та оптимізації, методи оброблення та складання виробів, методи інтелектуальної підтримки процесів управління в АСТПВ та інше).

За аналізом функціональних моделей систем ТПВ можна сформулювати основні функції АСТПВ:

- організація та управління ТПВ;
- технологічний аналіз конструкції виробу;
- технологічний аналіз виробництва;
- розроблення комплектів документації технологічних процесів;
- розроблення технологічної частини проектів та технічного переоснащення (реконструкції, нового будівництва та розширення) виробництва;
- розроблення управляючих програм для обладнання з ЧПУ;
- розроблення норм технологічного проектування (або технологічних нормативів, наприклад, нормативів витрат матеріалів, нормативів визначення припусків, нормативів режимів різання, нормативів запасу технологічної оснастки);
- проектування спеціальних засобів технологічного оснащення (спеціального обладнання, засобів автоматизації, інструментів, пристроїв, штампів) та інше;
- виготовлення спеціальних засобів технологічного оснащення;
- монтаж та налагодження технологічних комплексів.

Загальна схема технологічного підготовлення виробництва наведена на рис.1.1.

Рис.1.1. Схема технологічного підготовлення виробництва

Вхідними змінними об'єкту проектування є: матерія-М; енергія-Е та інформація-І. Вихідні змінні-цілі: економічні-В; технічні-Т; аксіологічні-А. Параметрами стану є: структура-С; функції-Ф; розвиток-Р. Факторами зовнішнього середовища є: природні-П; економічні-В, соціальні-С.

Для зменшення тривалості технологічного підготовлення виробництва та зменшення витрат на її реалізацію по кожній із функцій ТПВ доцільно використовувати такі методи:

- застосування максимальної одночасності виконання всіх процесів ТПВ;
- застосування максимальної уніфікації технологічного документообороту, в тому числі шляхом проектування уніфікованих типових (групових) технологічних процесів;
- проектування та виготовлення швидко переналагоджуваних засобів технологічного оснащення (модульних та агрегатних верстатів, переналагоджуваних верстатних пристроїв);
- комплексної автоматизації не тільки технологічних процесів, але власне процесів (інформаційних технологій) АСТПВ.

1.2.4 Автоматизовані інформаційні системи підтримки та забезпечення технологічного підготовлення виробництва

Ускладнення конструкцій виробів сучасного машинобудівного виробництва, зростання вимог до характеристик якості, ускладнення умов застосування та експлуатації виробів, необхідність скорочення термінів виробничо-технологічного циклу обумовлює необхідність прийняття складних, але ефективних рішень у короткі терміни. Такі умови виконання ТПВ обумовлюють необхідність використання автоматизованих систем для прийняття ефективних рішень. Підвищення продуктивності виконання ТПВ забезпечують автоматизовані інформаційні системи підтримки рішень- *Decision Support Systems*-DSS. Системи підтримки рішень орієнтовані не на повну автоматизацію функцій розробника, який повинен приймати рішення, а на надання йому необхідної інформаційної, а в окремих випадках, і інтелектуальної допомоги в пошуку найбільш ефективного для заданих умов рішення.

В останні десятиліття одним із головних факторів економічного зростання промислово розвинутих країн є розвиток інформаційних технологій. Ці технології забезпечують скорочення фінансових та часових витрат при виробництві наукомісткої продукції. Для інформаційної інтеграції процесів, які супроводжують життєвий цикл машинобудівної продукції, розроблено нову концепцію-CALS, яка реалізована у вигляді відповідних CALS-технологій. CALS-*(Computer Aided Acquisition and Life-Cycle Support)*-це ідеологія створення єдиного інформаційного середовища для процесів проектування, виготовлення, випробування, поставки та експлуатації продукції. Системність інформаційного підходу базується на охопленні всіх стадій життєвого циклу виробу (ЖЦВ) продукції від задуму до її утилізації.

Інтеграція всіх етапів ЖЦВ досягається шляхом стандартизації представлення інформації (або її результатів) у процесах проектування, матеріально-технічного забезпечення, виробництва, ремонту, після-продажного сервісу та ін. Такий системний підхід створює нову базу для інформаційної інтеграції та спадковості у використанні інформації.

Невід'ємною особливістю CALS–систем є інформаційна інтеграція, яка забезпечується рядом стандартів –STEP, P_UB, Mandate, SGML (*Standard Generalized Markup Language*), EDIFACT (*Electronic Data Interchange For Administration, Commerce, Transport*) та інші.

Ключовим компонентом CALS-технологій є система PDM (*Product Data Management*), яка керує всіма даними про виріб та інформаційними процесами життєвого циклу виробу і, перш за все, технологічним підготовленням виробництва. Основне завдання PDM-технологій полягає у тому, щоб зробити інформаційні процеси максимально прозорими і керованими.

Виготовлення сучасних складних виробів, особливо наукомістких, потребує об'єднання зусиль багатьох підприємств, які найчастіше мають значну віддаленість одне від одного. В компанію окремі виробництва кооперуються для того, щоб спільними зусиллями виконати складний проект або вивести на ринок новий продукт. На певний час, виникають так звані «віртуальні» підприємства-форма об'єднання підприємств та організацій на контрактній основі, які приймають участь в підтриманні та забезпеченні ЖЦВ спільного продукту і пов'язані спільними бізнес-процесами. Ефективна взаємодія всіх партнерів забезпечується використанням єдиного інформаційного простору, який побудовано за однаковими стандартами, регламентами та правилами і дозволяє використовувати дані, що сформовані в електронній формі і надходять від партнерів та передавати їм, в свою чергу, результати своєї роботи. CALS–технології являють собою сучасну організацію процесів проектування, виробництва, післяпродажного сервісу та експлуатації виробів за рахунок інформаційного забезпечення процесів їх ЖЦВ на основі стандартизації методів представлення даних на кожній стадії ЖЦВ та без паперового електронного обміну даними.

Метою застосування CALS–технології, як інструменту організації і інформаційної підтримки усіх учасників створення, виготовлення продукту і його використання, є підвищення ефективності їх діяльності за рахунок

прискорення процесів дослідження та розробки продукції, надання виробу нових властивостей, скорочення витрат в процесах виготовлення та експлуатації продукції, підвищення рівня сервісу в процесі її експлуатації та технічного обслуговування. Найбільший ефект застосування CALS-технології досягається, в першу чергу, при проектуванні та виготовленні складної наукомісткої продукції, яку створюють інтегрованими виробництвами.

Застосування CALS-технології у процесах виготовлення виробів дозволяє ефективно, з єдиних позицій вирішувати завдання забезпечення якості продукції, яка виготовляється, оскільки електронне описання процесів конструювання, виготовлення, монтажу повністю гармонізовані з відповідними вимогами міжнародних стандартів ISO серій 9000, реалізація яких гарантує випуск високоякісної продукції.

У США роботи по CALS-технологіях активно проводяться з 1985 року в межах національної програми. Початком створення системи CALS-технологій стала розробка системи стандартів опису процесів на всіх етапах ЖЦВ. В період 1985–1990рр. було розроблено національну концепцію розвитку системи CALS-технології та апробовані її основні складові. В 1991–1995рр. виконано великомасштабне випробування розроблених CALS-технологій в процесах виробництва окремих видів озброєнь та військової техніки.

Вдосконалення сучасних комп'ютерних систем обумовлює створення нових можливостей їх використання для вирішення технологічних завдань машинобудівного виробництва, а саме: конструювання виробів, проектування технологічних процесів та управління виробничими процесами, але разом з тим висуває нові вимоги до формалізації вихідної технічної інформації.

Міністерство зовнішньої торгівлі і промисловості Японії також здійснює широкомасштабну програму розробки, випробування та впровадження

системи CALS. Стало очевидним, що в сучасних умовах розвитку світової економіки CALS-технології є найважливішим інструментом підвищення ефективності бізнесу, конкурентоспроможності та привабливості продукції. За даними західних аналітиків, застосування CALS-технології дозволяє в масштабах промисловості США заощадити десятки мільярдів доларів за рік, скоротити строки виконання всіх робіт на 15-20%. На сьогодні в країнах світу практично діють близько 25 національних організацій (комітетів або рад) по розвитку та впровадженню CALS, в тому числі в США, Японії, Норвегії, Австралії та інших державах, а також в НАТО.

Тенденції розвитку світового ринку наукомісткої продукції направлені в сторону повного переходу на безпаперову електронну технологію проектування, виготовлення та збуту продукції. Передові закордонні фірми розглядають роботу в цьому напрямку як дійовий засіб обмеження доступу на міжнародний ринок наукомісткої продукції тих держав, які не зуміють своєчасно освоїти, відповідно до міжнародних вимог, безпаперові електронні технології. Ці тенденції обумовлюють ускладнення сертифікації вітчизняної продукції, а отримання міжнародних ліцензій на виготовлення продукції вимагає дотримання стандартів CALS.

Відновлення машинобудування України, підготовка виробництва продукції світового рівня якості неможливі без застосування концепцій CALS-технологій. Разом з тим, необхідно визначити основні завдання, вирішення яких може створити науково-методичну базу для впровадження CALS-технологій. Основними причинами недостатнього впровадження та освоєння CALS-технологій у сучасному виробництві є:

- загальне відставання в процесах комп'ютеризації господарської, виробничої та комерційної діяльності;
- відсутність вітчизняної нормативної бази, яка забезпечує перехід від традиційних методів організації процесів проектування, виготовлення, випробування, експлуатації, які ґрунтуються на паперовому обміні документами, до нових, які базуються на

електронній взаємодії та обміні даними. Існуючий комплекс стандартів та інших нормативних документів не дозволяють відмовитись від паперового обігу документів. Застосування комп'ютерних технологій для обміну інформацією тільки дублює паперовий обіг документів. Це протирічить самій сутності концепції CALS, яка передбачає рівні права у використанні інформації у будь-якій формі, в тому числі юридичну еквівалентність паперових та електронних документів, які забезпечені цифровим підписом;

- недостатність інформації про сутність концепції CALS, досвід застосування CALS в інших державах, що створює певне нерозуміння переваг та потенційного ефекту, який можна досягти за рахунок застосування CALS;
- відсутність ринку пропозицій та послуг по впровадженню CALS. Цей ринок знаходиться в початковому стані, який не підтримується і не розвивається за рахунок інвестицій виробничих підприємств;
- відсутність підготовлених, кваліфікованих і сертифікованих спеціалістів, а також системи їх підготовки та атестації.

Розв'язання складних завдань потребує їх комплексного вирішення на державному рівні, шляхом прийняття Державної цільової програми впровадження CALS-технологій в Україні. У межах такої цільової програми необхідно вирішити першочергові завдання:

- розробити та у виробничих умовах випробувати методичні засоби, які призначені для зберігання та управління даними про продукцію у відповідності до вимог стандартів CALS;
- розробити та впровадити у виробництво засоби підготовки електронної експлуатаційної документації на продукцію;
- розробити методики формалізованого опису та аналізу процесів, які виконуються на етапах життєвого циклу виробу, і створити на базі даного

формалізованого опису систему забезпечення якості продукції у відповідності до вимог МС ISO серії 9000;

- розробити нормативну базу впровадження та застосування CALS-технологій, а саме державних стандартів, керівних документів, методичних рекомендацій та інших і затвердити їх у встановленому порядку.

Застосування CALS-технології дозволяє суттєво скоротити обсяг проектних робіт, оскільки опис багатьох складових частин обладнання та систем, що раніше проектувалися, зберігається в базах даних (БД) мережевих серверів, які доступні будь-якому користувачу. Суттєво полегшується вирішення проблем ремонтпридатності, адаптації продукції до умов експлуатації, що змінюються, спеціалізації проектних організацій, розповсюдження передових проектних рішень, тиражування частин проекту в нових розробках та ін.

Інформаційне забезпечення технологічного підготовки виробництва можна поділити на інваріантне до функцій ТПВ та функціонально-орієнтоване. Інваріантне функціям ТПВ інформаційне забезпечення включає:

- дані про наявне технологічне обладнання, технологічні методи та процеси, які вже використовуються на виробництві, виробничі площі та їх завантаження, наявне технологічне оснащення та інші виробничі ресурси виробництва, які є в наявності;

- поточні техніко-економічні показники підприємства та дані про економічну ситуацію на ринку продукції, що випускається;

- дані про реальні конструктивно-технологічні параметри заготовок, які використовуються на виробництві та продукції, що виготовлена за результатами вхідного контролю заготовок та результатами приймального контролю виготовлених виробів, наприклад, дослідної партії;

- оперативну інформацію про результати реалізації окремих технологічних операцій за результатами операційного контролю або

завершеної частини технологічного процесу, наприклад чорнового оброблення заготовок;

- загальні методи прийняття технологічних рішень та засоби їх оптимізації.

Функціонально-орієнтоване інформаційне забезпечення ТПВ включає:

- прийняті правила вибору показників визначення технологічності конструкції виробу, складальних одиниць та деталей для виконання функції забезпечення технологічності конструкції виробу;

- прийняті правила вибору виду, методу виготовлення та конструювання вихідних заготовок для функції проектування конструкції заготовки;

- прийняті правила проектування та застосування технологічних процесів, вибору верстатного обладнання та інших засобів технологічного оснащення для функції проектування технологічних процесів;

- прийнята система проектування технологічних пристроїв для функції проектування засобів технологічного оснащення.

Для ефективного виконання завдань технологічного підготовки виробництва та вирішення завдань на різних етапах життєвого циклу виробів доцільно використовувати наявні засоби автоматизації, які включають [2]:

- CAE-Computer Aided Engineering-забезпечує автоматизацію інженерних розрахунків та аналіз;

- CAD- Computer Aided Design-автоматизація проектування виробів;

- CAM- Computer Aided Manufacturing-автоматизація технологічного підготовки виробництва;

- CAPP- Computer Aided Process Planning-автоматизація проектування технологічних процесів;

- CAAP- Computer Aided Assembly Planning-автоматизація проектування технологічних процесів складання;

- PDM-Product Life Cycle Management-автоматизація управління життєвим циклом виробу;

- ERP-Enterprise Resource Planning- автоматизація процесів планування та управління виробництвом;
- MRP-2-Manufacturing (Material) Requirement Planning-автоматизація планування виробництва;
- MES- Manufacturing Execution System-виробнича виконавча система;
- SCM-Supply Chain Management-управління процесами поставок;
- SCADA-Supervisory Control and Data Acquisition-диспетчерське управління виробничими процесами;
- S&SM-Sales and Service Management-управління процесами та обслуговуванням;
- CPC-Collaborative Product Commerce-спільний електронний бізнес;
- CNC-Computer Numerical Control-комп'ютерне числове управління.

1.2.5 Забезпечення технологічності конструкції виробу

Вихідним комплексом робіт по технологічному аналізу конструкції виробу, для якого здійснюється технологічне підготовлення виробництва є забезпечення технологічності конструкції і передбачає забезпечення відповідності нової конструкції виробу уже відпрацьованим вимогам технологічних процесів за технічними вимогами, параметрам використання трудових, матеріальних, фінансових та інших ресурсів у виробництві, експлуатації та ремонту нової техніки. Забезпечення виробничої, експлуатаційної та ремонтної технологічності здійснюється на етапі проектно-конструкторського підготовлення виробництва, що створює передумови зменшення тривалості технологічного підготовлення виробництва.

Аналіз конструкції нового виробу на технологічність та зниження потреб у виробничих ресурсах для виготовлення продукції потребує вирішення системи складних конструкторське-технологічних завдань:

- зменшення складності нового виробу на основі підвищення рівня уніфікації, стандартизації, повторюваності, взаємозамінності в

конструкції виробу, агрегування та блочно-модульної побудови конструкції, що забезпечує використання уніфікованих (типових та групових технологічних процесів);

- зменшення маси виробу, в тому числі на основі підвищення коефіцієнтів використання матеріалів, математичного моделювання та оптимізації конструкторських рішень;
- застосування прогресивних конструкторське-технологічних рішень, які отримані на основі вирішення винахідницьких завдань, функціонально-вартісного, морфологічного, системно-структурного, розмірного та інших видів наукового аналізу;
- застосування найбільш раціональних конструкторське-технологічних рішень за параметрами точності розмірів, форми та просторового розташування взаємопов'язаних поверхонь, параметрів шорсткості робочих поверхонь та інших рішень підвищення показників технологічності конструкцій виробів.

У зв'язку з тим, що більша частина робіт по забезпеченню виробничої продуктивності виконується на всіх етапах та стадіях проектно-конструкторського підготовки виробництва, а саме в системі управління проектами розробників нової техніки, то на підприємстві-виробнику часто виникає необхідність вхідного технологічного контролю комплекту конструкторської документації. Виконання вхідного контролю забезпечує не тільки аналіз технологічності виробу, але і аналіз конструкції на технологічність за конкретними умовами підприємства-виробника.

Для оцінки виробничої технологічності конструкції виробу аналізують структурну та функціональну відповідність нової конструкції (виробу, складальної одиниці, деталі) технологіям наявного виробництва. Структурний аналіз конструкції виробу доцільно виконувати з використанням можливостей сучасних ЕОМ на базі стандартизованих класифікаторів машин, приладів, складальних одиниць, деталей та інших конструкцій виробів.

Структурний аналіз конструкції виробу передбачає кодування всіх деталей, складальних одиниць у відповідності до спеціальних конструкторське-технологічних класифікаторів, що дає змогу визначити групи однотипних деталей, для яких проектується обмежена кількість технологічних процесів, а також одночасно забезпечується ефективно вирішення типових технологічних завдань:

- підвищення продуктивності оброблення;
- зменшення собівартості виготовлення виробів;
- підвищення характеристик якості виготовлення виробів;
- зменшення витрат на технологічне переналагодження робочих місць;
- зменшення загальної кількості необхідних верстатних пристроїв;
- застосування типових норм технологічного проектування (нормативів часу, витрат матеріалів, припусків на оброблення та режимів різання).

За умов проектування технологічних процесів виготовлення високовартісних виробів, для оцінки структурної відповідності виробу до структури технологічної системи виробництва доцільно використовувати кількісні характеристики до яких відносять:

- узагальнені оцінки коефіцієнтів уніфікації, стандартизації, повторюваності, застосування уніфікованих (типових та групових) технологічних процесів, повторюваності конструкційних матеріалів, перспективності застосування в інших виробках, застосування перспективних або директивних технологічних процесів;
- для локальних оцінок відповідності структури конструкції виробу різним технологіям застосовують спеціальні коефіцієнти збірності конструкції виробу, ефективності взаємозамінності питомої ваги прогресивних методів виготовлення, критичних та високих технологій.

Функціональну відповідність конструкції виробу до структури технологічної системи виробництва визначають за наступними показниками:

- аналіз трудомісткості виготовлення виробів-аналогів та виробів, що проектуються (машин, приладів, апаратів, їх складальних одиниць, агрегатів та вузлів);
- технологічна собівартість;
- відносна трудомісткість різних видів оброблення, які використовуються для виготовлення виробу;
- аналіз локальних параметрів виробничої технологічності деталей, а саме: коефіцієнтів точності оброблення, вимоги до параметрів шорсткості оброблення поверхонь, вимоги до фізико-механічних характеристик поверхневих шарів та інше.

Найбільш важливим показником виробничої технологічності є трудомісткість виготовлення заданого виробу, яка дає змогу визначити можливість її реалізації в заданих техніко-організаційних умовах виробництва. Якщо загальна трудомісткість виготовлення заданого обсягу виробів перевищує виробничу потужність структурних підрозділів виробництва є очевидним, що забезпечення їх виготовлення на даному підприємстві буде вимагати залучення додаткових інвестиції для розширення, реконструкції та технічного переоснащення, що обумовлює збільшення тривалості та вартості технологічного підготовки виробництва.

Формування ефективного технологічного підготовки виробництва забезпечує зменшення його тривалості, підвищення продуктивності процесів виготовлення та складання виробів, зменшення виробничих витрат, підвищення характеристик якості виробів, що виготовляються.

1.2.6 Види технологічних документів, що розробляються за результатами технологічного підготовки виробництва

В залежності від техніко-організаційних умов виробництва за результатами технологічного підготовки виробництва розробляються

стандартизовані в Єдиній системі технологічної документації (ЄСТД) технологічні документи, які включають [2]:

- маршрутні карти (МК)-для узагальненого описання структури одиничних, групових та типових технологічних процесів та операцій;
- операційні карти (ОК)-для детального описання одиничних, групових та типових технологічних операцій;
- карти ескізів (КЕ)-для графічного зображення виконання технологічних операцій;
- карти технологічного процесу (КТП)-для операційного опису при проектуванні одиничних, типових та групових технологічних процесів;
- карти типового технологічного процесу (КТТП)- для операційного опису типового технологічного процесу;
- відомість деталей (складальних одиниць) до типового або групового технологічного процесу, або операцій-для визначення змінної технологічної інформації до типового або групового технологічного процесу (групової або типової технологічної операції) по кожній деталі (складальній одиниці), які оброблюються за певним технологічним процесом;
- карти налагодження інструментів (КН/І) містять повний перелік різальних та допоміжних інструментів у технологічній послідовності їх застосування спільно з документом, що описує технологічну операцію (МК, ОК, КТП);
- карти кодування інформації (ККІ) для кодування інформації при розробленні управляючих програм (застосовується спільно з документами, що описують технологічну операцію: МК, ОК, КЕ, КТП);

- відомість оснастки (ВО) включає перелік спеціальних та стандартних пристроїв, які забезпечують реалізацію технологічного процесу виготовлення або складання.

Окрім наведених технологічних документів, у певних умовах виробництва можуть використовуватись:

- комплектувальна карта (КК);
- відомість операцій (ВО);
- відомість складання виробу (ВСВ);
- карта технологічної інформації (КТІ).

При виконанні технологічного підготовки сучасного виробництва необхідно приймати до уваги, що впровадження сучасних технологічних процесів у машинобудівному виробництві базується на переважному використанні верстатів з ЧПУ та багатофункціональних верстатів на їх основі. Застосування верстатів з ЧПУ визначає необхідність проектування операційних технологічних процесів незалежно від типу виробництва. Проектування операційного технологічного процесу механічного оброблення різанням є комплексним завданням і передбачає послідовне вирішення наступних типових технологічних завдань:

- проектування структури технологічного процесу виготовлення виробу;
- проектування структури технологічних операцій (послідовності виконання технологічних переходів);
- визначення загальних припусків для кожної обробної поверхні та припусків для виконання кожного технологічного переходу;
- визначення режимів різання для виконання кожного технологічного переходу;
- визначення операційних розмірів для виконання кожного технологічного переходу;

Ефективне виконання сучасного технологічного підготовки виробництва потребує високої кваліфікації виконавців, як за знаннями

загальної теорії виконання типових технологічних завдань так і за вмінням вирішувати ці завдання з використанням сучасних засобів автоматизації.

Недостатньо високий загальний рівень сучасної автоматизації процесу технологічного підготовки виробництва обумовлюється тим, що технологічні рішення, які приймаються, в цілому визначаються загальними закономірностями прийняття рішень, але мають цілий ряд специфічних особливостей та обмежень, до яких необхідно віднести:

- переважання в предметній області технології машинобудування описових форм представлення основних технологічних знань при недостатньому рівні знань, які представляються аналітичними моделями;
- складними структурами факторів (структурні та параметричні), які мають ускладнені умови взаємного впливу факторів та є змінними в процесі реалізації процесу оброблення за рахунок зношування інструменту (зростає сила різання, теплота різання, контактні температури, температурні деформації елементів технологічної системи), великою розмірністю технологічних задач, необхідністю застосування математичних методів оптимізації прийняття рішень;
- достатньо велика частина технологічних знань сформована за результатами експериментальних досліджень та узагальненням практичного досвіду виробництва, що обумовлює можливість їх зміни в залежності від зміни виробничих умов ;
- необхідністю взаємодії при прийнятті рішень зі складними інформаційними потоками, які складаються з великої кількості змінних різного типу, які є складовими технологічних процесів, наприклад, технічні характеристики верстатів, технологічних пристроїв, фізико-механічних характеристик конструкційного матеріалу, інструментів, режимів різання та інше;
- переважання ітераційного характеру процесу прийняття технологічних рішень з аналізом досягнутого результату на кожному етапі. Рішення

формується шляхом послідовного наближення до найбільш прийняттого для заданих умов результату.

Значна частина технологічних завдань, які повинні бути вирішені при ТПВ є такими, що важко формалізувати і на даний час є неформалізованими. Всі ці умови визначають необхідність подальшого вивчення та дослідження закономірностей вирішення типових технологічних завдань для забезпечення підвищення продуктивності та надійності виконання технологічного підготовлення виробництва.

Питання для самопідготовки:

1. Технічне підготовлення виробництва, його сутність та складові.
2. Основні функції та завдання технологічного підготовлення виробництва (ТПВ).
3. Шляхи скорочення термінів ТПВ.
4. Сутність та особливості перспективного і оперативного ТПВ.
5. Організація виконання ТПВ на підприємстві.
6. Вихідні дані для виконання ТПВ.
7. Роль і завдання інформаційних систем у забезпеченні виконання ТПВ.
8. Сутність та мета застосування CALS-технологій.
9. Основні завдання та мета аналізу технологічності виробу.
10. Показники технологічності виробу.
11. Основні технологічні документи, що розроблюються при ТПВ.

Література до розділу 1.

1. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. Москва. Машиностроение. 2009, 640 с.
2. Кондаков А.И. САПР технологических процессов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений/ А.И. Кондаков. Москва, Издательский центр «Академия», 2007. 272 с.
3. ДСТУ 2960-94 *Організація промислового виробництва. Основні поняття. Терміни та визначення.*

4. ДСТУ 2974–95 *Технологічне підготовлення виробництва*
5. ДСТУ 2391-94 *Система технологічної документації.*

Розділ 2

ЗАГАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

2.1. Етапи технологічних процесів оброблення заготовок, їх зміст та завдання

Проектування сучасних технологічних процесів оброблення різанням необхідно здійснювати з використанням узагальнених алгоритмів вирішення типових технологічних завдань, які в підсумку забезпечують проектування обґрунтованої послідовності оброблення поверхонь заготовки на різних етапах реалізації технологічного процесу.

Проектування технологічних процесів механічного оброблення для сучасного машинобудівного виробництва потребує проектування переважно операційних технологічних процесів для великої номенклатури деталей, що необхідно обробляти на дільниці цеху, яка використовує верстатне обладнання з ЧПУ.

Технологічний процес механічного оброблення різанням необхідно представляти послідовною реалізацією наступних технологічних етапів:

- етап чорнового оброблення
- етап чистового оброблення
- етап завершального оброблення

В залежності від якості виготовлення заготовок та техніко-економічних умов виробництва модуль чистового оброблення може поділятися на два етапи:

- етап попереднього напівчистового оброблення
- етап попереднього чистового оброблення

Для створення єдиної системи проектування технологічних процесів доцільно визначати узагальнені завдання кожного етапу оброблення.

При реалізації етапу чорнового оброблення вирішуються наступні типові технологічні завдання:

- послідовне попереднє та завершальне оброблення комплекту поверхонь загальних технологічних баз (ЗТБ), що забезпечує найбільш високу точність просторового розташування поверхонь, які складають комплект ЗТБ ;
- перевірка придатності заготовки для наступних етапів оброблення за наявності браку на відповідальних робочих поверхнях, при своєчасному виявленні якого зменшуються непродуктивні витрати на подальше оброблення бракованої заготовки;
- видалення максимально можливих припусків з поверхонь, що повинні оброблятися і є доступними для оброблення при заданій схемі установки заготовки, яка визначена для першої операції, що забезпечує в подальшому високу інтенсивність процесу вирівнювання внутрішніх залишкових напружень в конструкції заготовки та максимальну тривалість періоду природного старіння від попереднього до завершального оброблення найбільш відповідальних поверхонь. Необхідно приймати до уваги, що вирівнювання залишкових напружень в конструкції деталі є самоорганізованим процесом і супроводжується її жолобленням;
- забезпечення уточнення взаємного просторового положення поверхонь, що повинні оброблятися та уточнення розмірів поверхонь, точності форми, зменшення параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь. В окремій технічній літературі наводяться рекомендації, що на етапі чорнового оброблення можна не встановлювати обмеження на параметри точності та шорсткості оброблюваних поверхонь. Разом з тим, необхідно приймати до уваги, що теорія технологічної спадковості операцій оброблення різанням свідчить про необхідність безумовного урахування всіх характеристик якості оброблюваних поверхонь при здійсненні кожної технологічної операції оброблення;
- забезпечення рівномірних припусків для наступних етапів оброблення на особливо відповідальні поверхні.

Для сталого забезпечення високих характеристик якості робочих поверхонь деталей машин, етап чорнового оброблення, для переважної

більшості конструкційних матеріалів, з яких виготовляються заготовки литтям або пластичним деформуванням, не повинен поєднуватися з наступними етапами оброблення і його необхідно відокремлювати від наступного оброблення певним проміжком часу та розкріпленням заготовки. Для забезпечення вирівнювання залишкових напружень в конструкції заготовки після чорнового етапу оброблення доцільно передбачати в технологічному процесі операцію старіння: природного або штучного.

Операції штучного старіння найчастіше реалізуються введенням в технологічний процес термічних операцій. За умов проектування технологічних процесів виготовлення відповідальних деталей, наприклад деталей літальних апаратів, операції термічного оброблення можуть передбачатись після кожного етапу оброблення: чорнового, напівчистового та чистового. Завершальне оброблення таких деталей повинно передбачати оброблення обмеженої кількості найбільш відповідальних поверхонь, які визначають експлуатаційні показники виробу.

Для виконання етапу чорнового оброблення доцільно передбачати спеціальне верстатне обладнання, можна використовувати верстати менш високої точності, на яких доцільно не передбачати виконання наступних етапів оброблення. Якщо виготовлення заготовок здійснюється безпосередньо в організаційній структурі одного виробництва, доцільно етап чорнового оброблення включати в технологічний процес виготовлення заготовок.

Додатково необхідно приймати до уваги, що виконання наступних етапів оброблення потребує переналагодження технологічної обробляючої системи (ТОС), що повинно включати зміну інструментального матеріалу, геометричних параметрів різальної частини, за певних умов, зміни конструкції інструменту, наприклад, використання антивібраційних державок, а також зміни складових режиму різання.

Етап чистового оброблення передбачає подальше поліпшення характеристик якості оброблюваних поверхонь до вимог, що встановлені кресленником, а саме:

- забезпечує подальше уточнення просторового положення поверхонь деталі відносно поверхонь загальних технологічних баз;
- забезпечує формування заданих параметрів точності розмірів, точності форми, параметрів шорсткості поверхонь та фізико-механічних характеристик поверхневих шарів.

На цьому етапі не обробляються поверхні загальних технологічних баз та ті поверхні заготовки, характеристики якості яких були досягнуті при виконанні попереднього модуля оброблення.

Етап завершального оброблення передбачає оброблення тільки найбільш відповідальних поверхонь деталі, характеристики якості яких не були досягнуті при виконанні попередніх етапів оброблення. При виконанні етапу завершального оброблення особливу увагу приділяють забезпеченню заданого просторового розташування поверхонь основних та допоміжних конструкторських баз заготовки. Забезпечення таких вимог може здійснюватися із застосуванням незмінності загальних технологічних баз, а за умови неможливості досягнення заданих характеристик якості із застосуванням принципу взаємозамінності баз.

Необхідно приймати до уваги, що перехід від одного етапу оброблення до іншого буде вимагати зміни інструментального матеріалу, геометричних параметрів різальної частини інструменту та режимів різання, що обумовлює зміну і управляючих програм..

Аналіз типових технологічних завдань кожного етапу оброблення свідчить, що кожний наступний етап передбачає оброблення меншої кількості поверхонь, оскільки з оброблення виключаються ті поверхні, характеристики якості яких уже забезпечені на попередніх етапах. Така послідовність структури технологічного процесу оброблення деталей машин забезпечує сталу реалізацію операцій оброблення та надійне досягнення всіх характеристик якості оброблюваних деталей. Разом з тим, необхідно приймати до уваги, що використання в технологічних процесах виготовлення деталей машин термічних операцій, буде вимагати відновлення комплекту загальних

технологічних баз та подальше забезпечення точності просторового розташування обробних поверхонь відносно поверхонь ЗТБ.

2.2. Загальні рекомендації для визначення послідовності оброблення поверхонь

Традиційні алгоритми проектування технологічних процесів створили уявлення, що для оброблення певної деталі може бути спроектована велика кількість технологічних процесів, які, в значній мірі, визначаються кваліфікаційним рівнем технолога-проектанта. Сучасний рівень наукових технологічних досліджень, свідчить про те, що розроблені такі алгоритми, які обґрунтовано визначають послідовність оброблення поверхонь, а операції технологічного процесу повинні забезпечити їх виконання, і кількість операцій оброблення буде визначатись тільки технологічними можливостями верстатного обладнання.

Важливим технологічним завданням проектування технологічних процесів є визначення послідовності оброблення поверхонь конкретної деталі на кожному етапі оброблення. Необхідно приймати до уваги, що послідовність оброблення поверхонь на етапі чорнового оброблення буде відрізнятися від послідовності їх оброблення на завершальних етапах.

Вихідним документом для виконання етапу проектування послідовності оброблення поверхонь є робочий кресленик деталі. Визначення послідовності оброблення поверхонь деталі є базою для проектування структури технологічних операцій оброблення. Зміст кожної технологічної операції оброблення буде в значній мірі визначатись технологічними можливостями верстата. Тому етап визначення послідовності оброблення поверхонь є найбільш важливим для технологічного проектування, який буде визначати зміст технологічних операцій та служитиме засобом контролю всього технологічного процесу виготовлення виробу.

Узагальнений алгоритм визначення послідовностей оброблення поверхонь розроблено за результатами наукових досліджень, аналізу

практичного досвіду застосування ефективних технологічних процесів, які успішно реалізовувались у виробництві і передбачає таку послідовність:

1. Першими обробляються поверхні заготовки, які входять в комплект баз для виконання наступних етапів оброблення.
2. Кожний наступний технологічний перехід або операція повинні підвищувати характеристики якості оброблених поверхонь.

Зауваження. Якщо ця вимога не виконується, наприклад при реалізації термічних операцій, то в технологічному процесі необхідно повернутись до оброблення поверхонь заготовки, які складають комплект баз для наступних етапів оброблення.

3. Етап чорнового оброблення заготовки необхідно відокремлювати від наступних етапів оброблення певним проміжком часу, видаленням з верстатного пристрою, за певних умов застосуванням операцій старіння особливо для відповідальних, великогабаритних та високовартісних деталей.
4. Для своєчасного виявлення браку на поверхнях заготовки, на яких він не допускається, необхідно передбачати їх оброблення на перших етапах технологічного процесу, що забезпечить своєчасне виявлення браку та зменшення непродуктивних витрат на подальше оброблення.
5. На чорновому етапі оброблення першими необхідно обробляти поверхні, які мають найбільший припуск, а також найбільш відповідальні поверхні, на яких не допускається брак.

Зауваження. Така послідовність оброблення забезпечує максимальну тривалість процесу природного старіння заготовки, тобто проміжку часу від чорнового оброблення до завершального оброблення такої поверхні.

6. Завершальне оброблення найбільш відповідальних поверхонь необхідно виконувати на останніх технологічних переходах, що забезпечує можливість компенсувати всі попередні похибки оброблення, виключає випадкове пошкодження остаточно оброблених поверхонь та забезпечує максимальну тривалість природного старіння.

7. На етапі чорнового оброблення поверхонь ступінчастих валів першими необхідно обробляти поверхні, які найменше впливають на зменшення жорсткості заготовки, а також намагатися забезпечити мінімальну довжину робочих переміщень інструменту при обробленні заданих поверхонь валу. Відповідно, оброблення необхідно розпочинати з поверхонь найбільшого діаметру, які передбачені для оброблення за прийнятої схеми установки заготовки.

8. Технологічні переходи в операції необхідно виконувати таким чином, щоб довжина ходу інструменту з найменшим періодом стійкості була мінімальною.

Так, наприклад при виготовленні втулки на токарному напівавтоматі інструментом, який має найменшу стійкість є відрізний різець рис.2.1.

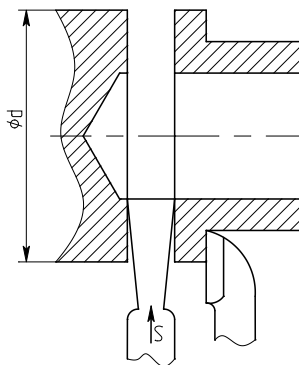


Рис.2.1. Ескіз оброблення втулки на токарному верстаті

Тому при свердлінні осьового отвору доцільно збільшити довжину свердління на ширину відрізного різця, щоб забезпечити зменшення необхідної довжини ходу різця при відрізанні обробленої деталі та збільшення часу його роботи до заміни. Разом з тим необхідно відзначити, що при застосуванні верстатів з ЧПУ, де заміна інструменту не вимагає зупинки роботи верстата, така вимога не є обов'язковою і може бути передбачено дублювання таких інструментів в інструментальних магазинах верстата.

Додатково необхідно приймати до уваги, що при розкріпленні заготовки та її подачі для виготовлення нової деталі буде виникати похибка розміщення осі внутрішнього отвору, для усунення якої може виникнути необхідність передбачати додатковий технологічний перехід розточування.

9. Поверхні з точним взаємним просторовим розташуванням найкраще обробляти за одну установку при незмінній загальній технологічній базі.

Зауваження. Якщо забезпечити задану точність взаємного розташування поверхонь при незмінній базі неможливо, то доцільно обробляти такі поверхні із застосуванням принципу взаємозамінності баз.

10. Оброблення складних поверхонь, наприклад нарізання нарізів, оброблення поверхонь методами поверхневого пластичного деформування, методами плосковершинного хонінгування, які вимагають спеціального налагодження верстату, доцільно виділяти в окремі операції.

Зауваження. Необхідно звернути увагу на те, що технологічні можливості верстатів з ЧПУ та сучасні конструкції інструментального забезпечення для нарізання нарізів практично не потребують спеціального налагодження верстату. Тому нарізання нарізів на верстатах з ЧПУ не викликає труднощів і проектується, як типовий технологічний перехід. Не викликає значних труднощів і оброблення складнопрофільних поверхонь таких, наприклад, як лопатки турбін при застосуванні спеціалізованих багатофункціональних верстатів з ЧПУ.

11. При завершальному обробленні точних відповідальних поверхонь на верстатах традиційної конструкції доцільно не передбачати зміну інструменту, оскільки зміна інструменту може потребувати коригування налагодження верстату.

Зауваження. Заміна сучасних конструкцій інструменту на верстатах з ЧПУ не потребує додаткового коригування налагодження верстату, а, враховуючи підвищену точність позиційних переміщень на таких верстатах, зміна інструменту не ускладнює процес оброблення. Разом з тим, період стійкості різального інструменту для завершального оброблення, повинен перевищувати основний час оброблення поверхні.

12. Кріпильні поверхні, які передбачені в конструкції заготовки, доцільно обробляти після завершального оброблення поверхні, в якій вони

виготовляються. Така послідовність виконання технологічних переходів забезпечить перпендикулярність осі кріпильного отвору до поверхні.

13. При обробленні певної кількості отворів однією наладкою на агрегатних верстатах, доцільно комплектувати наладку інструментами з близькими розмірами, що забезпечує підвищення продуктивності оброблення.

Зауваження. При визначенні режимів різання для певної інструментальної наладки, продуктивність оброблення буде обмежуватись найменшими розмірами інструменту, оскільки швидкість подачі наладки буде незмінною для всіх інструментів.

Недоцільно комплектувати інструментальну наладку різними видами осьових інструментів, наприклад, свердлами, зенкерами, розвертками, оскільки ефективні умови роботи кожного з таких інструментів суттєво відрізняються і, в першу чергу, оптимальними значеннями подач.

14. При проектуванні технологічних операцій оброблення на багатофункціональних верстатах доцільно планувати таку послідовність технологічних переходів, яка потребує кількості інструментів, що не перевищує ємність інструментального магазину верстату.

15. В умовах великосерійного виробництва для організації ефективного обслуговування робочих місць доцільно синхронізувати технологічні операції за часом їх виконання для створення вихідних умов автоматизації технологічного процесу.

16. Якщо в технологічному процесі передбачено операції термічного оброблення, то технологічний процес за завданнями, що вирішуються, розділяється на два етапи, до термічного оброблення та після термічного оброблення.

17. Фаски на поверхнях необхідно утворювати після завершального оброблення тих поверхонь, де необхідно їх обробляти.

18. Канавки, які переважно є технологічними, доцільно обробляти перед виконанням оброблення, яке вони забезпечують, наприклад, перед

шліфуванням поверхні, нарізанням нарізів, завершальним розточуванням внутрішніх отворів та інших.

19. А фаски та канавки, які формуються на поверхнях, що обробляються методами поверхневого пластичного деформування (ППД) виконуються після виконання переходу ППД.

20. В технологічних процесах необхідно передбачати операції контролю, які доцільно розміщувати між окремими етапами оброблення, перед виконанням особливо відповідальних операцій, а також після повного завершення виконання технологічного процесу.

Практичне використання таких рекомендацій визначає послідовність оброблення поверхонь заготовки практично всіх відомих класів деталей, яка повинна бути реалізована в технологічному процесі виготовлення заданої деталі. Така послідовність оброблення поверхонь не залежить від технологічних можливостей верстату і визначає їх практичну незмінність, незалежно від кваліфікації проектанта.

Розподіл спроектованої послідовності оброблення поверхонь заданої заготовки між етапами оброблення та технологічними операціями буде певним чином залежати від визначення технологічної бази для першої технологічної операції та технологічних можливостей наявного або вибраного верстатного обладнання для реалізації наступних етапів оброблення. Технологічні можливості верстата будуть визначати кількість операцій, які необхідні для реалізації спроектованого технологічного процесу. Застосування сучасних верстатів з ЧПУ та багатофункціональних верстатів на їх основі забезпечує реалізацію технологічного процесу за мінімальну кількість операцій, якщо вибраний або наявний верстат забезпечує реалізацію всіх видів оброблення різанням, які необхідні для оброблення поверхонь даної деталі. Практичну реалізацію наведеного алгоритму визначення послідовності оброблення поверхонь будемо розглядати на прикладі конструкції деталі «Вал-шестерня» при проектування технологічного процесу його виготовлення.

Питання для самостійної підготовки

1. Етапи оброблення заготовок в технологічних процесах виготовлення деталей машин
2. Технологічні завдання, що вирішуються на етапі чорнового оброблення
3. Технологічні завдання, що вирішуються на етапі чистового оброблення
4. Технологічні завдання, що вирішуються на етапі завершального оброблення
5. Основні технологічні рекомендації для визначення послідовності оброблення поверхонь заготовок в технологічних процесах
6. Яка загальна послідовність оброблення поверхонь валів?
7. Які завдання вирішує термічне оброблення, що реалізується після етапу чорнового оброблення ?

Розділ 3

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛІВ

Для формування практичних вмінь та здатностей проектування технологічних процесів механічного оброблення різанням для деталей різних класів доцільно вирішувати типові технологічні завдання в наступній послідовності:

- *Визначити службове призначення та умови роботи деталі у вузлу*
- *Виконати аналіз фізико-механічних характеристик конструкційних матеріалів, які використовуються для виготовлення заготовок валів та методів виготовлення заготовок*
- *Виконати аналіз характеристик якості, що встановлюються до робочих поверхонь валів*
- *Визначити технологічні бази, які ефективно застосовувати для різних операцій технологічного процесу*
- *Визначити типових послідовностей оброблення елементарних поверхонь валів, які можуть забезпечити досягнення заданих характеристик якості*
- *Спроекувати операційний технологічний процес оброблення валу заданої конструкції*

3.1 Конструктивні особливості валів

Вали за конструктивними ознаками представляють собою сукупність циліндричних, конічних, шліцьових, зубчастих, нарізів, шпонкових, отворів та плоских поверхонь, які об'єднані загальною віссю в єдине геометричне тіло.

Вали та осі складають біля (10-13)% відсотків у загальному обсязі виготовлення деталей машин. Конструкції валів відрізняються за своїм

службовим призначенням, конструктивними особливостями, габаритними розмірами, масою та конструкційними матеріалами. За основними конструктивними ознаками та формою поперечного перерізу вали поділяються (рис.3.1.):

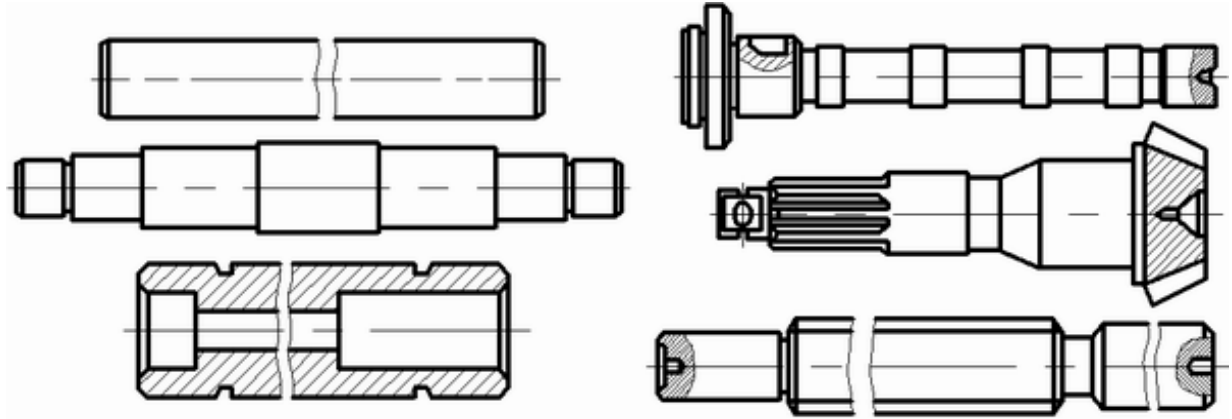


Рис.3.1. Конструктивні особливості валів

- на ступінчасті та безступеневі;
- суцільні та порожнисті;
- гладкі та шліцьові;
- вали з фланцями;
- вали з зубчастими поверхнями (вали-шестерні);
- вали комбінованої конструкції з різноманітними робочими поверхнями.

За формою геометричної осі вали поділяються на:

- прямі (рис.3.1);
- колінчасті (рис.3.2);
- кривошипні (рис.3.3);
- кулачкові, або ексцентрикові (рис.3.4).

За даними наукових досліджень експериментального науково-дослідного інституту металорізальних верстатів (ЭНИМС) встановлено, що 85% валів, які застосовуються у верстатобудуванні та різноманітних

конструкціях редукторів є ступінчасті вали загальною довжиною (150-1000)мм.

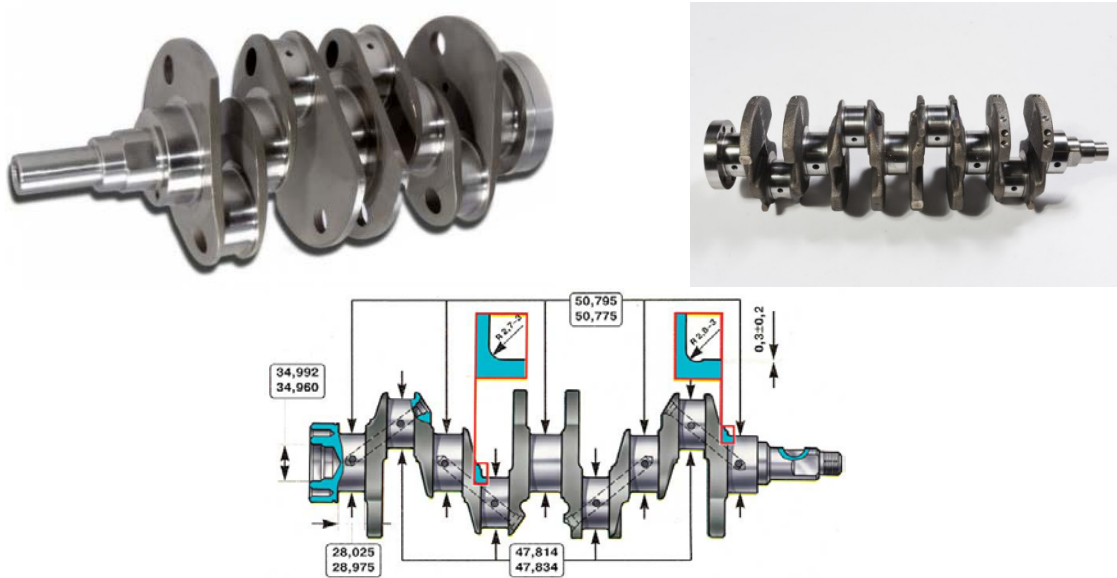


Рис.3.2. Конструктивні особливості колінчастих валів

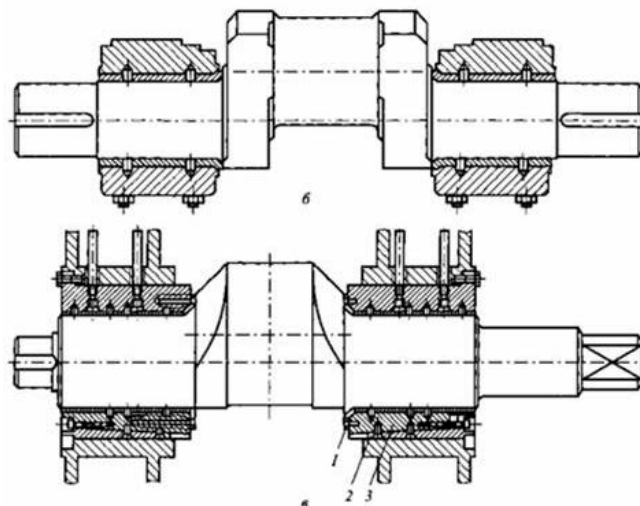


Рис.3.3. Конструктивні особливості кривошипних валів



Рис.3.4. Конструктивні особливості кулачкових валів

Оскільки характеристики якості робочих поверхонь валів формуються при реалізації технологічного процесу оброблення, а довговічність та надійність його роботи залежить від службового призначення та умов роботи, технологю необхідно сформулювати основні експлуатаційні характеристики робочих поверхонь деталі.

За службовим призначенням та за конструктивними особливостями вали застосовуються для передачі крутних моментів впродовж осі, для точного просторового розміщення кінематичних елементів (зубчастих коліс, копіїв, кулачків, шківів) та сприйняття навантажень, що діють на ці елементи. В залежності від службового призначення механізмів вали застосовуються в кінематичних та силових передачах.

З урахуванням службового призначення валів, умови їх роботи мають значні відмінності, а загальними умовами для них є сприйняття дії сил, моментів, за певних умов, ударних навантажень. В окремих конструкціях вузлів та механізмів функціонування поверхонь валів відбувається в умовах дії значних сил тертя при наявності значного забруднення та відсутності регулярного змащування.

За умов використання традиційних технологічних процесів виготовлення валів до їх конструктивних особливостей встановлюють такі вимоги конструктивної технологічності:

- співвісність зовнішніх та внутрішніх поверхонь валу та стабільність положення осі його обертання;
- в конструкціях ступінчастих валів доцільно передбачати невеликі перепади діаметрів її окремих елементів і бажано передбачати близьку або однакову величину таких перепадів на різних ділянках валу;
- для конструкцій шпонкових пазів та шліцьових поверхонь необхідно передбачати відкриті поверхні, які можуть бути оброблені більш продуктивним різальними інструментами;
- в конструкціях валів передбачати можливість виготовлення центрових отворів в крайніх торцевих поверхнях валу, які використовуються як

комплект загальних технологічних баз та забезпечують реалізацію технологічного процесу виготовлення валу, контролю параметрів якості та ремонту.

Застосування сучасних токарних верстатів з ЧПУ та багатофункціональних верстатів на їх основі забезпечують ефективно оброблення різноманітних поверхонь валів без технологічних обмежень, тому при проектуванні технологічних процесів їх виготовлення аналіз технологічності конструкції не виконується. Вали використовуються в конструкціях механічних коробок передач автомобілів, тракторів, верстатів у конструкціях різноманітних редукторів (рис.3.5, рис.3.6 та рис.3.7),:

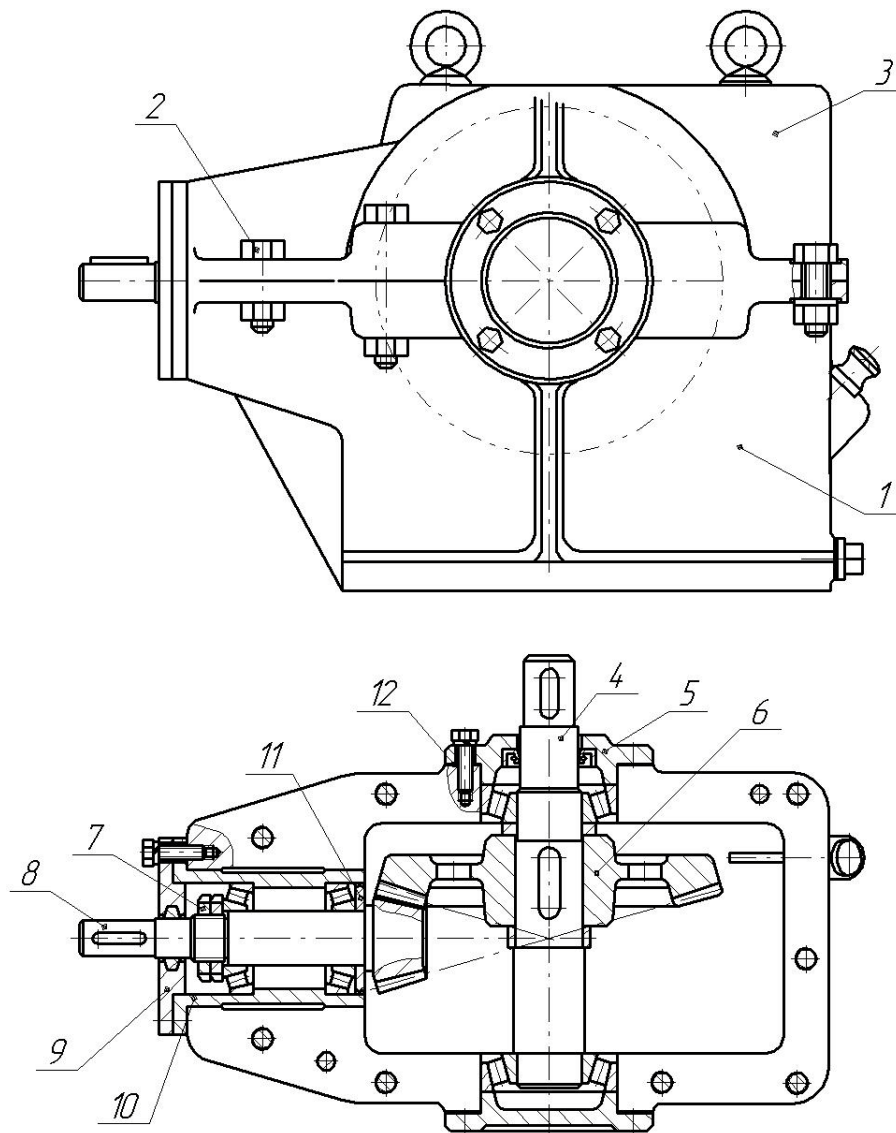


Рис.3.5. Застосування валів у одноступінчастих редукторах

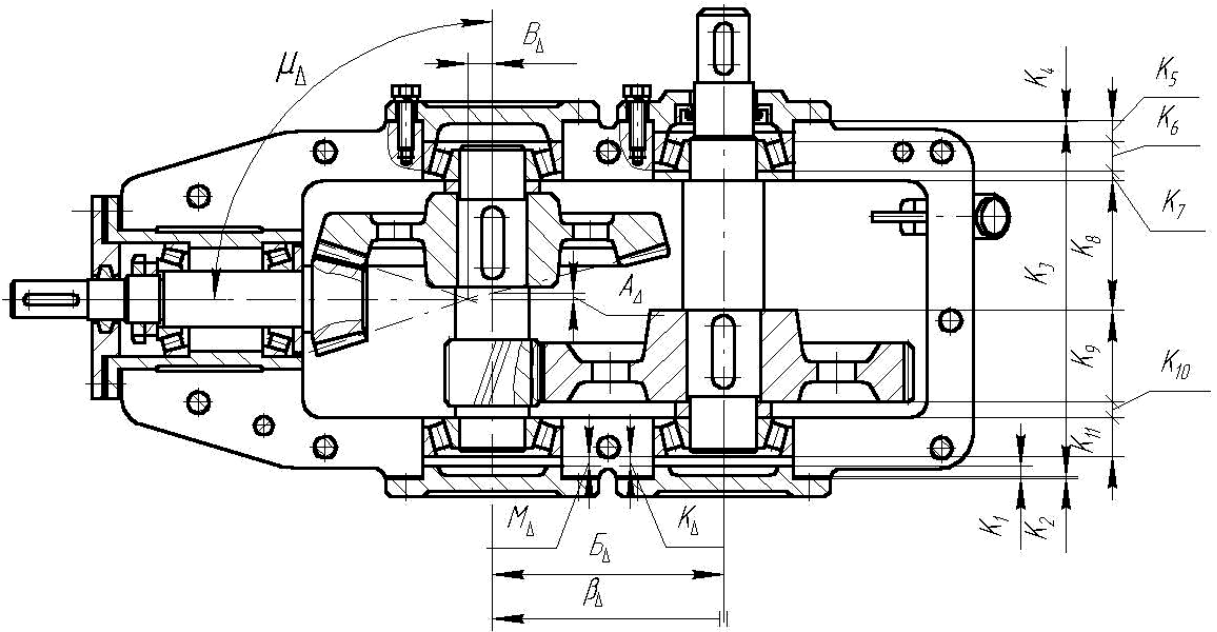


Рис.3.6. Застосування валів у багатоступінчастих редукторах

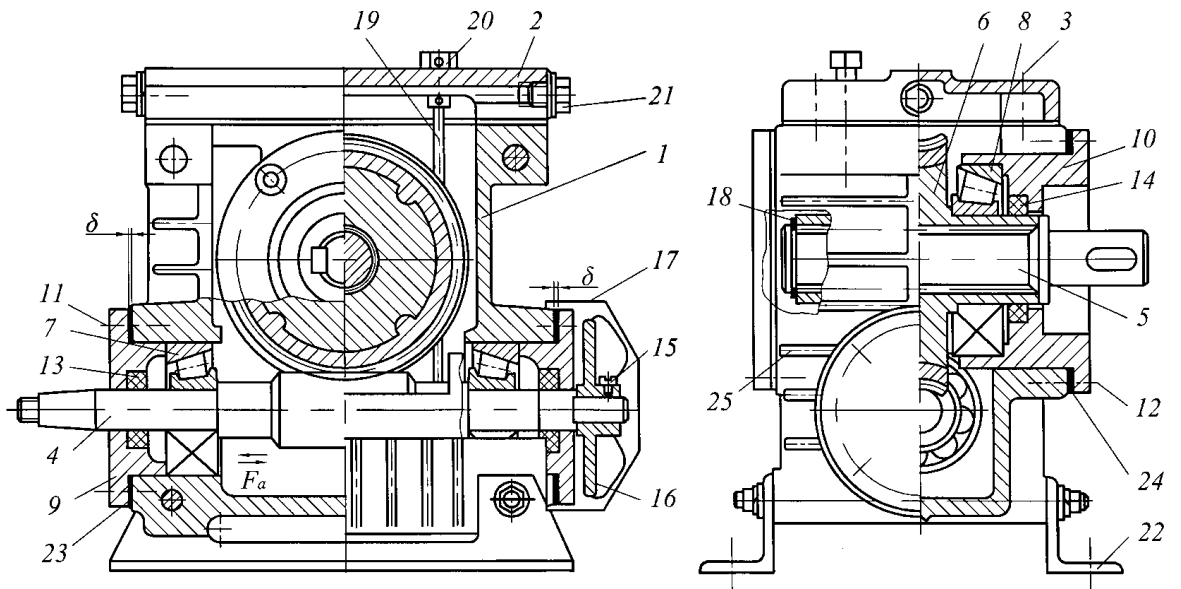


Рис.3.7. Застосування валів у черв`ячних редукторах

В залежності від службового призначення та умов роботи валів встановлюються вимоги до характеристик якості поверхонь, які можуть забезпечувати задані експлуатаційні характеристики якості робочих поверхонь валів. У табл.3.1 наведена певна відповідність характеристик якості робочих поверхонь, які мають переважний вплив на забезпечення основних експлуатаційних характеристик валів. Експлуатаційні характеристики робочих поверхонь валів забезпечуються певними його конструктивними параметрами, обґрунтованим вибором характеристик конструкційного

матеріалу для його виготовлення, технологічним процесом виготовлення та характеристиками якості робочих поверхонь, які можуть формуватися включенням в технологічні процеси механічного оброблення операцій термічного оброблення.

Таблиця 3.1- Узагальнені експлуатаційні характеристики валів та їх зв'язок із характеристиками якості робочих поверхонь

$\sum_{i=1}^n EX_i \Rightarrow$	<i>Експлуатаційні характеристики</i>		<i>Характеристики якості</i>	
	<i>міцність</i>	$\sum_{i=1}^n XY_i \Rightarrow$	<i>характеристики матеріалу</i>	
	<i>жорсткість</i>		<i>конструктивні особливості валу</i>	
	<i>зносостійкість</i>		<i>твердість поверхневого шару робочих поверхонь</i>	
	<i>вібростійкість</i>		<i>параметри шорсткості робочих поверхонь</i>	
	<i>відсутність в конструкції значних концентраторів напружень</i>		<i>сприйняття термічних операцій</i>	

Характеристики жорсткості конструкцій валів традиційно встановлюють за співвідношенням довжини валу до його найменшого діаметру. Якщо таке співвідношення складає $l/d = (5 - 10)$, то такі конструкції валів вважаються жорсткими, при $l/d = (10 - 15)$ – середньої жорсткості і при $l/d \geq 15$ – конструкції валів малої жорсткості. Визначення характеристик жорсткості оброблюваних валів необхідно для визначення ефективних умов подальшого оброблення та залучення до операцій оброблення додаткових верстатних пристроїв-люнетів.

У конструкціях порожнистих валів внутрішній отвір діаметром $d_{\text{вн}} \leq 0,2 \cdot d_{\text{зн}}$ зовнішнього практично не знижує міцність та жорсткість валу. Навіть за умови $d_{\text{вн}} \leq 0,6 \cdot d_{\text{зн}}$ міцність та жорсткість валу знижується не суттєво, а маса валу знижується майже на 40%. Характеристики жорсткості конструкції валу необхідно приймати до уваги, оскільки вони впливають на виконання технологічних переходів і вимагають застосування спеціальних пристроїв для їх ефективною реалізації.

3.2 Основні конструкційні матеріали та методи виготовлення заготовок валів

Структура технологічного процесу виготовлення валів буде залежати від конструктивних особливостей валу, вимог до характеристик якості його робочих поверхонь, виду та методу виготовлення заготовки, необхідності застосування термічних операцій та техніко-організаційних виробничих умов, для яких виконується технологічне підготування виробництва.

В залежності від службового призначення та умов їх роботи для виготовлення заготовок валів використовуються наступні конструкційні матеріали:

- вуглецеві якісні конструкційні сталі: Сталь 20, 35, 40, 45, фізико-механічні характеристики яких визначає міждержавний стандарт ГОСТ1050-2013 (табл.3.2);
- леговані конструкційні сталі: Сталь 20Х, 40Х, 12ХН3А, 18ХГТ, 38ХНМА, фізико-механічні характеристики яких визначає міждержавний стандарт ГОСТ 4543-2016 (табл. 3.3);
- а окремі конструкції великогабаритних тихохідних валів, колінчастих валів можуть виготовлятися з високоміцних чавунів, які за фізико-механічними характеристиками є близькими до ливарних сталей (ГОСТ 7293-85), а їх легування хромом, кремнієм, алюмінієм, марганцем та нікелем дозволяє отримати необхідні експлуатаційні властивості матеріалу, а саме: жаростійкість, жароміцність, зносостійкість, корозійну стійкість та отримати не магнітність, що забезпечує їх ефективну роботу в специфічних умовах експлуатації (ГОСТ 7769-82).

В табл. 3.2 наведено фізико-механічні характеристики вуглецевих якісних конструкційних гарячекатаних та кованих сортових сталей розміром (діаметр або товщина) до 250мм.

Таблиця 3.2-Механічні властивості вуглецевої якісної сталі (ГОСТ1050-2013)

Марка сталі	Границя текучості, σ_m , Н/мм ² (кгс/мм ²)	Тимчасовий опір розриву, σ_{ϵ} , Н/мм ² (кгс/мм ²)	Відносне подовження, δ ,%	Відносне звуження, ψ ,%
08	196(20)	324(33)	33	60
10	205(21)	333(34)	31	55
15	225(23)	373(38)	27	55
20	245(25)	412(42)	25	55
25	275(28)	451(46)	23	50
30	295(30)	490(50)	21	50
35	315(32)	530(54)	20	45
40	335(34)	570(58)	19	45
45	355(36)	599(61)	16	40
50	375(38)	628(64)	14	40
55	380(39)	648(66)	13	35
58(55пп)	315(32)	599(61)	12	28
60	400(41)	677(69)	12	35

- Зауваження. Масова частка сірки у цих сталях повинна бути не більше 0,040 %, фосфору - не більше 0,035 %.

Для виготовлення заготовок валів, які повинні сприймати значні знакозмінні та ударні навантаження застосовують леговані конструкційні сталі, фізико-механічні властивості яких наведено в табл.3.3.

Таблиця 3.3-Механічні властивості каліброваного прокату з легованих сталей (ГОСТ4543-2016)

Марка сталі	Границя текучості, σ_m , Н/мм ² (кгс/мм ²)	Тимчасовий опір, σ_{ϵ} , Н/мм ² (кгс/мм ²)	Відносне подовження, δ , %	Відносне звуження, ψ , %	Ударна в'язкість, a , ДЖС/см ²	Розмір перетину заготовки (d кола), мм
15X	490(50)	609(70)	12	45	69	15
20X	635(65)	788(80)	11	40	59	15
30X	685(70)	880(90)	12	45	69	25
35X	735(75)	910(93)	11	45	69	25
38XA	785(880)	930(95)	12	50	88	25
40X	785(80)	980(100)	10	45	59	25
45X	835(85)	1030(105)	9	45	49	25
50Г	390(40)	650(66)	13	40	39	25
12ХН	440(45)	640(65)	10	-	88	-
20ХН	509(60)	780(80)	14	50	78	15
40ХН	785(80)	980(100)	11	45	69	25
14ХГН	835(85)	1080(110)	8	-	78	-
19ХГН	930(95)	1180-1570 (120-160)	7	9	69	-
20ХГНМ	930(95)	1180-1570 (120-160)	7	-	59	-
30ХМ	735(75)	930(95)	11	45	78	15

В табл. 3.4 наведено фізико-механічні характеристики високоміцних чавунів.

Таблиця 3.4-Механічні властивості високоміцних чавунів (ГОСТ 7293-85)

Чавун	Тимчасовий опір при розтягу σ_s , МПа	Відносне видовження при розриві, δ , %	Твердість по Бринеллю, НВ·10 ⁻¹ , МПа
	не менше		
ВЧ35	350	22	140-170
ВЧ40	400	15	140-202
ВЧ45	450	10	140-225
ВЧ50	500	7	153-245
ВЧ60	600	3	192-277
ВЧ70	700	2	228-302
ВЧ80	800	2	248-351
ВЧ100	1000	2	270-360

Високоміцні чавуни мають високі експлуатаційні та технологічні характеристики, що обумовлює розширення їх застосування для виготовлення заготовок деталей машин. З цих матеріалів виготовляють заготовки колінчастих валів, картери двигунів, маточини коліс, станини верстатів, супорти верстатів, корпуси задніх бабок, великогабаритні зубчасті колеса. Аналіз тенденцій застосування високоміцних чавунів в машинобудівному виробництві свідчить про те, що вони значним чином витісняють заготовки з сірих та ковких чавунів, сталей для лиття, сталевих поковок та зварних конструкцій. А з урахуванням його технологічних переваг у порівнянні з литими заготовками зі сталей, ці матеріали мають значні перспективи розширення їх застосування в машинобудівному виробництві.

3.3 Проектування заготовок для валів

Хімічний склад та фізико-механічні властивості конструкційних матеріалів будуть визначати методи виготовлення заготовок та зміст операцій термічного оброблення. Найчастіше заготовки валів виготовляються об'ємним деформуванням. Заготовки валів можуть виготовлятися зі стандартного

гарячекатаного або холоднотягнутого прокату, вільним куванням, штампуванням, ротаційним обтисненням та періодичним прокатуванням. Вибір виду та методу виготовлення заготовок буде залежати від техніко-економічних умов виробництва та, певним чином, від вимог якості структури заготовки. Заготовки валів з чавунів виготовляють литтям.

При виготовленні заготовок валів з гарячекатаного прокату необхідно контролювати жолоблення прутків, які поступають на виробництво, оскільки виникнення жолоблення вимагає збільшення припусків для його компенсації та створює несприятливі умови оброблення на чорнових етапах оброблення, як для верстату так і різальних інструментів, оскільки можуть створюватись умови крихкого руйнування різальної частини інструментів. Технологічні процеси виготовлення гарячекатаних прутків обмежують величину жолоблення, але в процесі транспортування, розвантаження можуть виникати відхилення, які вимагають попередньої правки вихідних заготовок.

При виготовленні заготовок з гарячекатаних прутків величина жолоблення перед початком оброблення повинна знаходитися в межах $\varepsilon_{кр} = (0,17 - 0,25) \cdot 2Z_{отax}$. Допустима величина жолоблення встановлюється, як частка найбільшого припуску на оброблення. За умов перевищення допустимих величин, необхідно застосувати попередню правку заготовок. На машинобудівних підприємствах переважно використовується холодна правка вигином, а при великих відхиленнях можуть додатково використовувати місцеве нагрівання. Найбільш поширеними методами холодної правки є:

- ручна правка;
- правка на пресах;
- правка на спеціальних правильних машинах;
- правка на правильно-відрізних верстатах;
- правка на правильно-калібрувальних верстатах.

Ручна правка має низьку продуктивність і застосовується в умовах одиничного та малосерійного виробництва. Правку виконують на спеціальних правильних плитах з використанням ручних ударів молотками безпосередньо по місцях жолоблення. Точність такої правки складає (2,0-3,0)мм і потребує значних фізичних навантажень робітника.

Для ручної правки заготовок, в яких попередньо виготовлені центрові отвори, застосовують спеціальні струбцини, важелі, домкрати та спеціальні навантажувальні засоби, що забезпечує досягнення достатньо високої точності правки $\varepsilon_{\text{пр}} = (0,1 - 0,3)\text{мм/пог.м}$.

Для правки заготовок діаметром $\varnothing \leq 30$ застосовують ручні гвинтові преси. Правка з застосуванням таких засобів забезпечує більш високу точність $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,15\text{мм/пог.м}$ та значно зменшує фізичні навантаження на робітника. Для виконання правки можуть використовуватися пневматичні та гідравлічні преси. Заготовки діаметром $30 < \varnothing \leq 50$ переважно правлять на пневматичних пресах. Діаметром $50 < \varnothing \leq 100$ правлять на механічних пресах і діаметром $100 < \varnothing \leq 150$ на гідравлічних пресах. Точність правки з застосуванням таких пресів не перевищує точність правки на ручних пресах.

Правка на верстатах правильно-відрізних та правильно калібрувальних використовується для прокату, який поставляється в мотках діаметром $\varnothing(0,25-6,0)\text{мм}$. Залишкове жолоблення на правильно-відрізних верстатах складає $\varepsilon_{\text{пр}} = (0,5 - 0,7)\text{мм/пог.м}$, а на правильно-калібрувальних $\varepsilon_{\text{пр}} = (0,5 - 0,9)\text{мм/пог.м}$

Для розрізання прокату на штучні заготовки застосовують:

- розрізання дисковими пилами на фрезерно-відрізних верстатах;
- розрізання на приводних ножівках;
- розрізання стрічковими пилами;
- розрізання пилками тертя;
- розрізання відрізними різцями;
- розрізання абразивними кругами;

- газове (кисневе) вирізання заготовок.

Розрізання дисковими пилами на фрезерно-відрізних верстатах практично не має обмежень за розмірами і застосовується для розрізання прокату $\varnothing \leq 500$ мм. Такий метод розрізання забезпечує високу якість поверхні, точність розмірів та точність просторового розташування торцевої поверхні до осі, є універсальним та достатньо продуктивним. В якості різального інструменту застосовуються дискові фрези $\varnothing(350-2000)$ мм в залежності від розміру прокату, що розрізається та шириною $h=(4,0-14,5)$ мм.

Розрізання на приводних ножівках застосовується в одиничному та малосерійному виробництві для заготовок круглого та профільного прокату в діапазоні розмірів до $\varnothing(250-300)$ мм. Головний недолік такого методу розрізання є недостатня продуктивність, але виконується з малою шириною розрізання $h=(1,0-3,5)$ мм та мала величина перекосу торцевої поверхні відносно осі і складає $\varepsilon_{\text{пер}} = (2,0 - 2,5)$ мм/100мм діаметру та параметри шорсткості поверхні $R_a = (20-40)$ мкм. Для підвищення продуктивності розрізання застосовують закріплення в лещатах пакету оброблюваних прутків.

Розрізання стрічковими пилами застосовують для розрізання заготовок з вуглецевих сталей, кольорових сплавів та пластмас діаметром $\varnothing \leq 250$ мм. Стрічкове розрізання забезпечує достатню продуктивність, здійснюється з малою шириною розрізання $h=(0,8-1,5)$ мм та високу якість поверхні розрізання $R_a = (15-30)$ мкм. Недоліком такого методу розрізання є низька стійкість стрічкової пили та висока її вартість.

Розрізання пилами тертя здійснюється за допомогою спеціальних дисків або стрічки, яка рухається відносно поверхні розрізання з лінійною швидкістю $V = (100 - 120)$ м/с і за рахунок теплоти, яка утворюється в зоні тертя, розплавляє шар матеріалу в зоні контакту. Цей метод розрізання практично не має обмежень за характеристиками матеріалу, має високу продуктивність, але якість прилеглої поверхні погіршується утворенням напливів, які потребують подальшого оброблення та створення технологічних умов загартування

прилеглої поверхні, що є проблемою подальшого лезового оброблення таких поверхонь. Такі недоліки розрізання заготовок обумовлюють значні обмеження на його практичне застосування.

Розрізання відрізними різцями є найбільш універсальним та поширеним видом підготовки заготовок, оскільки забезпечується висока точність лінійних розмірів, якість обробленої поверхні і не потребує спеціальних верстатів. До недоліків такого методу розрізання є достатньо велику ширину розрізання, низьку стійкість різальних інструментів, що обумовлює зростання вартості розрізання. При застосуванні такого методу розрізання в умовах великосерійного виробництва використовують спеціалізовані токарно-відрізнні верстати.

Розрізання абразивними кругами доцільно розглядати, як спеціалізований вид виготовлення заготовок з матеріалів підвищеної твердості та термічно оброблених матеріалів діаметром $\varnothing \leq 50$ мм. Такий метод розрізання має високу продуктивність, формує поверхню з малими параметрами шорсткості поверхні та точними лінійними розмірами. Для абразивного розрізання використовують абразивні круги діаметрами $\varnothing(80-500)$ мм, висотою круга $h=(0,5-4,0)$ мм на вулканітовій або бакелітовій зв'язці. Для розрізання заготовок з твердих сплавів та кераміки використовують алмазні круги діаметрами $\varnothing(50-320)$ мм та товщиною $h=(0,15-2,0)$ мм.

Газове (кисневе) вирізання використовується для підготовки заготовок складної форми з стандартного листового прокату, плит та інших профільних універсальних заготовок.

В технологічних процесах до механічного оброблення для всіх заготовок валів, які виготовляються пластичним деформуванням та нагріванням, доцільно передбачати операцію правки, а для особливо відповідальних конструкцій валів додатково може передбачатись операція термічного оброблення.

3.4 Основні технічні характеристики робочих поверхонь валів

Конструктивні особливості валів та вимоги до характеристик якості робочих поверхонь визначаються їх службовим призначенням та умовами роботи. Разом з тим, можна сформувані узагальнені вимоги до характеристик якості робочих поверхонь валів, які дають змогу сформувані бібліотеку типових послідовностей оброблення обробних поверхонь, які повинні служити початковими модулями проектування змісту технологічних операцій. Основні характеристики якості робочих поверхонь валів знаходяться в наступних діапазонах:

- точність розмірів основних конструкторських баз (ОКБ), якими є поверхні для встановлення підшипників, повинна складати ІТ6-ІТ8, параметри шорсткості поверхні $R_a=(0,32-1,25)$, допуск форми поверхонь в поперечному перерізі встановлюється в діапазоні $\Delta_\phi \leq (0,5...0,2)Td$;
- точність розмірів допоміжних конструкторських баз (ДКБ), якими є поверхні для встановлення зубчастих коліс, шківів та інших деталей, що встановлюються на поверхнях валу, повинна складати ІТ7-ІТ9, параметри шорсткості поверхні $R_a=0,63-1,25$, допуск форми поверхонь в поперечному перерізі встановлюється в діапазоні $\Delta_\phi \leq (0,5...0,2)Td$;
- допуск радіального биття поверхонь, які є допоміжними технологічними базами і призначені для розміщення зубчастих коліс, шківів відносно поверхонь основних конструкторських баз не повинен перевищувати $\Delta \leq (0,25...0,5)Td$;
- допуск співвісності поверхонь основних конструкторських баз, якими є поверхні на яких розміщуються підшипники, не перевищує $(0,01...0,02)$ мм;
- допуск торцевого биття поверхонь, на яких розміщуються зубчасті колеса, відносно поверхонь основних конструкторських баз не повинен перевищувати $(0,01...0,03)$ мм;

- допуск симетричності бокових сторін шліцьових поверхонь, шпонкових пазів відносно загальної осі поверхонь основних конструкторських баз складає (0,03...0,05)мм.

В певних конструкціях валів, з урахуванням їх службового призначення, можуть встановлюватись додаткові вимоги до характеристик якості робочих поверхонь, наприклад, вимоги до співвісності різьбових поверхонь відносно поверхонь основних конструкторських баз, допуск перпендикулярності прилеглих торцевих поверхонь до осі поверхонь ОКБ, вимоги до твердості зубчастих поверхонь після термічного оброблення та інші. При виготовленні деталей, які призначені для використання в літальних апаратах, можуть встановлюватись вимоги до величини, знаку та глибини залягання залишкових напружень в поверхневому шарі робочих поверхонь.

Вимоги до характеристик якості робочих поверхонь валів будуть визначати загальну структуру технологічного процесу оброблення. За алгоритмом проектування технологічних процесів оброблення валів необхідно обґрунтувати вибір технологічних баз.

3.5 Визначення технологічних баз для процесу оброблення валів

Обґрунтування вибору технологічних баз для оброблення валів необхідно здійснювати у відповідності до узагальненого алгоритму, який передбачає реалізацію двох послідовних етапів;

- визначення загальних технологічних баз;
- визначення технологічних баз для перших операцій.

3.5.1 Визначення загальних технологічних баз

Загальними технологічними базами (ЗТБ) будемо називати комплект технологічних баз – оброблених поверхонь, які використовуються для

виконання всіх, або певної частини, операцій технологічного процесу оброблення заготовки

У відповідності до алгоритму обґрунтування вибору загальних технологічних баз необхідно виконати класифікацію поверхонь валу за службовим призначенням. Для виконання класифікації поверхонь використовується робочий кресленик валу. Конструкцію будь-якої деталі можна представити сукупністю чотирьох видів поверхонь, а саме:

- основних конструкторських баз;
- допоміжних конструкторських баз;
- кріпильних поверхонь;
- вільних поверхонь.

Основними конструкторськими базами деталей машин є поверхні, які визначають положення даної деталі в складальній одиниці або вузлу.

Для однозначного визначення основних конструкторських баз (ОКБ) будь-якої деталі доцільно аналізувати складальні кресленики вузлів, куди входить дана деталь. Характерним для конструкцій валів є те, що в процесі роботи вони здійснюють обертальні рухи, які забезпечуються установкою валів на підшипники. Приклади компоновки валів в складальних одиницях наведено на рис.3.8 та рис.3.9.

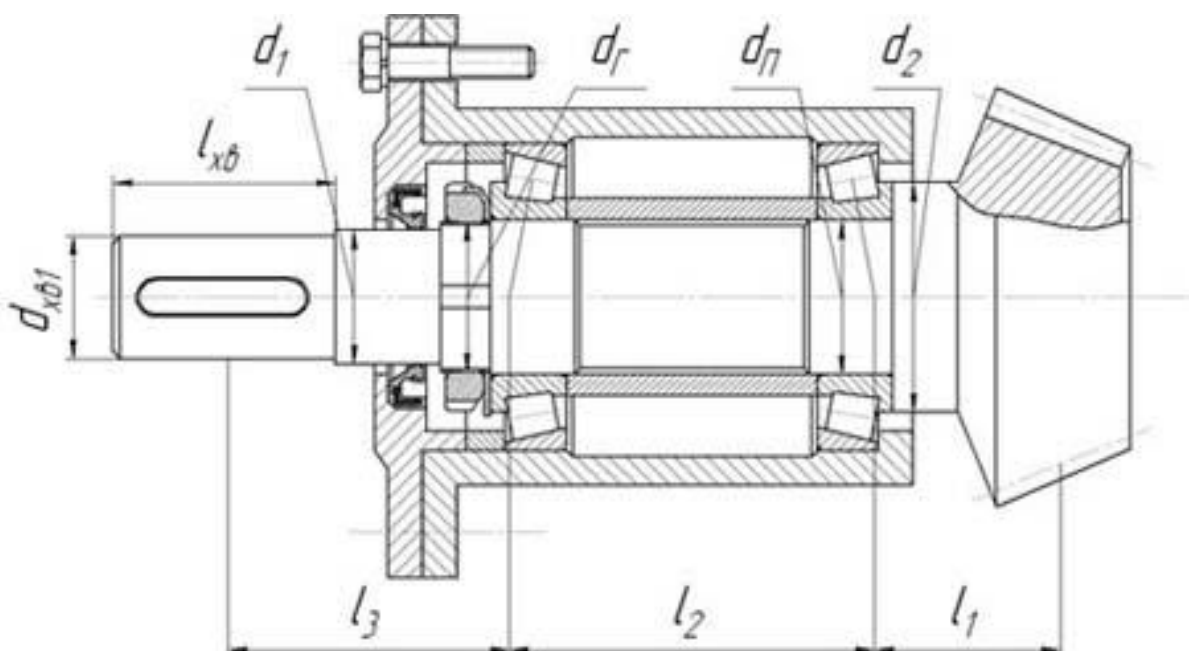


Рис.3.8. Приклад компоновки валу в складальній одиниці

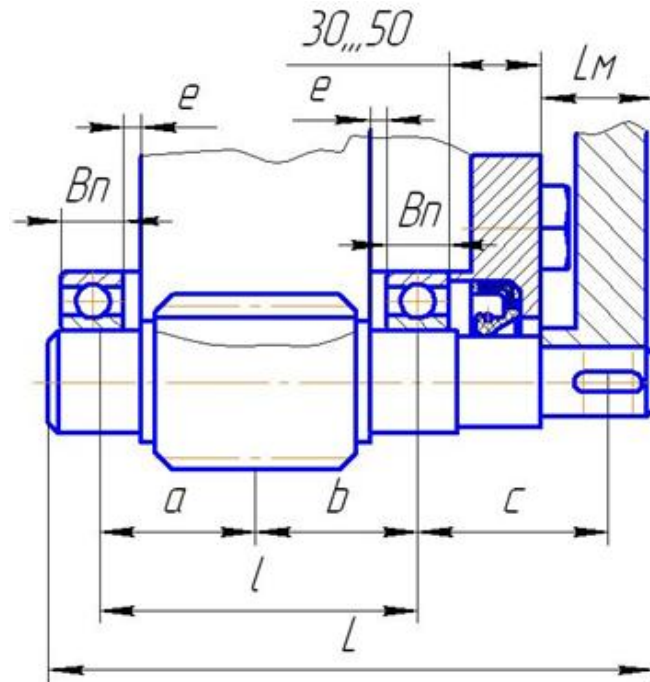


Рис.3.9. Приклад компоновки валу в складальній одиниці

З аналізу типових компонок валів визначаємо, що основними конструкторськими базами валів є поверхні для встановлення підшипників та одна з прилеглих до них торцева поверхня. Базову торцеву поверхню необхідно визначити за аналізом складального кресленика вузла з урахуванням вимог до службового призначення та схеми установки вала.

Поверхнями допоміжних конструкторських баз (ДКБ) валів є поверхні для встановлення зубчастих коліс, шківів, з'єднувальних муфт та інших приєднаних до валу деталей. Характерною особливістю технологічних процесів оброблення валів є необхідність оброблення всіх його поверхонь для забезпечення характеристик якості, які встановлені робочим креслеником.

Кріпильними поверхнями валів є поверхні з нарізами, які забезпечують фіксацію положення деталей, що приєднуються.

Вільними поверхнями валів є обробні поверхні, які не спряжені з іншими поверхнями, але забезпечують формування конструкції валу, як єдиного геометричного тіла. Для формування практичних вмінь та здатностей проектування технологічних процесів всі поверхні вала доцільно нумерувати порядковими номерами з урахуванням їх належності до певної

класифікаційної групи, а саме: поверхні ОКБ-О1; О2 та О3; поверхні ДКБ-Д1, Д2,...ДN; кріпильні поверхні К-К1, К2, ...KN та вільні поверхні В- В1, В2,...ВN. Приклад класифікації поверхонь валу за службовим призначенням наведено на рис.3.10.

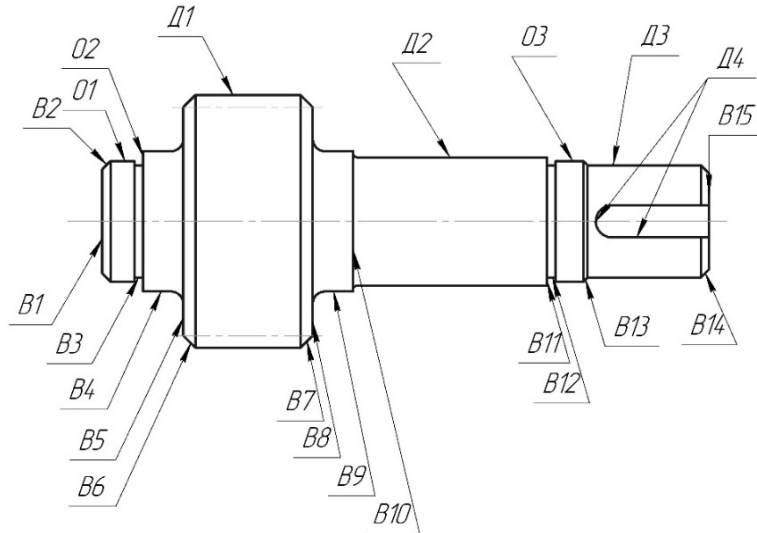


Рис.3.10. Класифікація поверхонь деталі «Вал-шестерня» за службовим призначенням

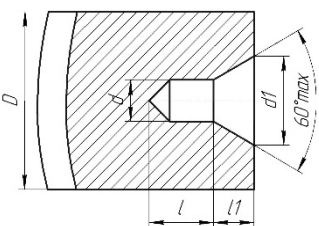
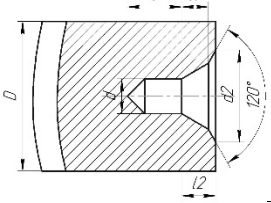
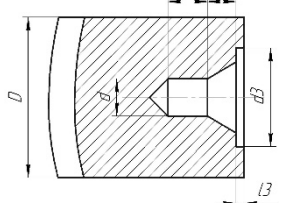
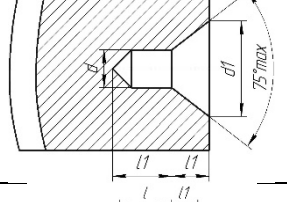
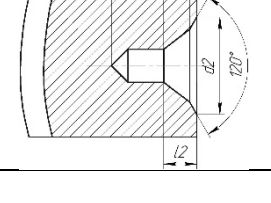
Після виконання класифікації поверхонь валу за службовим призначенням необхідно перевірити можливість використання поверхонь ОКБ в якості загальних технологічних баз (ЗТБ) $ОКБ \Rightarrow ЗТБ$ в технологічному процесі. Суміщення конструкторських баз з технологічними базами буде забезпечувати найменшу похибку просторового розташування робочих поверхонь валу.

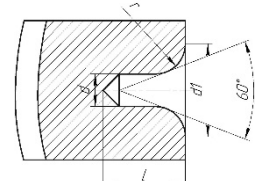
Практичний досвід машинобудівного виробництва свідчить про неможливість використання поверхонь ОКБ в якості загальних технологічних баз при виконанні більшості технологічних операцій оброблення поверхонь валів ($ОКБ \Rightarrow ЗТБ \Rightarrow$ неможливо). За такої умови необхідно створити допоміжну технологічну базу (ДТБ), якою може бути певна сукупність поверхонь, які існують в конструкції деталі, або утворити новий комплект базових поверхонь, який практично не змінює експлуатаційні характеристики деталі і може виконувати завдання загальних технологічних баз ($ДТБ \Rightarrow ЗТБ$).

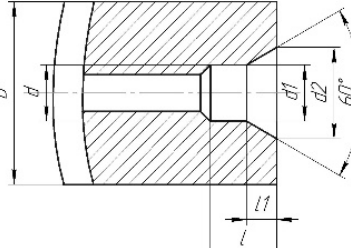
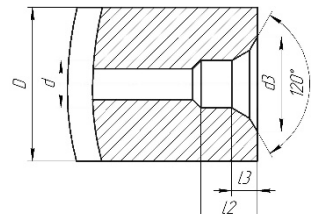
Для технологічних операцій оброблення валів використовують конічні поверхні центрових отворів, які можуть бути використані для базування при

обробленні практично всіх можливих поверхонь, що можуть мати конструкції валів. Розмірні параметри центрових отворів та їх форми стандартизовані ГОСТ 14034-74, а їх розміри для конкретної деталі визначаються діаметральним розміром поверхні валу, в якій вони виготовляються. Геометрична форма отвору буде визначатись умовами експлуатації та службовим призначенням валу. Найбільш поширені конструкції центрових отворів та рекомендовані області їх ефективного застосування наведено в табл.3.5.

Таблиця 3.5-Ескізи центрових отворів та області їх застосування ГОСТ14034-74

Ескіз центрального отвору	Форма	Область застосування
	А	Застосовується у виробках, після оброблення яких необхідність в центрових отворах відпадає. Застосовується у виробках, при виготовленні яких передбачається термічне оброблення, яке гарантує збереження центрових отворів в процесі експлуатації виробу
	В	Застосовується у виробках, в яких центрові отвори є технологічною базою для багаторазового використання, а також в випадках, коли центрові отвори зберігаються в готовому виробі
	Т	Застосовується для оправок та калібрів-пробок
	С	Застосовується для валів великих розмірів та маси (призначення аналогічне формі А)
	Е	Застосовується для валів великих розмірів та маси (призначення аналогічне формі В)

	R	Застосовується для оброблення виробів високої точності
---	---	--

Продовження табл.3.5		
	F	Застосовується у валах при необхідності їх закріплення по центру вниз для монтажних робіт, транспортування, зберігання та термічного оброблення у вертикальному положенні
	H	

Центрові отвори форми А, В, Т, С, Е, R формуються в крайніх торцевих поверхнях валу за один робочий хід центрувальними свердлами відповідної форми. Приклади конструкцій центрувальних свердел наведено на рис.3.11.

Найчастіше центрові отвори залишаються в конструкції валу після його виготовлення, що можна в подальшому використовувати для ремонту та відновлення робочих поверхонь складних високовартісних валів. Необхідно приймати до уваги, що в певних конструкціях валів конструктор може забороняти залишати центрові отвори після завершення технологічного процесу виготовлення. За таких умов після завершення виготовлення валу в технологічному процесі передбачається операція їх видалення, а для їх формування на початку технологічного процесу загальну довжину заготовки необхідно збільшити на дві довжини центрових отворів.

Після визначення поверхонь деталі, які можуть використовуватись для базування по загальних технологічних базах, необхідно спроектувати теоретичну схему базування, виконати її аналіз з точки зору забезпечення якості оброблення передбачених поверхонь та проаналізувати можливі її

конструктивні реалізації. Для цього необхідно користуватись стандартними позначеннями схеми базування, які встановлює стандарт ГОСТ 21495-76.

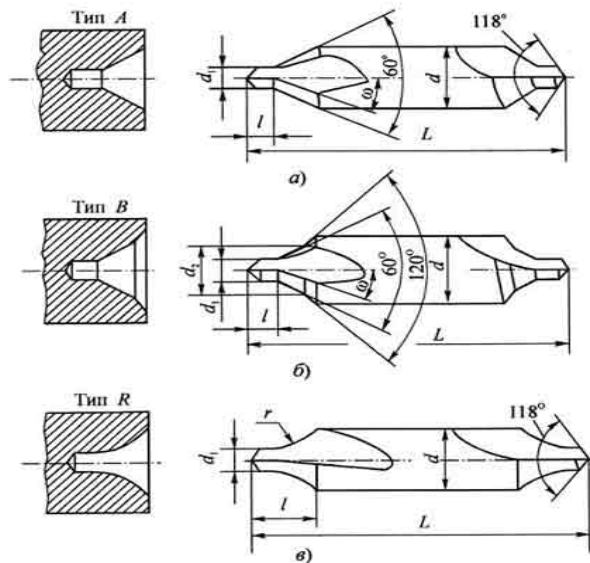


Рис.3.11. Приклади конструкцій центрвальних свердел для оброблення центрових отворів

Схема базування передбачає певне розміщення опорних точок на поверхнях заготовки, які визначають комплект технологічних баз. Опорна точка є реальною точкою, яка символізує один із зав'язків заготовки з вибраною системою координат верстатного пристрою. Комплект баз представляє сукупність трьох баз, які створюють систему координат заготовки в процесі її виготовлення. При проектуванні схеми базування необхідно приймати до уваги наступні рекомендації:

- всі опорні точки на схемі базування необхідно представляти умовними позначеннями (рис.3.12) та нумерувати порядковими номерами, починаючи з базової поверхні, на якій розміщується найбільша кількість опорних точок (установочної $У(3) \Rightarrow 1,2,3$; або подвійної напрямної бази $ПН(4) \Rightarrow 1,2,3,4$);
- при накладанні в якій-небудь проекції однієї опорної точки на іншу, необхідно проставляти умовний знак однієї бази, але біля неї проставляти через кому номери опорних точок, які співпадають;

- кількість проєкцій заготовки на схемі базування повинна бути достатньою для чіткого представлення розміщення опорних точок, що особливо важливо для складних конструкцій корпусних деталей, важелів, оскільки їх просторове розміщення є вихідною основою для подальшого проєктування верстатних пристроїв.

У відповідності до стандарту ГОСТ 21495-76 для позначення схеми базування необхідно використовувати стандартні зображення опорних точок (рис.3.12).

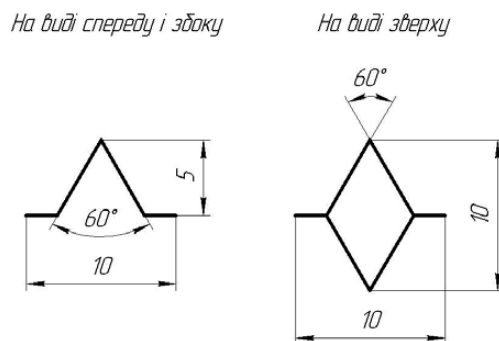


Рис. 3.12. Умовні позначення опорних точок на схемах базування

При проєктуванні теоретичних схем базування, найчастіше, достатньо наводити головний вид та вид зверху, але при значній складності конструкції деталі, наприклад корпусних деталей, доцільно наводити додаткові види. Теоретичну схему базування валу із застосуванням загальних технологічних баз (центрових отворів) наведено на рис.3.13.

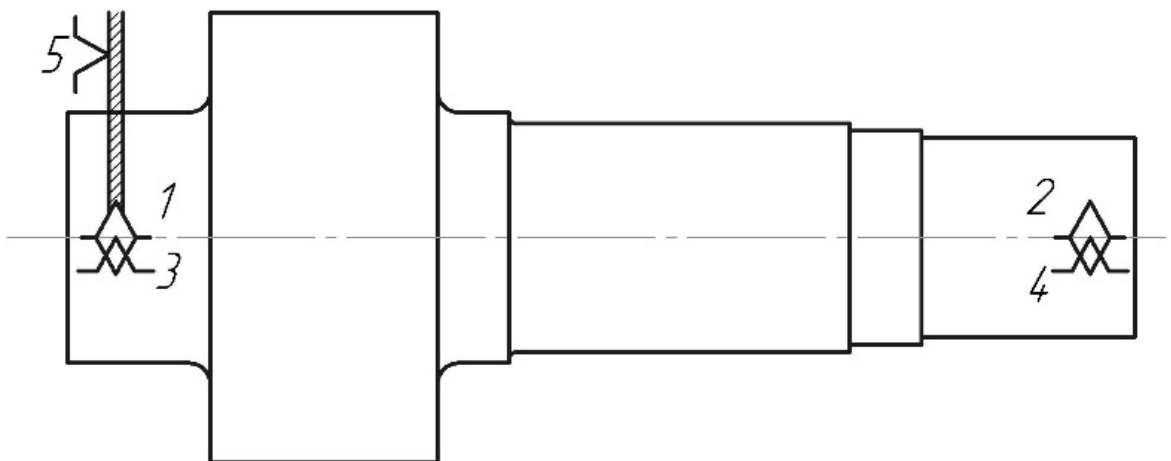


Рис.3.13. Схема базування валу по загальній технологічній базі

Всі схеми базування доцільно представляти у вигляді структурної формули, яка включає умовні позначення базових поверхонь. Для цього використовується загальна класифікація базових поверхонь за ступенями вільності (ГОСТ 21495-76), яких вони полишають заготовку та відповідні умовні позначення, а саме:

- $У(3)$ - установочна база, яка полишає заготовку трьох ступенів вільності;
- $Н(2)$ - напрямна база, яка полишає заготовку двох ступенів вільності;
- $О(1)$ - опорна база, яка полишає заготовку одного ступеня вільності;
- $ПН(4)$ - подвійна напрямна база, яка полишає заготовку чотирьох ступенів вільності;
- $ПО(2)$ - подвійна опорна база, яка полишає заготовку двох ступенів вільності.

Структурна формула теоретичної схеми базування валу по загальній технологічній базі (див. рис.3.13) може бути записана в вигляді:

$$СБ_{ЗТБ} \Rightarrow ПН(4) + О(1) \quad (3.1)$$

Всі теоретичні схеми базування мають певну конструктивну реалізацію у верстатних пристроях і тому структурна формула схеми базування є певним елементом контролю відповідності теоретичної схеми базування її конструктивній реалізації.

Схема базування (рис.3.13) конструктивно реалізується за допомогою двох центрів-переднього «жорсткого» центру, який встановлюється в шпинделі верстата та заднього обертового центру, який встановлюється в задній бабці верстата. Оброблення всіх поверхонь обертання валу за такої схеми базування буде забезпечувати їх співвісність (похибка базування $\varepsilon_6 = 0$), що важливо для забезпечення просторового розташування поверхонь валу, але при обробленні торцевих поверхонь така схема базування обумовлює похибку базування для лінійних розмірів вала (похибка базування $\varepsilon_6 \neq 0$), яка буде визначатись точністю виготовлення центрових отворів, а саме допуском на глибину центрових отворів та допуском на кут конічної поверхні, що і

показано на схемі базування (див.рис.3.13). Похибка установки заготовки за такої схеми базування визначається за формулою:

$$\varepsilon_{ц} = T_d / 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (3.2)$$

де T_d -допуск на діаметр центрального отвору, мм; α - половина кута конічної поверхні центрального отвору (для стандартних центрів -30°).

Якщо за такої схеми базування точність лінійних розмірів валу забезпечується, то її доцільно використовувати в технологічному процесі.

Якщо за такої схеми базування точність лінійних розмірів валу не забезпечується, то доцільно використати іншу схему базування по загальних технологічних базах (рис.3.14).

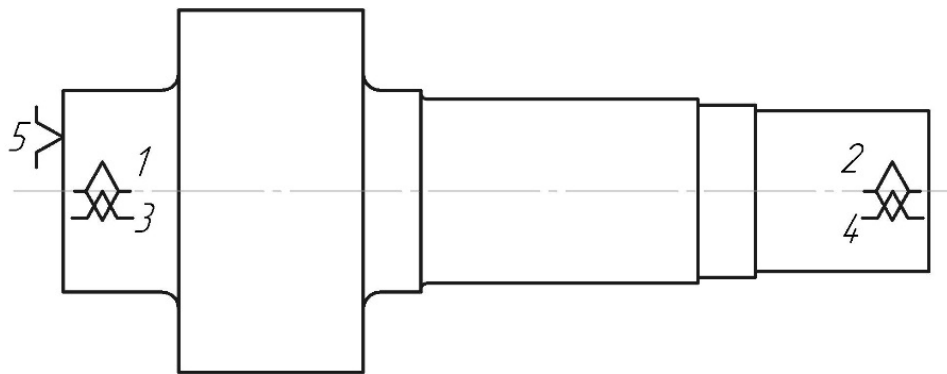


Рис.3.14. Схема базування валу по загальній технологічній базі

Структурна формула теоретичної схеми базування валу по загальній технологічній базі (рис.3.14) буде аналогічною і записується у вигляді:

$$СБ_{ЗТБ} \Rightarrow ПН(4) + О(1) \quad (3.3)$$

Необхідно звернути увагу, що структурні формули двох розглянутих схем базування по загальній технологічній базі є однаковими, але конструктивна їх реалізації буде відмінною. Схема базування (див. рис.3.14) реалізується за допомогою двох центрів, при цьому застосовується передній центр спеціальної, більш складної конструкції, а саме - рухомий в осьовому напрямку (плаваючий центр), що забезпечить усунення похибки базування для лінійних розмірів вала, яка дорівнюватиме нулю. Конструкція заднього центру буде аналогічною попередній схемі базування.

При проектуванні технологічних процесів механічного оброблення, в залежності від вимог до точності забезпечення лінійних розмірів поверхонь вала, може бути застосована одна з розглянутих схем базування.

Після обґрунтування вибору загальних технологічних баз необхідно проаналізувати можливість їх незмінного застосування на всіх операціях технологічного процесу, тобто дотримання принципу сталості (незмінності) технологічних баз, що перевіряється розмірним моделюванням технологічних операцій.

Незмінність загальної технологічної бази для всього технологічного процесу забезпечує незмінність конструкцій верстатних пристроїв для виконання всіх технологічних операцій. Якщо забезпечити незмінність загальних технологічних баз для всього технологічного процесу неможливо, то необхідно вибрати та обґрунтувати додатковий комплект загальних технологічних баз.

Такі умови, коли не можна реалізувати весь технологічний процес з незмінною схемою базування по загальній технологічній базі, характерні для технологічних процесів оброблення деталей типу валів з осьовими отворами, втулок, зубчастих коліс та важелів. Найчастіше, додатковий комплект загальних технологічних баз складають поверхні допоміжних конструкторських баз деталі, оскільки найбільш високі вимоги до точності просторового розташування поверхонь такого класу деталей встановлюються для поверхонь основних та допоміжних конструкторських баз.

Тобто в технологічному процесі оброблення таких конструкцій деталей будуть використані два комплекти загальних технологічних баз, а саме: поверхонь $ОКБ \Rightarrow ЗТБ$ та поверхонь $ДКБ \Rightarrow ЗТБ$. У цьому випадку для технологічного процесу оброблення втулок за певних конструктивних особливостей необхідно проектувати відмінні пристрої, що збільшує витрати на технологічне підготування виробництва. Разом з тим, необхідно вказати, що в технологічних процесах оброблення переважної більшості конструкцій корпусних деталей, поверхні загальних технологічних баз залишаються

незмінними на всіх технологічних операціях, що визначає незмінність конструкції пристрою.

Необхідно приймати до уваги, що ми розглядаємо теоретичні схеми базування валів та їх конструктивну реалізацію без урахування додаткових елементів пристрою, які будуть здійснювати передачу крутного моменту від шпинделя верстату до заготовки, для чого використовуються повідкові патрони спеціальних конструкцій.

В окремих конструкціях валів конструктор не дозволяє залишати після оброблення центрові отвори. За таких умов при виготовленні заготовки валу передбачається збільшення її довжини на величину, яка достатня для розміщення центрових отворів, а в структурі технологічного процесу виготовлення валу в завершальній його частині передбачається операція видалення частини валу з центровими отворами.

3.5.2 Визначення технологічних баз для перших операцій

Вихідним документом для визначення технологічних баз для перших операцій є кресленик заготовки. Визначення технологічних баз для перших операцій необхідно виконувати у відповідності до узагальненого алгоритму визначення технологічних баз для деталей будь-яких класів, який встановлює таку послідовність прийняття рішень:

- *в якості технологічних баз необхідно приймати необробні поверхні заготовки.* Такий вибір базових поверхонь буде забезпечувати після оброблення правильне просторове розташування необробних поверхонь заготовки відносно обробних;
- *якщо всі поверхні заготовки за креслеником деталі є обробними, то в якості технологічних баз необхідно приймати поверхні, які мають найменший припуск.* Такий вибір базових поверхонь буде забезпечувати усунення можливості виникнення браку при подальшому обробленні таких поверхонь;

- якщо відсутні поверхні з мінімальним припуском, а його величина є достатньо рівномірною, то в якості технологічних баз необхідно приймати поверхні заготовки, на яких виникнення браку не допускається;
- в якості технологічних баз необхідно приймати поверхні заготовки, для яких необхідно забезпечити рівномірний припуск для наступних етапів оброблення;
- якщо є декілька можливих конкурентних схем базування, то необхідно приймати варіант базування в якому обробна поверхня зв'язана з базовою поверхнею найкоротшими розмірними ланцюгами.

Оскільки всі поверхні валів є обробними, то за технологічні бази для перших операцій необхідно прийняти найбільш відповідальні поверхні заготовки на яких не допускається виникнення браку. Якщо заготовку ступінчастого валу виготовляють штампуванням і вона має наближену форму до готової деталі, то за технологічну базу необхідно прийняти поверхні заготовки, на яких в подальшому будуть утворені поверхні основних конструкторських баз. Така схема базування виключає можливість виникнення браку на таких поверхнях, оскільки обробні поверхні будуть зв'язані з базовими поверхнями найкоротшим розмірними ланцюгами, крім того вона може забезпечити рівномірний припуск для наступних етапів їх оброблення, що є передумовою зменшення похибок форми таких поверхонь.

Якщо заготовку вала виготовляють відрізанням від прокату, то за технологічну базу можна приймати будь-які ділянки поверхні заготовки.

Приклад теоретичної схеми базування заготовки, яка виготовлена штампуванням наведено на рис.3.15.

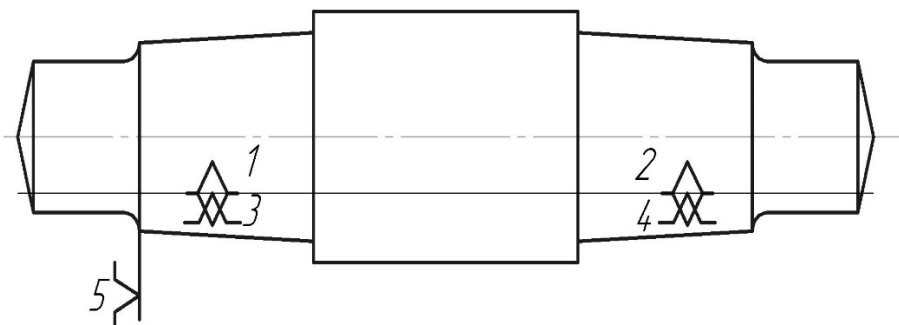


Рис.3.15. Теоретична схема базування заготовки валу для першої операції

Структурна формула схеми базування по технологічній базі має вид:

$$CB_{TB} \Rightarrow PH(4) + O(1) \quad (3.4)$$

Конструктивна реалізація такої схеми базування передбачає установку заготовки вала в призмах. Одна призма рухома, а друга нерухома. Для забезпечення однозначності базування нерухома призма конструктивно реалізується двома короткими призмами. Конструкція пристрою є простою, але характеризується похибкою розміщення осі вала у вертикальній площині, що обумовлює нерівномірний припуск на поверхнях для наступних етапів оброблення. Стандартні конструкції призм виготовляють з кутами $\alpha = (60; 90; 120 \text{ та } 180)^\circ$.

Похибка базування в нерухомій призмі горизонтальної осі заготовки визначається за формулою:

$$\varepsilon_6 = T_d / 2 \cdot \sin \alpha / 2 \quad (3.5)$$

де T_d -допуск на розмір базової поверхні, мм; α -кут призми.

Для підвищення точності розміщення допоміжної технологічної бази доцільно використовувати схему базування, яку наведено на рис.3.16.

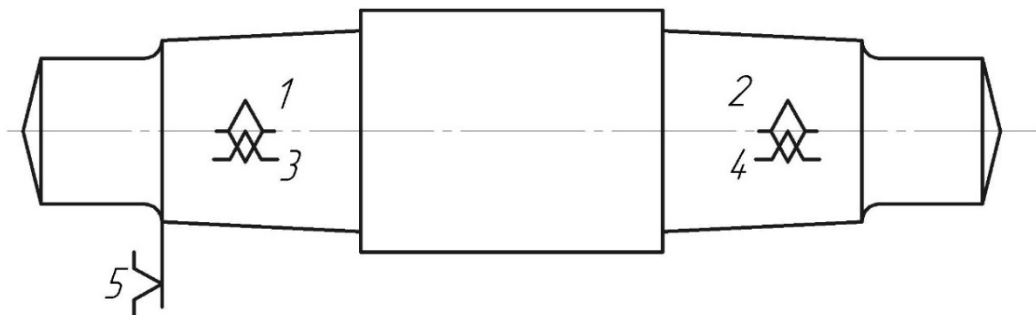


Рис.3.16. Теоретична схема базування заготовки вала для першої операції
Структурна формула схеми базування має вид:

$$CB_{TB} \Rightarrow PH(4) + O(1) \quad (3.6)$$

Конструктивна реалізація такої схеми базування передбачає установку заготовки вала в самоцентрувальних призмах, або інших самоцентрувальних пристроях, які незалежно від допусків розмірів на базові поверхні забезпечують правильне розміщення їх осей, що обумовлює похибку

базування, яка дорівнює нулю, але потребує значного ускладнення конструкції верстатного пристрою. Вибір схеми базування для перших технологічних операцій буде визначатись наявним верстатним обладнанням для першої операції. Схема базування (рис.3.15.) реалізується на фрезерно-центрувальних верстатах, а схема базування (рис.3.16.) на токарних верстатах.

3.6 Загальні закономірності проектування технологічних операцій оброблення валів

Проектування технологічних процесів виготовлення деталей машин базується на використанні наявних типових або групових технологічних процесів, які забезпечують скорочення тривалості проектування одиничних операційних технологічних процесів, які необхідно проектувати для верстатів з ЧПУ. За результатами аналізу типових конструкцій валів можна представити узагальнену конструкцію вала, яка буде включати:

- точні циліндричні поверхні основних конструкторських баз, на яких будуть розміщуватись підшипникові опори;
- шліцьові поверхні допоміжних конструкторських баз для розміщення рухомого зубчастого блоку;
- зубчасту поверхню допоміжної конструкторської бази заданого ступеню точності, для створення зубчастого зачеплення;
- циліндричну поверхню допоміжних конструкторських баз з шпонковим пазом для розміщення нерухомого зубчастого колеса;
- циліндричний отвір, вісь якого перпендикулярна до поздовжньої осі валу;
- площину, яка розміщена під заданим кутом відносно певних конструктивних елементів валу, наприклад циліндричного отвору;
- конічної поверхні допоміжної конструкторської бази з шпонковим пазом для розміщення шківу або з'єднувальної муфти;

- кріпильної поверхні з нарізами, вісь якої співпадає з поздовжньою віссю валу.

Для узагальненої (уніфікованої) конструкції валу, в якій передбачається наявність всіх розглянутих можливих поверхонь, необхідно спроектувати узагальнений технологічний процес (УТП), на основі якого будуть розроблятися одиничні технологічні процеси для конкретних конструкцій валів. Одиничні ТП будуть розроблятися з урахуванням того, що в конструкції реального вала відсутні окремі поверхні, наслідком чого будуть зміни в структурі УТП, пов'язані з виключенням тих технологічних операцій, або переходів, які передбачають оброблення відсутніх в даній конструкції поверхонь.

Традиційно технологічний процес оброблення валу повинен передбачати послідовну реалізацію чотирьох етапів оброблення, а саме:

- попереднього чорнового оброблення;
- попереднього напівчистового оброблення;
- завершального чистового оброблення;
- при необхідності забезпечення підвищеної точності оброблення окремих поверхонь, доцільно передбачати етап завершального викінчувального (опоряджувального) оброблення.

Кожний етап оброблення повинен забезпечити виконання певних технологічних завдань, які за умови реалізації технологічного процесу повинні забезпечити встановлені робочим кресленником характеристики якості робочих поверхонь валу.

Найбільш складні умови оброблення різанням та найбільшу кількість оброблюваних поверхонь характеризують етап чорнового оброблення. На цьому етапі вирішуються такі технологічні завдання:

- виконується оброблення комплекту поверхонь-загальних технологічних баз;

- здійснюється перевірка придатності заготовки до наступних етапів оброблення за наявності браку на відповідальних робочих поверхнях;
- видаляються максимально можливі припуски на всіх оброблюваних поверхнях, що забезпечить максимальну інтенсивність вирівнювання залишкових напружень в конструкції валу та найбільшу тривалість етапу природного старіння до завершального оброблення найбільш відповідальних поверхонь;
- створюються рівномірні припуски на оброблюваних поверхнях для наступних етапів оброблення;
- забезпечується уточнення просторового положення найбільш відповідальних поверхонь відносно загальної технологічної бази;
- забезпечується підвищення точності розмірів та зменшення параметрів шорсткості оброблених поверхонь.

У відповідності до загальних рекомендацій проектування технологічних процесів виготовлення деталей машин, етап чорнового оброблення необхідно відокремлювати від наступних етапів оброблення, що забезпечує найвищу якість оброблення. При застосуванні сучасних верстатів з ЧПУ їх технологічні можливості можуть забезпечити виконання всіх етапів оброблення валу за одну технологічну операцію, але за таких умов після завершення оброблення, з певним проміжком часу, конструкція валу може втрачати початкові характеристики якості за рахунок вирівнювання залишкових напружень в конструкції деталі, що супроводжується жолобленням конструкції валу, особливо при виготовленні ступінчастих валів зі значними перепадами діаметрів.

Необхідно приймати до уваги, що, для переважної більшості конструкцій валів, їх заготовки виготовляються методами пластичного деформування, які супроводжуються утворенням значних залишкових напружень. Застосування термічних операцій до механічного оброблення буде забезпечувати їх вирівнювання в об'ємі заготовки та зменшення їх величини, але не може виключити їх подальший перерозподіл особливо при нерівномірному

видаленні припусків з поверхонь валу на етапі чорнового оброблення. Це і обумовлює необхідність відокремлення етапу чорнового оброблення від наступних етапів шляхом уведення в ТП, після виконання чорнового оброблення, операцій штучного старіння – низькотемпературний відпал, нормалізація та інших, метою яких є зменшення залишкових напружень.

Виконання такої вимоги буде забезпечувати підвищення характеристик якості оброблення, але за певних конкретних конструктивних особливостей валів, наприклад, гладкий вал невисокої точності робочих поверхонь та не відповідальних умов їх роботи, можливе оброблення валу за одну технологічну операцію.

Проектування технологічних операцій оброблення різанням передбачає вирішення типових технологічних завдань:

- визначення схеми базування заготовки для виконуваної операції;
- проектування послідовності оброблення поверхонь за прийнятої схеми базування та послідовності виконання технологічних переходів;
- представлення технологічного ескізу оброблення, який повинен містити позначені (виділені потовщеними лініями) обробні поверхні, технологічні розміри, які необхідно забезпечити, координати оброблюваних отворів та переміщення інструменту, які для цього необхідні;
- визначення припусків для кожного технологічного переходу;
- визначення інструментальних матеріалів, які можуть забезпечити ефективне оброблення заданого конструкційного матеріалу, конструкції різального інструменту та геометричних параметрів його різальної частини;
- визначення режимів різання, які забезпечують найвищу продуктивність оброблення з урахуванням обов'язкового забезпечення заданих характеристик якості обробленої поверхні.

3.7 Проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня»

Практичну реалізацію узагальненого алгоритму проектування технологічних процесів виготовлення валів розглянемо на прикладі деталі «Вал-шестерня». На першому етапі підготовки вихідних даних для проектування технологічних процесів необхідно спроектувати 3-D модель деталі «Вал-шестерня» з використанням доступної проектанту для практичного використання САД-системи (рис.3.17).

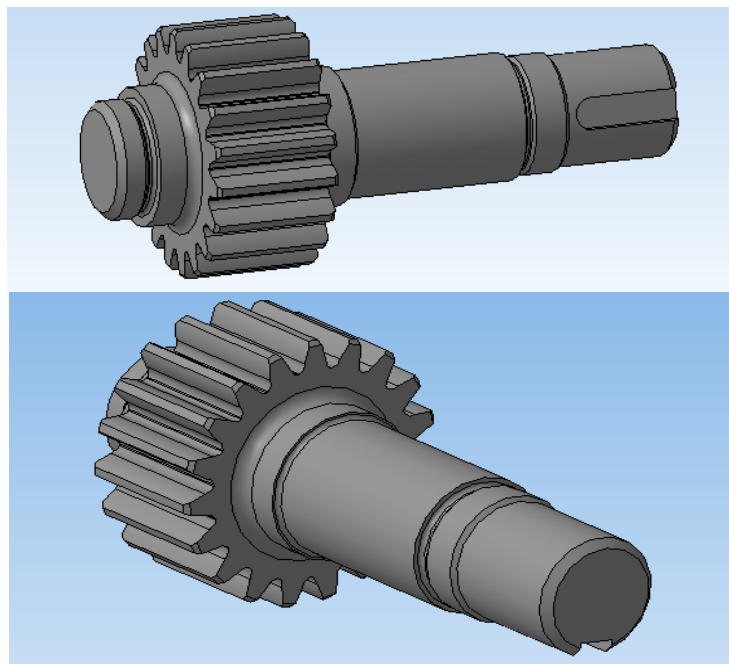


Рис.3.17. 3-D модель деталі «Вал-шестерня»

Масу деталі «Вал-шестерня» знайдемо за допомогою програми КОМПАС-3D V16, попередньо побудувавши 3-D модель деталі та додавши у відповідну графу необхідний матеріал (рис.3.18).

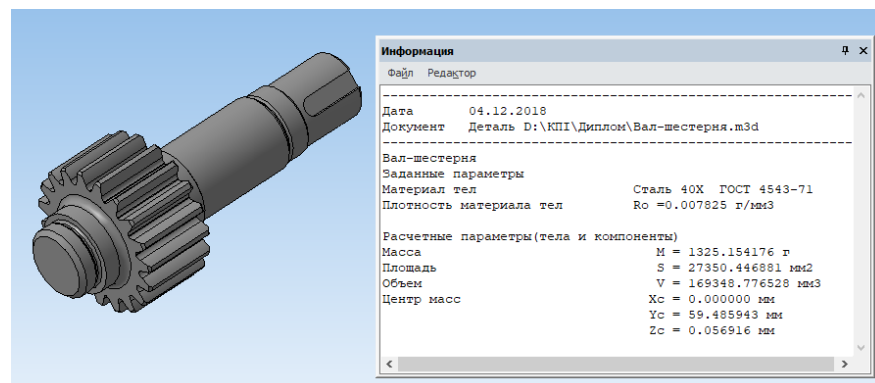


Рис.3.18. 3-D модель і характеристики деталі «Вал-шестерня»

За побудованою 3-D моделлю формується кресленик деталі (рис.3.19).

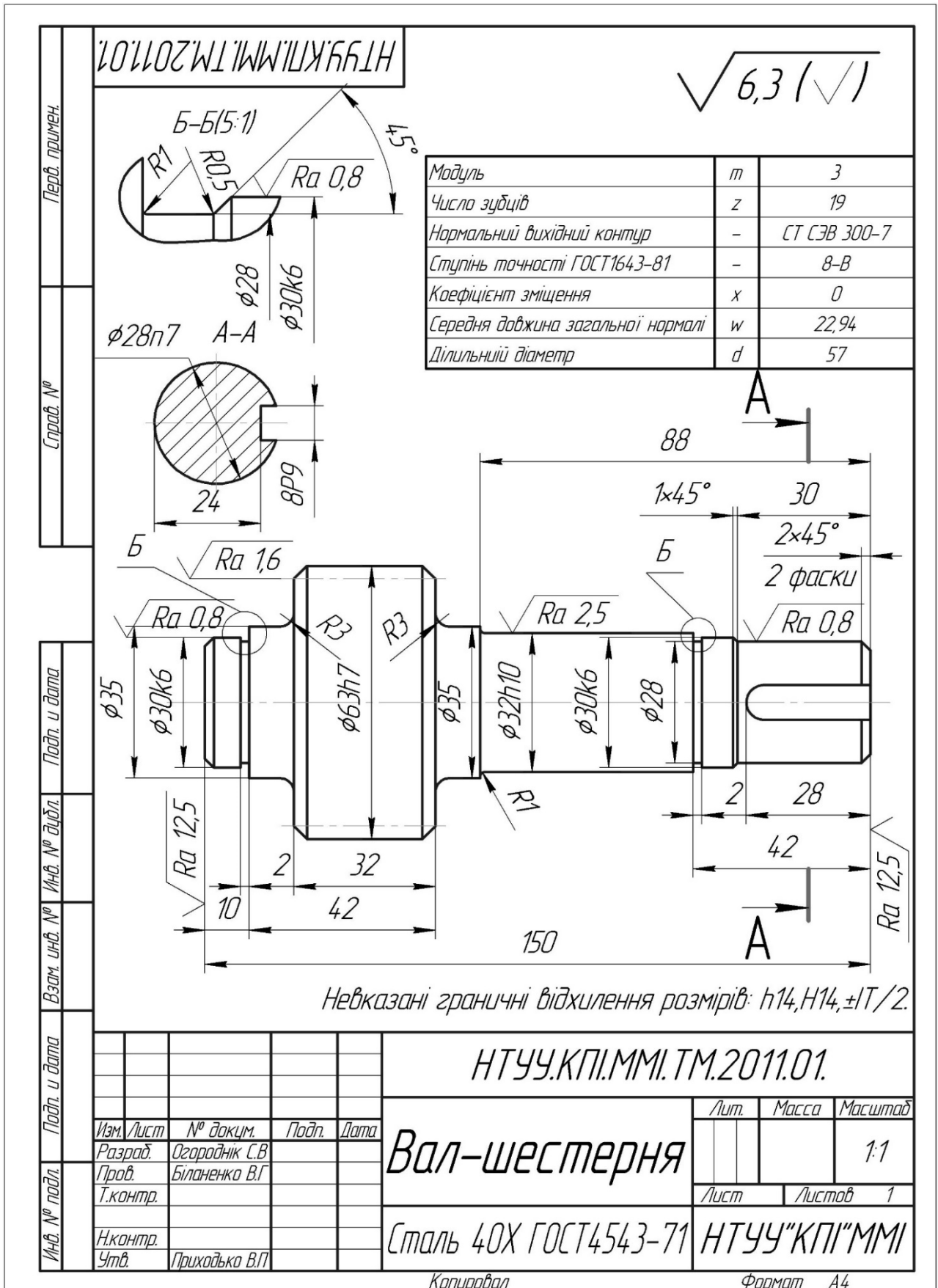


Рис.3.19. Кресленик деталі «Вал-шестерня»

3.7.1 Проектування ескізу заготовки деталі «Вал-шестерня»

У відповідності до кресленника деталі, заготовка деталі виготовляється з хромистої сталі-сталь 40Х ГОСТ4543-2016. Для вирішення технологічних завдань проектування технологічних процесів, необхідно визначити основні фізико-механічні характеристики конструкційного матеріалу (табл.3.6.).

Таблиця 3.6-Фізико-механічні характеристики сталі 40Х ГОСТ 4543-2016

Тимчасовий опір при розтягуванні, σ_s , МПа	Твердість, НВ кгс/мм ²	Густина, ρ кг/м ³	Масова частка елементів, %				
			<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>
980	217	7820	0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	до 0,3	до 0,3

Проектування технологічного процесу будемо виконувати для умов середньосерійного багатомноменклатурного виробництва, яке базується на застосуванні сучасних верстатів з ЧПУ та багатофункціональних верстатів на їх основі.

Для прийняття подальших технологічних рішень, необхідно вибрати метод отримання і спроектувати ескіз заготовки вала. З урахуванням заданого конструктором конструкційного матеріалу (сталь 40Х) є очевидним, що заготовка повинна виготовлятися методами пластичного деформування. Враховуючи конструктивні особливості деталі «Вал-шестерня», а саме-незначні відмінності діаметрів різних ступенів валу та умови машинобудівного виробництва, а саме обмежений обсяг випуску таких валів, приймаємо метод виготовлення заготовки зі стандартного гарячекатаного прокату, що не вимагає здійснення спеціальних замовлень для виготовлення заготовки, наприклад, штампуванням, виключає необхідність створення спеціальної оснастки для виготовлення заготовки та зменшує тривалість часу на її виготовлення (рис.3.20.). Разом з тим, необхідною попередньою операцією виготовлення заготовки є операція відрізання заготовки заданої довжини з заданими відхиленнями від стандартного гарячекатаного прокату.

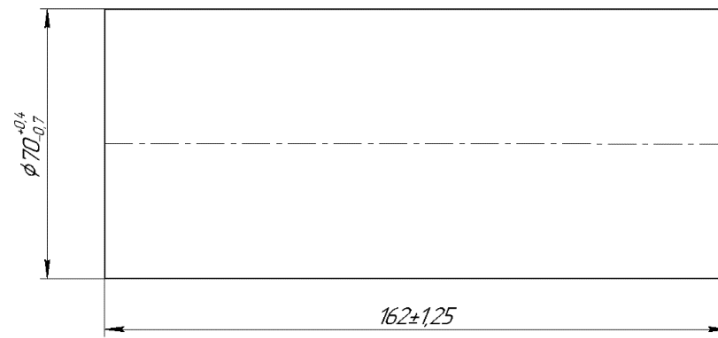


Рис.3.20. Ескіз заготовки деталі «Вал-шестерня»

3.7.2 Визначення технологічних баз для виготовлення деталі «Вал-шестерня»

У відповідності до загального алгоритму визначення технологічних баз необхідно:

- визначити загальні технологічні бази;
- визначити технологічні бази для перших операцій.

Для визначення загальних технологічних баз необхідно виконати класифікацію поверхонь валу за службовим призначенням (рис.3.21).

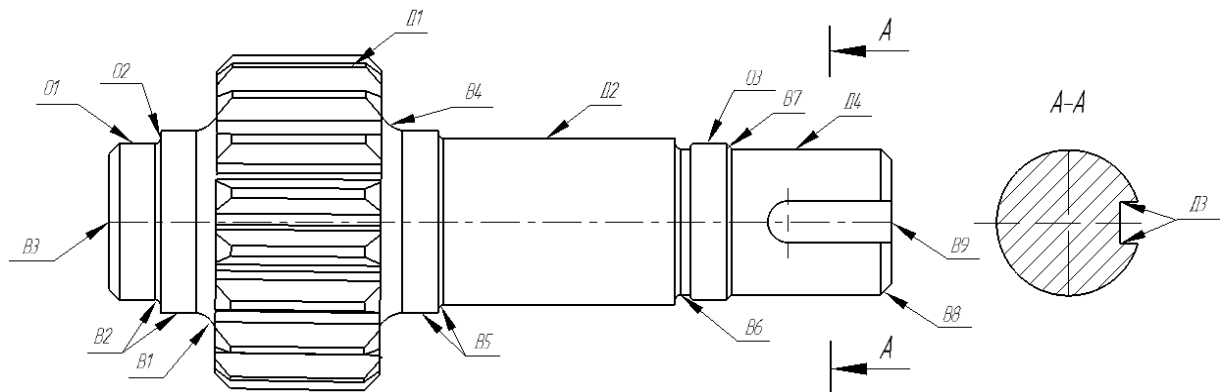


Рис.3.21. Класифікація поверхонь деталі за службовим призначенням

Основними конструкторськими базами даного валу є поверхні для встановлення підшипників O1 та O2 та прилегла торцева поверхня O3 (рис.3.20). Є очевидним, що даний комплект поверхонь валу не може бути використаний як комплект загальних технологічних баз (ЗТБ). За такої умови,

необхідно визначити комплект допоміжних технологічних баз (ДТБ), які можуть виконувати функції ЗТБ. Практикою машинобудівного виробництва визначена можливість створення допоміжних технологічних баз, які конструктивно виконуються, як центрові отвори в крайніх торцевих поверхнях валу і можуть виконувати функції ЗТБ. Використання поверхонь центрових отворів можуть забезпечувати наступні схеми базування по загальних технологічних базах (рис.3.22. та рис.3.23).

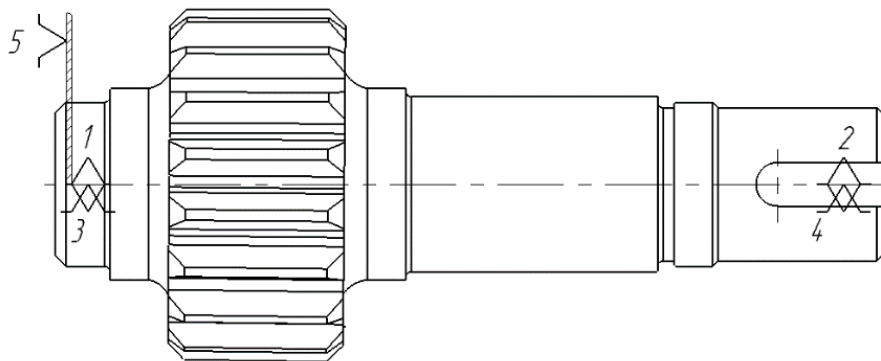


Рис.3.22. Теоретична схема базування деталі «Вал-шестерня» по загальній технологічній базі (ЗТБ)

Структурна формула даної схеми базування по ЗТБ (рис. 3.22) має вид:

$$СБ_{ЗТБ} \Rightarrow ПН(4) + О(1) \quad (3.7)$$

Конструктивна реалізація даної схеми базування передбачає використання «жорсткого» переднього і обертального заднього центрів.

Наступна можлива схема базування по ЗТБ показана на рис.3.23.

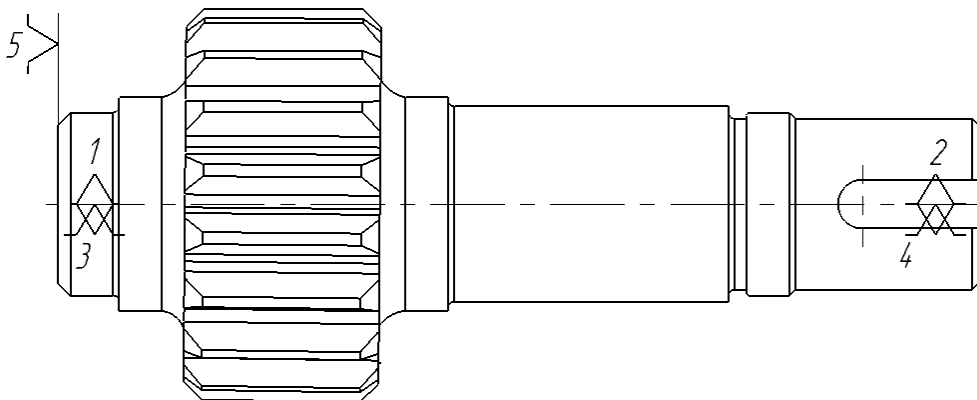


Рис.3.23. Теоретична схема базування деталі «Вал-шестерня» по загальній технологічній базі (ЗТБ)

Структурна формула даної схеми базування по ЗТБ (рис.3.23.) має вид:

$$CB_{ЗТБ} \Rightarrow ПН(4) + O(1) \quad (3.8)$$

Конструктивна реалізація даної схеми базування передбачає використання «плаваючого» переднього і обертального заднього центрів.

Після вибору схеми базування по ЗТБ необхідно перевірити можливість її незмінного використання для всіх технологічних операцій. Наведено дві схеми базування по ЗТБ, з яких обираємо найбільш технологічну схему для базування.

При наявності необхідних верстатних пристроїв, доцільно використовувати схему базування, що забезпечує оброблення всіх обробних поверхонь з похибкою базування для діаметральних та лінійних розмірів, яка дорівнює нулю і може бути використана незмінною на всіх операціях технологічного процесу оброблення деталі «Вал-шестерня», що наведена на рис.3.23.

На другому етапі вибору технологічних баз необхідно визначити схему базування для перших технологічних операцій. Загальною вимогою до всіх можливих схем базування для першої операції є забезпечення оброблення комплекту поверхонь загальних технологічних баз.

Обґрунтування технологічних баз для перших операцій є важливою складовою проектування технологічного процесу оброблення заданої деталі і забезпечує виконання ряду важливих технологічних завдань, а саме оброблення поверхонь загальних технологічних баз за першу технологічну операцію та чорнового оброблення поверхонь заготовки, які відкриті для оброблення, зменшення загальної кількості установок заготовки для виконання всього технологічного процесу.

При виборі поверхонь, які входять в комплект технологічних баз у відповідності за їх призначенням та ступенями вільності, яких вони полишають, доцільно враховувати наступні геометричні співвідношення:

- площа установочної бази повинна забезпечувати максимальну площу силового трикутника;

- напрямна база повинна забезпечувати найбільшу відстань розміщення опорних елементів, тобто мати максимальну довжину.

При виборі базових поверхонь для перших технологічних операцій необхідно забезпечити відкритість для оброблення всіх поверхонь загальних технологічних баз та вибрати такі верстати, які можуть здійснювати послідовне оброблення поверхонь *ЗТБ* для досягнення заданих характеристик якості. За інших умов необхідно приймати до уваги, що повний комплект загальних технологічних баз необхідно обробити при виконанні перших технологічних операцій.

При проектуванні перших технологічних операцій оброблення необхідно приймати до уваги важливе зауваження, а саме: ***повторна установка заготовки при реалізації операцій технологічного процесу на комплект всіх необроблених поверхонь не допускається.***

Вихідним документом для вибору технологічних баз для перших операцій є кресленик заготовки. Визначення технологічних баз для перших операцій оброблення валу необхідно виконувати у відповідності до загального алгоритму.

Розглянемо можливі схеми базування заготовки валу для перших операцій оброблення.

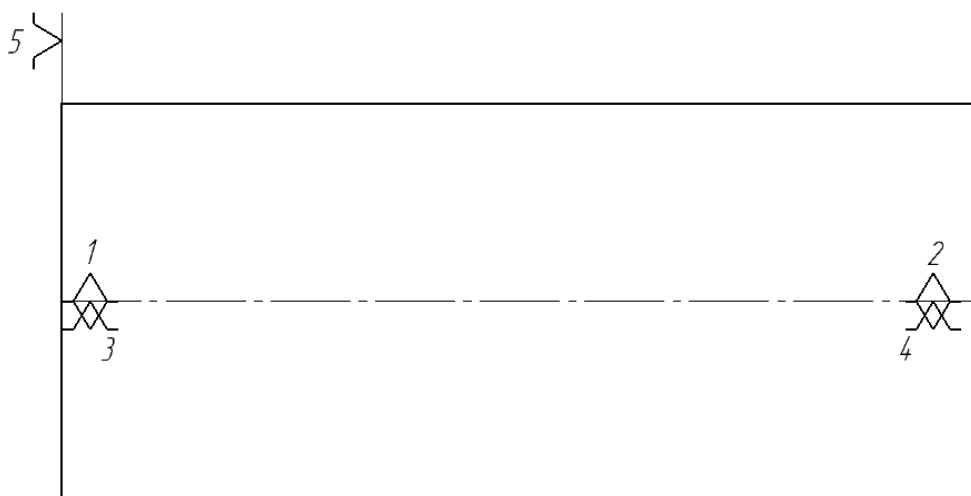


Рис. 3.24. Теоретична схема базування деталі «Вал-шестерня»

Структурна формула даної схеми базування по ТБ (рис.3.24) має вид:

$$CB_{TB} \Rightarrow PH(4) + O(1) \quad (3.9)$$

Для реалізації даної схеми базування необхідно використовувати самоцентрувальні пристрої, наприклад дві самоцентрувальні призми на фрезерно-центрувальному верстаті. Така схема базування може бути реалізована на токарному верстаті з ЧПУ з установкою заготовки в самоцентрувальному патроні та самоцентрувальному люнеті.

Наступна можлива схема базування по ЗТБ показана на рис.3.25.

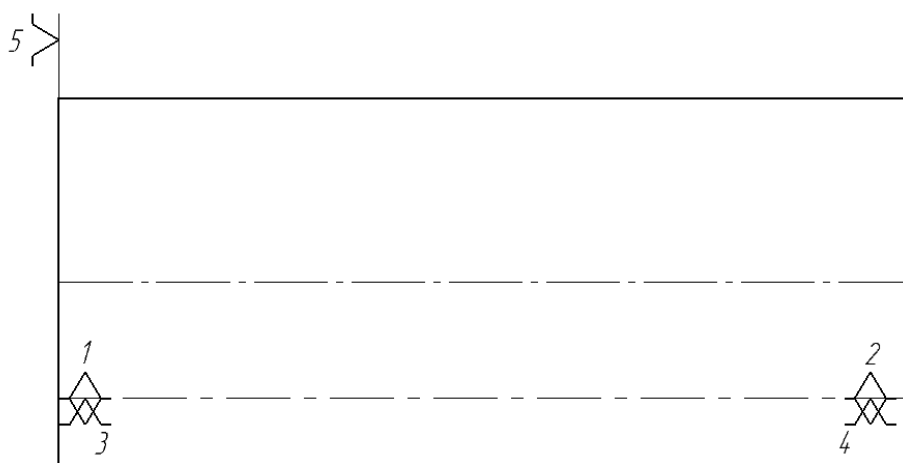


Рис.3.25. Теоретична схема базування деталі «Вал-шестерня»

Структурна формула даної схеми базування по ТБ (рис.3.25) має вид:

$$CB_{TB} \Rightarrow PH(4) + O(1) \quad (3.10)$$

Конструктивно таку схему базування можна реалізувати з використанням двох призм, нижня з яких нерухома, а верхня призма–рухома. Така схема базування є достатньо простою в реалізації і використовується на фрезерно-центрувальних верстатах.

Для проектування технологічного процесу обираємо схему базування по технологічних базах для перших операцій, яка наведена на рис.3.25, адже вона простіша в конструкторській реалізації та ще обираємо її з урахуванням того, що плануємо використовувати фрезерно-центрувальний верстат для оброблення комплекту загальних технологічних баз.

3.8 Проектування послідовностей оброблення елементарних поверхонь валу

На першому етапі проектування технологічних процесів оброблення деталей машин доцільно спроектувати послідовності оброблення окремих поверхонь заготовки, які за рекомендаціями технологічних джерел можуть в підсумку забезпечити досягнення заданих характеристик якості оброблення. Найбільш надійним джерелом такої технологічної інформації є власний досвід виробництва, який базується на результатах практично перевірених прийомів оброблення та контролю досягнутих характеристик якості. При відсутності таких даних доцільно використовувати рекомендації технологічних довідників [1,2,3], але необхідно приймати до уваги, що такі рекомендації визначають тільки вид оброблення, наприклад, точіння, свердління, фрезерування, який може бути використаний для оброблення поверхні, але не визначають характеристики верстатного обладнання, на якому необхідно це здійснювати, інструментальне забезпечення та складові режиму різання. Тому такі технологічні рекомендації потребують попереднього аналізу, подальшої практичної перевірки та уточнення. Попередній аналіз технологічних рекомендацій пов'язаний з урахуванням технологічних характеристик наявного верстатного обладнання, яке є в структурі дільниці цеху, коли проектування технологічних процесів орієнтоване на конкретне виробництво. Визначення необхідного додаткового фінансування, коли технологічне підготування виробництва передбачає його реконструкцію та переоснащення виробництва.

Типові технологічні послідовності оброблення поверхні не визначають, на яких етапах технологічного процесу вони будуть реалізовуватися, а обумовлюють їх обов'язкову наявність в технологічному процесі виготовлення деталі. Тому приймаючи до уваги спроектовані типові послідовності оброблення поверхонь, необхідно визначити їх розміщення в операціях технологічного процесу, верстати на яких вони будуть реалізовуватись, технологічне оснащення та режими різання.

Спроектовані послідовності оброблення елементарних поверхонь деталі «Вал-шестерня» наведено в табл.3.7.

Таблиця 3.7-Технологічні послідовності оброблення поверхонь заготовки деталі «Вал-шестерня»

№	Характеристики якості поверхонь за креслеником		Технологічна послідовність оброблення (можливі варіанти)	Характеристики якості поверхні після оброблення	
	Точність розмірів IT	Параметр шорсткості R _a , мкм		Точність розмірів IT	Параметр шорсткості R _a , мкм
1	2	3	4	5	6
O1, O2, O3	6	0,8	Точіння попереднє Точіння завершальне Шліфування попереднє Шліфування завершальне	12 10 8 6	10 6,3 2,5 0,8
Д1	8	1,6	Зубофрезерування Зубошліфування	10 8	5 1,6
Д2, Д4	7	0,8	Точіння попереднє Точіння завершальне Шліфування попереднє Шліфування завершальне	12 10 8 7	10 6,3 2,5 0,8
Д3	14	10	Фрезерування чорнове	14	10
B1,B2,B4, B5,B6,B7, B8	12	6,3	Точіння попереднє Точіння завершальне	12 10	10 6,3
B3,B9	14/2	10	Фрезерно-центрувальна	12	10

3.9 Основні нормативні матеріали для проектування технологічних процесів оброблення різанням

Загальні правила запису операцій та технологічних переходів встановлює міждержавний стандарт ГОСТ 3.1702-79. У відповідності до цього стандарту визначаються назви технологічних операцій, порядок їх нумерування, вимоги до технологічних ескізів та порядок постановки розмірів оброблюваних поверхонь, правила запису технологічних та допоміжних переходів.. Загальні назви груп технологічних операцій наведено в табл.3.8.

Таблиця 3.8-Групи операцій оброблення різанням (ГОСТ 3.1702-79)

№ групи операцій	Назва групи операцій	Металорізальне обладнання для реалізації
01	Автоматно-лінійна	Автоматичні лінії
02	Агрегатна	Агрегатні
03	Довбальна	Довбальні
04	Зубооброблювальна	Зубофрезерні, зубостругальні, зубошліфувальні та інші
05	Багатоцільова (комбінована)	Багатоцільові верстати токарної групи, свердлильно-фрезерно-розточувальні та інші
06	Опоряджувальна	Хонінгувальні, суперфінішні, доводочні
07	Відрізна	Відрізні
08	Програмна	Верстати з програмним управлінням
09	Протяжна	Протяжні
10	Розточувальна	Розточувальні
11	Нарізенарізна	Нарізефрезерні, гайконарізні та інші
12	Свердлильна	Свердлильні
13	Стругальна	Стругальні
14	Токарна	Токарні, токарно-гвинторізні, багаторізцеві, токарні з ЧПУ та інші
15	Фрезерна	Фрезерні (за винятком зубофрезерних та нарізефрезерних)
16	Шліфувальна	Шліфувальні (за винятком зубошліфувальних)

Назви операцій оброблення різанням повинні відтворювати вид верстатного обладнання, що застосовується і записуються прикметником в називному відмінку, наприклад: Токарна, Фрезерна, Шліфувальна.

Для нумерації технологічних операцій застосовують тризначні числа з кроком, що дорівнює п'яти, наприклад, 005 Токарна, 010 Токарна.

Разом з тим, необхідно приймати до уваги, що швидка зміна технологічних можливостей верстатів буде вимагати уточнення назв операцій в рамках стандартизованих груп.

В свою чергу необхідно приймати до уваги, що визначені групи операцій включають певну кількість технологічних операцій, які визначаються верстатним обладнанням, яке реалізує даний вид оброблення та геометричними особливостями оброблюваних поверхонь. Загальний перелік назв технологічних операцій оброблення різанням наведено в табл.3.9.

Таблиця 3.9- Загальні назви технологічних операцій (ГОСТ 3.1702-79)

Номер		Назва операції	Номер		Назва операції
Операції	Група операцій		Операції	Група операцій	
01	01	Автоматно-лінійна	49	11	Нарізенакатна
02	02	Агрегатна	50	12	Вертикально-свердлильна
03	03	Довбальна	51	12	Горизонтально-свердлильна
04	04	Зубодовбальна	52	12	Координато-свердлильна
05	04	Зубозакругляюча	53	12	Радіально-свердлильна
06	04	Зубонакатна	54	12	Свердлильно-центрувальна
07	04	Зубообкатна	55	13	Поперечно-стругальна
08	04	Зубоприпрацювальна	56	13	Поздовжньо-стругальна
09	04	Зубопритиральна	57	14	Автоматна токарна
10	04	Зубопротяжна	58	14	Вальцетокарна
11	04	Зубостругальна	59	14	Лоботокарна
12	04	Зуботокарна	60	14	Нарізетокарна
13	04	Зубофрезерна	61	14	Спеціальна токарна
14	04	Зубохонінгувальна	62	14	Токарно-безцентрова
15	04	Зубошевінгувальна	63	14	Токарно-гвинторізна
16	04	Зубошліфувальна	64	14	Токарно-затилувальна
17	04	Спеціальна зубооброблювальна	65	14	Токарно-карусельна
18	04	Шліценакатна	66	14	Токарно-копіювальна
19	04	Шліцестругальна	67	14	Токарно-револьверна
20	04	Шліцефрезерна	68	14	Торцепідрізна-центрувальна
21	05	Багатоцільова	69	15	Барабанно-фрезерна
22	06	Віброабразивна	70	15	Вертикально-фрезерна
23	06	Галтувальна	71	15	Горизонтально-фрезерна
24	06	Доводочна	72	15	Гравіювальна-фрезерна
25	06	Обпилювальна	73	15	Карусельно-фрезерна
26	06	Полірувальна	74	15	Копіювальна-фрезерна
27	06	Притиральна	75	15	Поздовжньо-фрезерна
28	06	Суперфінішна	76	15	Нарізефрезерна
29	06	Хонінгувальна	77	15	Спеціальна фрезерна
30	07	Абразивновідрізна	78	15	Універсально-фрезерна
31	07	Стрічковідрізна	79	15	Фрезерно-центрувальна
32	07	Ножівковідрізна	80	15	Шпонково-фрезерна
33	07	Пилковідрізна	81	16	Безцентрово-шліфувальна
34	07	Токарновідрізна	82	16	Вальцешліфувальна
35	07	Фрезерновідрізна	83	16	Внутрішньошліфувальна
36	08	Розточувальна з ЧПУ	84	16	Заточувальна
37	08	Свердлильна з ЧПУ	85	16	Карусельно-шліфувальна
38	08	Токарна з ЧПУ	86	16	Координатно-шліфувальна
39	08	Фрезерна з ЧПУ	87	16	Круглошліфувальна
40	08	Шліфувальна з ЧПУ	88	16	Стрічко-шліфувальна
41	09	Вертикально-протяжна	89	16	Обдирно-шліфувальна
42	09	Горизонтально-протяжна	90	16	Плоскошліфувальна
43	10	Алмазно-розточувальна	91	16	Нарізешліфувальна
44	10	Вертикально-розточувальна	92	16	Торцешліфувальна
45	10	Горизонтально-розточувальна	93	16	Центрошліфувальна
46	10	Координатно-розточувальна	94	16	Шліфувальна спеціальна
47	11	Болтонарізна	95	16	Шліфувальна-затилувальна
48	11	Гайконарізна	96	16	Шліцешліфувальна

Стандартизація назв технологічних операцій забезпечує застосування систем автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП) та сучасних САМ-систем.

Для запису технологічних переходів необхідно використовувати рекомендації та приймати до уваги основні ключові слова, які визначені стандартом ГОСТ 3.1702-79 (табл. 3.10).

Таблиця 3.10- Ключові слова технологічних переходів та їх умовні коди

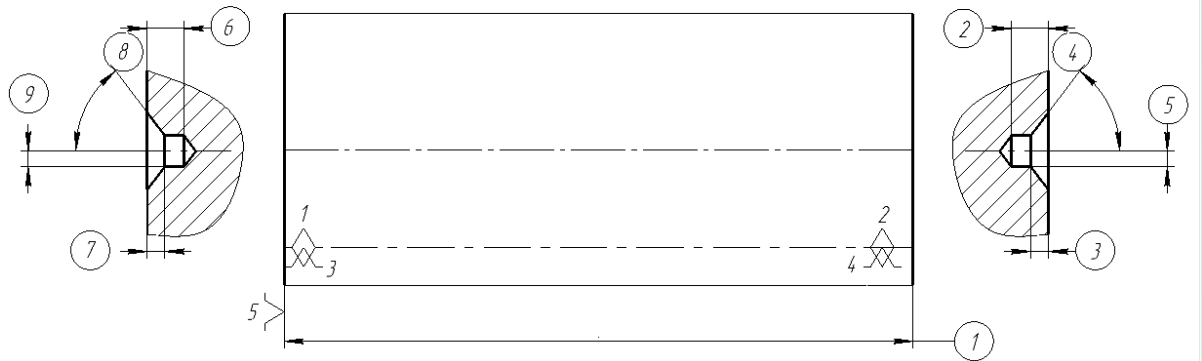
Умовний код	Ключові слова	Номер групи операцій
01	Вальцювати	14
02	Врізатись	14
03	Галтувати	06
04	Гравірувати	15
05	Довести	06
06	Довбати	03, 04
07	Закруглити	01, 02, 04
08	Заточити	16
09	Затилувати	14
10	Зенкерувати, зенкувати	01, 02, 05, 08, 10, 12, 14
11	*Навити	01, 02, 14
12	*Накатати	01, 02, 04, 11
13	Нарізати	01, 02, 05, 08, 10-12, 14
14	Обкатати	04
15	Обпиляти	06

Проектування операційного технологічного процесу потребує: визначення верстатного обладнання та аналізу його технічних характеристик, які повинні забезпечити оброблення заготовок заданих розмірів та задані характеристики якості оброблених поверхонь; встановлення методів налагодження верстатів та забезпечення точності оброблення; визначення необхідного технологічного оснащення верстату для виконання технологічної операції. На цьому етапі доцільно приймати до уваги та аналізувати більш детальні технологічні рекомендації, які дають змогу зменшити прийняття недостатньо обґрунтованих рішень, а відповідно і витрати на технологічне підготовлення виробництва.

3.10 Проектування одиничного операційного технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня»

005 Фрезерно-центрувальна, верстат моделі КС 800

А. Установити, закріпити, зняти

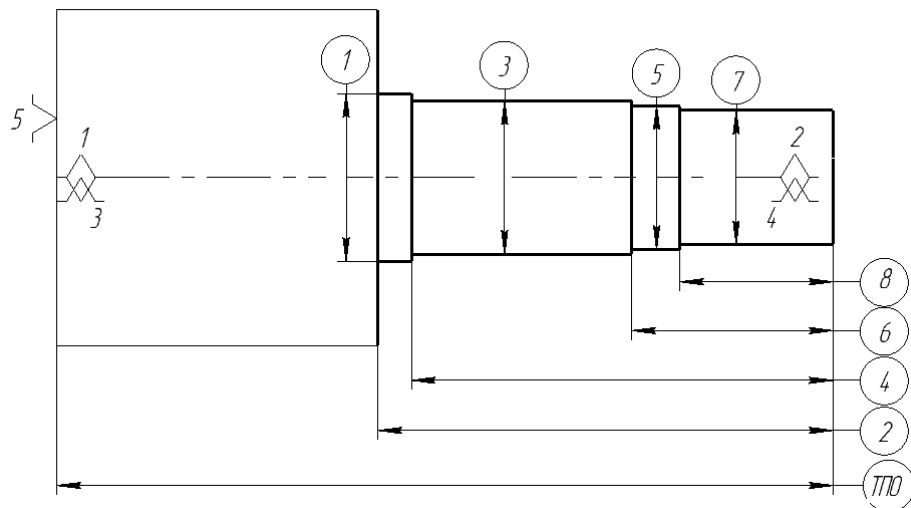


005.01 Фрезерувати торцеві поверхні валу В3 та В9 одночасно остаточно, витримуючи розмір 1

005.02 Центрувати торцеві поверхні валу В3 та В9 остаточно, витримуючи розміри 2,3,4,5; 6,7,8,9.

010 Токарна з ЧПК, верстат моделі 16А20Ф3

А. Установити, закріпити, зняти



010.01 Точити зовнішню циліндричну поверхню В5 попередньо, витримуючи розмір 1(2)

010.02 Точити зовнішню циліндричну поверхню Д2 попередньо, витримуючи розмір 3(4)

010.03 Точити зовнішню циліндричну поверхню О3 попередньо, витримуючи розмір 5(6)

010.04 Точити зовнішню циліндричну поверхню Д4 попередньо, витримуючи розмір 7(8)

010.05 Точити торцеву поверхню валу В4 попередньо, витримуючи розмір 2(1)

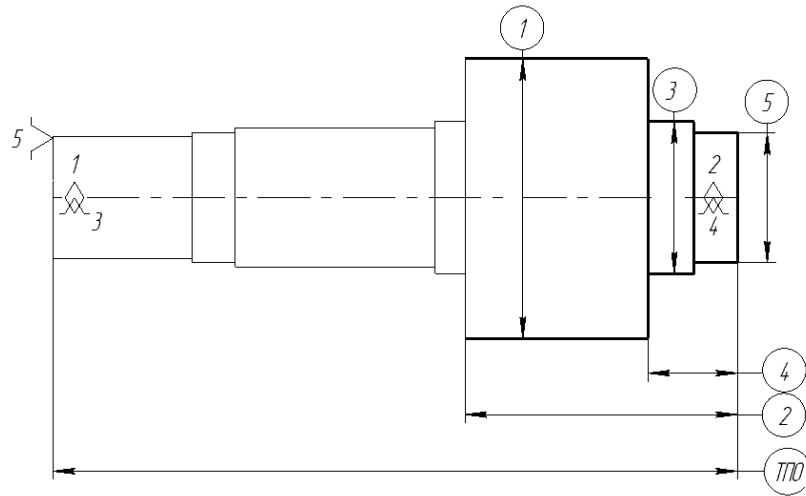
010.06 Точити торцеву поверхню валу В5 попередньо, витримуючи розмір 4(3)

010.07 Точити торцеву поверхню валу В6 попередньо, витримуючи розмір 6(5)

010.08 Точити торцеву поверхню валу В7 попередньо, витримуючи розмір 8(7)

015 Токарна з ЧПК, верстат моделі 16А20Ф3

А. Установити, закріпити, зняти

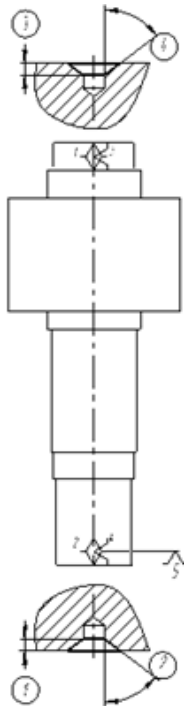


- 015.01 Точити зовнішню циліндричну поверхню Д1 попередньо витримуючи розмір 1(2)
- 015.02 Точити зовнішню циліндричну поверхню В2 попередньо витримуючи розмір 3(4)
- 015.03 Точити зовнішню циліндричну поверхню О1 попередньо, витримуючи розмір 5(6)
- 015.04 Точити торцеву поверхню валу В1 попередньо, витримуючи розмір 4(3)
- 015.05 Точити торцеву поверхню валу В2 попередньо, витримуючи розмір 6(5)

020 Термічна

025 Центрошліфувальна, верстат моделі ZSM 5100

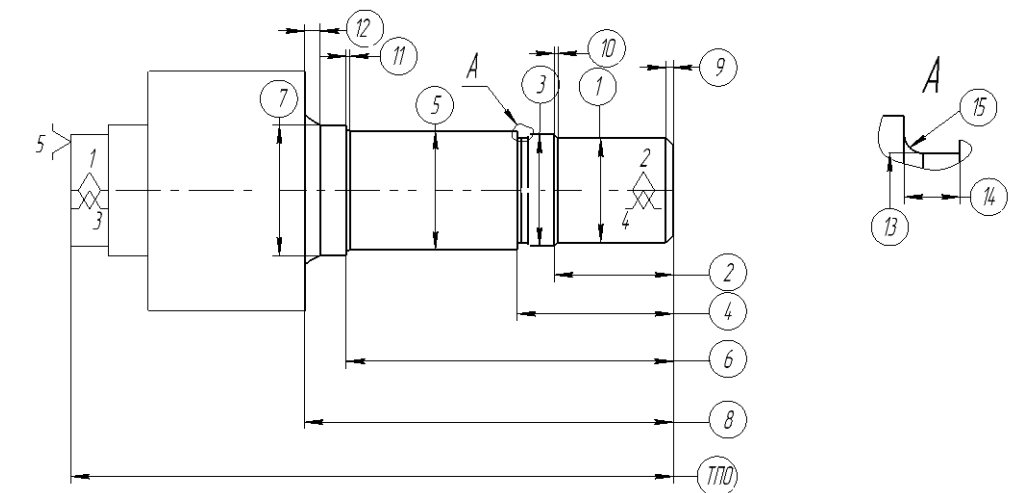
А. Установити, закріпити, зняти



- 025.01 Шліфувати базові поверхні центрального отвору остаточно, витримуючи розміри 1,2
- Б. Переустановити, закріпити, зняти
- 025.02 Шліфувати базові поверхні центрального отвору остаточно, витримуючи розміри 3,4

030 Токарна з ЧПК, верстат моделі 16А20Ф3

А. Установити, закріпити, зняти

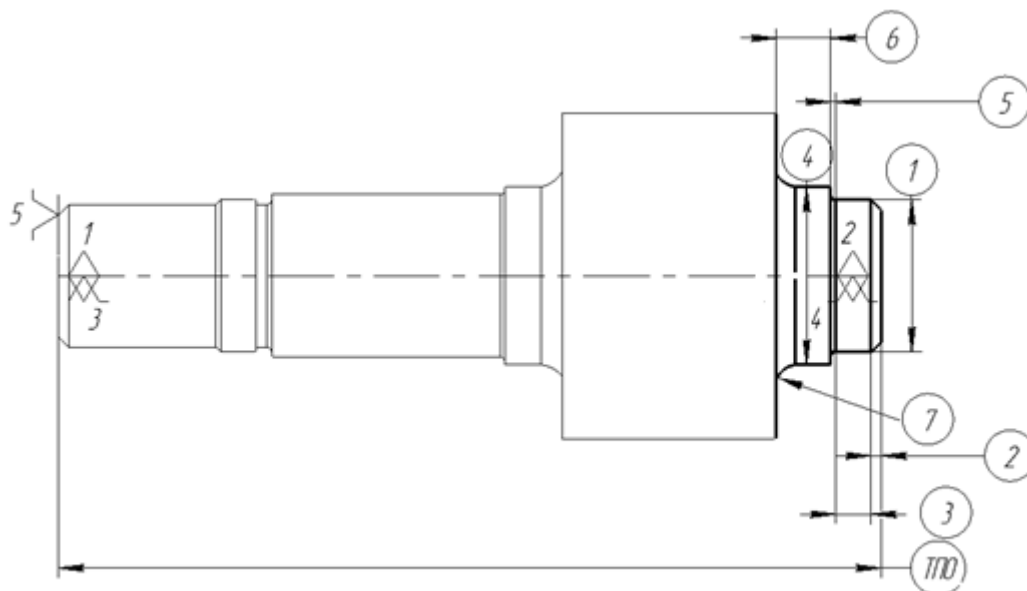


030.01 Точити зовнішні циліндричні поверхні Д2, Д4, О3, В4 , В5 , В6, В7, В8 , В9 валу з одночасним підрізанням прилеглих торцевих поверхонь та фасок послідовно остаточно, витримуючи розміри 9(1); 1,2; 10(2,1); 3,4; 5,6; 11(6,5); 7,8; 12(8,7)

030.02 Точити канавку остаточно, витримуючи розміри 4,13,14,15

035 Токарна з ЧПК, верстат моделі 16А20Ф3

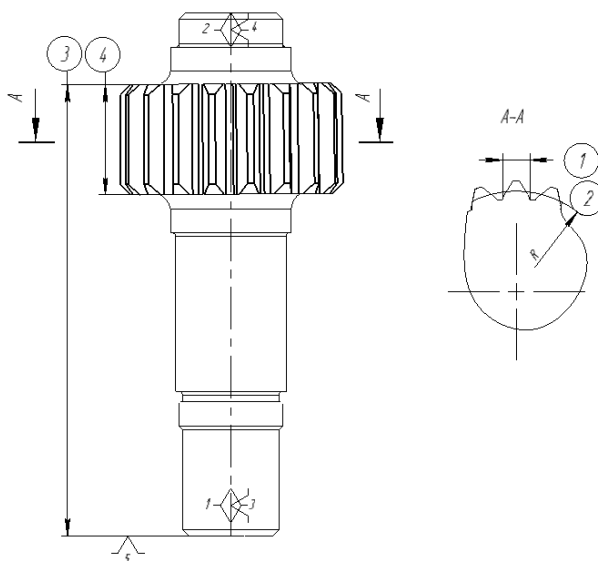
А. Установити, закріпити, зняти



035.01 Точити зовнішні циліндричні поверхні О1, О2, В1, В2 валу з одночасним підрізанням прилеглих торцевих поверхонь та фасок послідовно остаточно, витримуючи розміри 1,2,3; 5; 4,6,7; 3,4,5

040 Зубофрезерна з ЧПК, верстат моделі 53A80H

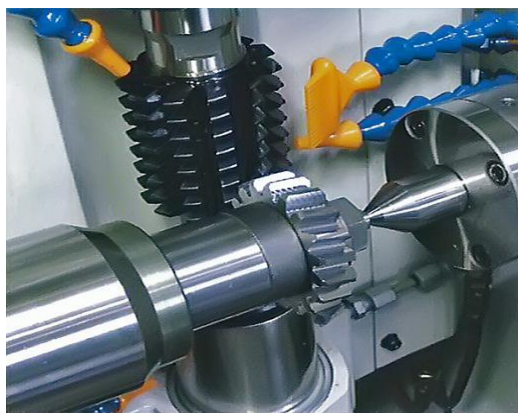
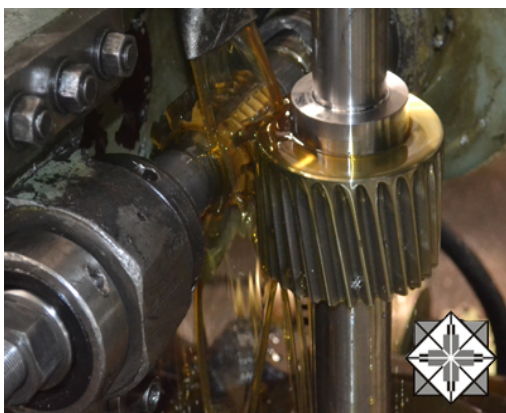
А. Установити, закріпити, зняти



Розміри 3,4-для довідки

040.01 Фрезерувати зубчасті поверхні Д1 валу одночасно остаточно, витримуючи розміри 1,2,3,4,5

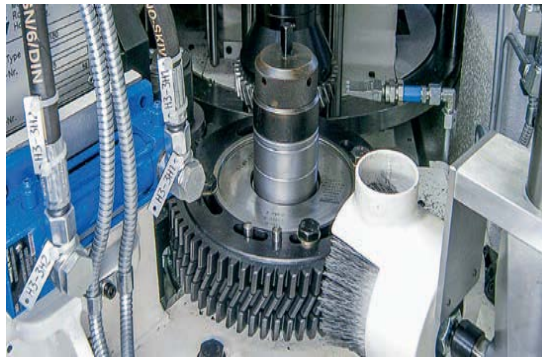
Приклад реалізації операції оброблення зубчастої поверхні на зубофрезерному верстаті



045 Зубозачисна, верстат моделі GearSpect GT 320 CNC

А. Установити, закріпити, зняти

В процесі фрезерування на торцевих поверхнях зубців будуть утворюватися задирки, для видалення яких використовується спеціальні верстати для їх видалення

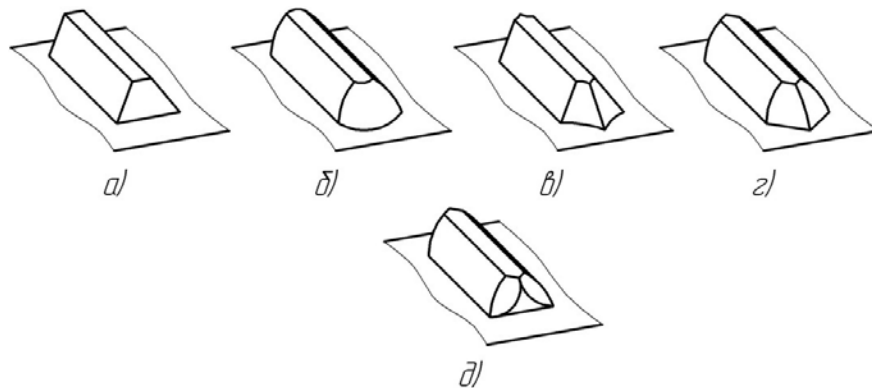


050 Зубозакруглювальна, верстат моделі ВС-80

А. Установити закріпити, зняти

Для зубчастих передач, які в процесі роботи повинні з'єднуватися з різними зубчастими колесами необхідно створити сприятливі умови зачеплення, що забезпечується додатковим спеціальним оброблення торцевих поверхонь зубчастої поверхні. В практиці виготовлення зубчастих передач використовують наступні форми торцевих поверхонь зубців:

а)-конічна поверхня; б)-бочкоподібна; в), г), д)-ввігнута, випукла, частково загострена



Приклад оброблення торцевих поверхонь зубців

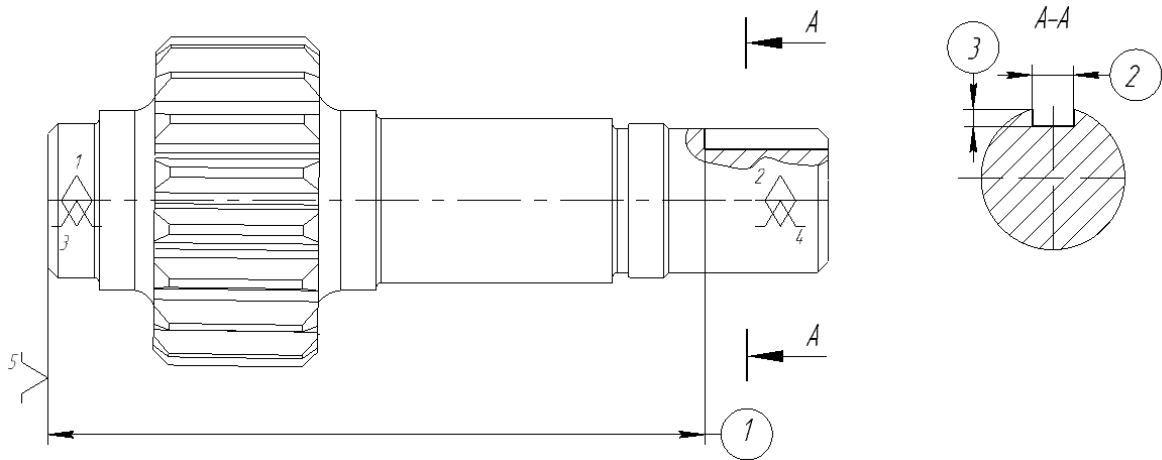


Оброблення торцевих поверхонь зубців а також зняття фасок та видалення задирки може виконуватись наступними різальними інструментами:

- кінцевою (пальцевою) фрезею з віссю паралельною або перпендикулярною торцевій поверхні зубців;
- охоплюючою фасонною трубчатою фрезею;
- різцевою головкою;
- фасонною черв'ячною фрезею;
- фасонною дисковою фрезею;
- абразивними різальними інструментами.

055 Шпонково-фрезерна, верстат моделі 692Д

А. Установити, закріпити, зняти



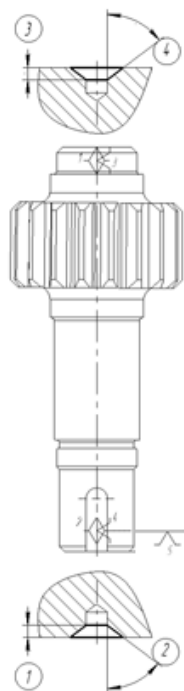
055.01 Фрезерувати шпонковий паз циліндричної поверхні ДЗ валу остаточно, витримуючи розміри 1,2,3.

060 Термічна

Гартувати зубчасту поверхню СВЧ $h=(1,5-2,0)$ HRC (42-46)

065 Центрошліфувальна, верстат моделі ZSM 5100

А. Установити, закріпити, зняти



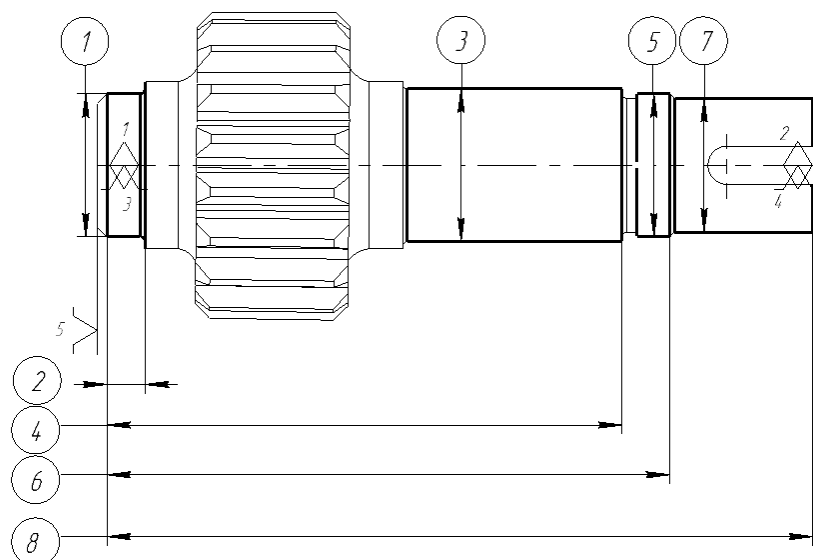
025.01 Шліфувати базові поверхні центрального отвору остаточно, витримуючи розміри 1,2

Б. Переустановити, закріпити, зняти

025.02 Шліфувати базові поверхні центрального отвору остаточно, витримуючи розміри 3,4

070 Шліфувальна, верстат моделі 3М151Ф2

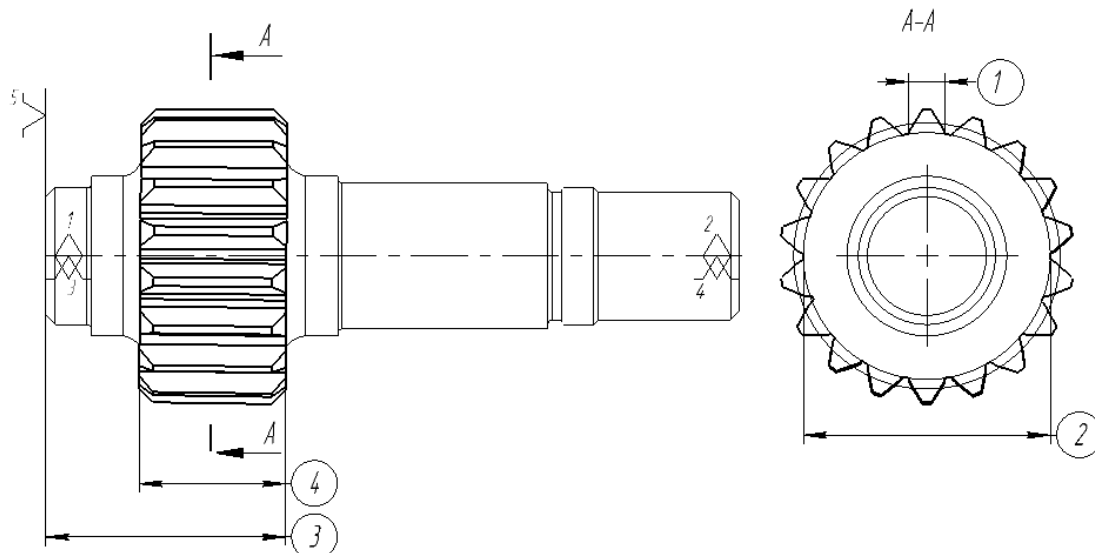
А. Установити, закріпити, зняти



070.01 Шліфувати циліндричні поверхні О1, О2, О3, Д2, Д4 валу послідовно остаточно, витримуючи розміри 1,2; 2(1); 5,6; 3,4; 7,8.

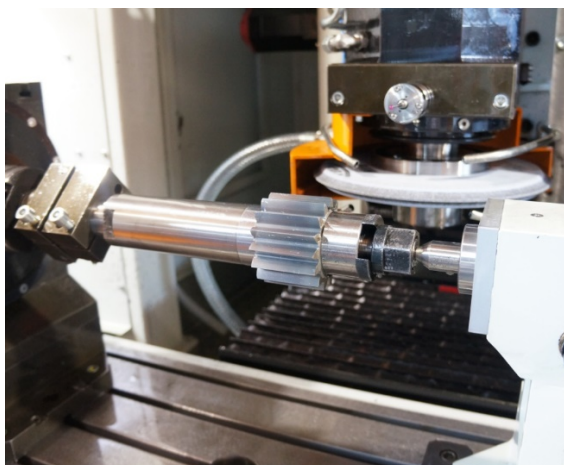
075 Зубошліфувальна з ЧПУ, верстат моделі SMG 4056GF3

А. Установити, закріпити, зняти



075.01 Шліфувати бокові поверхні Д1 зубців остаточно, витримуючи розмір 1,2 (3,4)

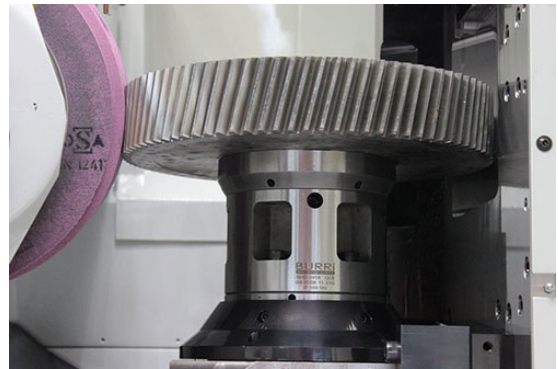
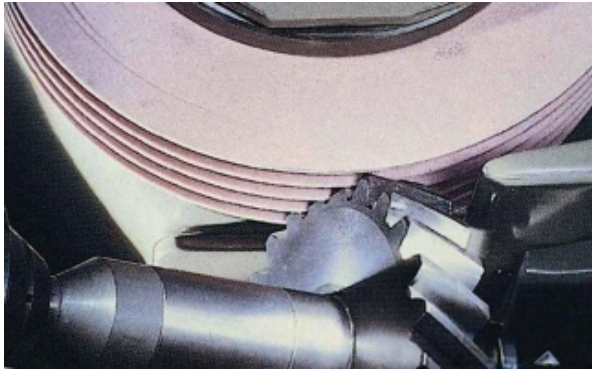
Зона шліфування зубців на верстаті моделі SMG 405GF3



Початкове налагодження верстата для оброблення здійснюється за рахунок контролю положення зубця за допомогою контрольного датчика, що і наведено на наступній схемі оброблення



Шліфування зубчастої поверхні може здійснюватися обкатуванням із застосуванням черв'ячного абразивного круга



080 Мийочна

085 Контрольна

3.11 Основні характеристики верстатів для технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня»

005 Фрезерно-центрувальна



Рис.3.26. Фрезерно-центрувальне-обточувальний верстат моделі KC800

Модель верстату	Характеристики верстату	Значення характеристики
KC800	Габаритні розміри:	
	-довжина	3970 мм
	-ширина	1750 мм
	-висота	2000 мм
	Діаметр оброблюваної заготовки деталі	(20-160)мм
	Діапазон довжин оброблюваних заготовок деталей	(100-1000)мм;
	Діапазон безступінчастих подач свердлильного шпинделя	(200-800)мм/хв.

010 Токарна з ЧПУ

015 Токарна з ЧПУ

030 Токарна з ЧПУ

035 Токарна з ЧПУ



Рис.3.27. Верстат токарний патронне-центровий з ЧПУ моделі 16А20Ф3

Модель верстату	Характеристики верстату	Значення характеристики
16А20Ф3	Висота центрів над станиною	320мм
	Висота центрів над супортом	200мм
	Відстань між центрами	1000мм
	Діапазон частот обертання шпинделя	(20-2500) об/хв.
	Мінімальна швидкість поздовжніх подач	10мм/хв.
	Мінімальна швидкість поперечних подач	5мм/хв.
	Максимальна швидкість поздовжніх переміщень	15000±6% мм/хв.
	Максимальна швидкість поперечних переміщень	7500±6% мм/хв.
	Кількість інструментів у револьверній головці	8
	Точність позиціонування	0,01мм
	Кількість одночасно керованих координат	2
	Потужність електродвигуна	11кВт
	Маса верстату	4000кг

025 Центрошліфувальна



Рис.3.28. Центрошліфувальний верстат моделі **ZSM 5100**

Модель верстату	Характеристики верстату	Значення характеристики
ZSM 5100	Максимальний діаметр оброблюваної заготовки	125мм
	Довжина оброблюваної деталі максимальна	1100мм
	Максимальне навантаження столу	120кг
	Кут центрального отвору	60°
	Швидкість обертання шпинделя	абразивний круг Ø15мм-45000 об/хв. абразивний круг Ø27мм-22500об/хв. абразивний круг Ø48мм-13000об/хв.
	Потужність двигуна	0,25кВт
	Вага верстату	460кг
Габаритні розміри верстату:	довжина 850мм ширина 750мм висота 1850мм	

040 Зубофрезерна з ЧПУ

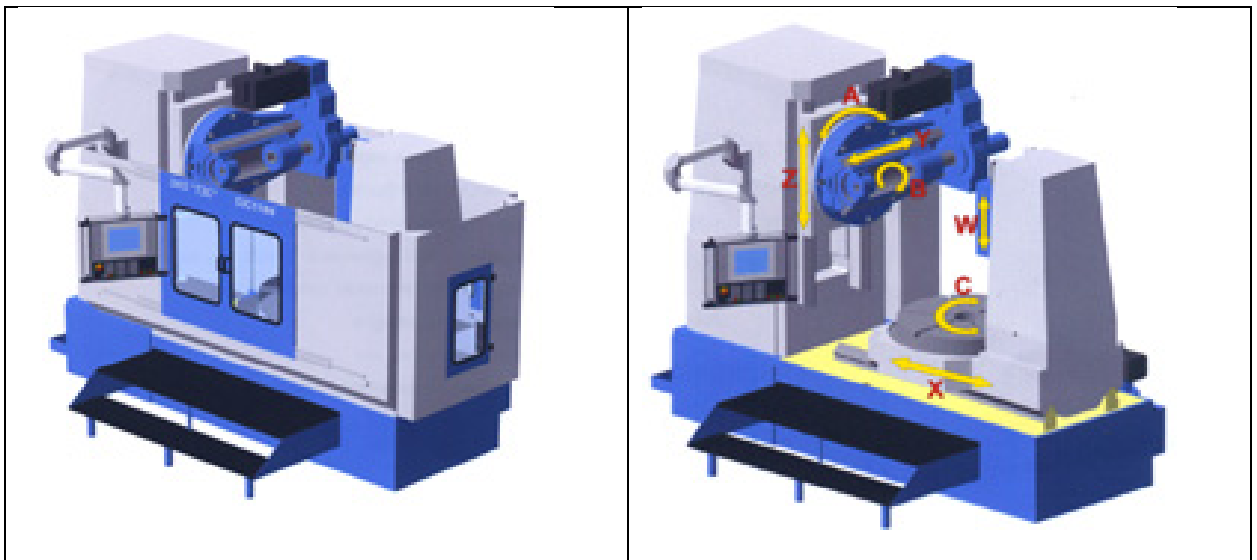


Рис.3.29. Зубофрезерний верстат з ЧПУ моделі 53С50Ф4

Модель верстату	Характеристики верстату	Значення характеристики
53С50Ф4	Найбільший діаметр оброблюваних зубчастих коліс	500мм
	Найбільша величина вертикального переміщення супорту	400мм
	Найбільший модуль оброблюваних коліс	10мм
	Мінімальна кількість зубців, що нарізуються	8
	Діаметр столу	560мм
	Найбільший кут нахилу зубців, які нарізуються	$\pm 45^\circ$
	Відстань від площини столу до осі фрези	(195-595)мм
	Відстань між осями столу та фрези	(60-350)мм
	Найбільший діаметр черв'ячної фрези, яку можна встановити d/l	200/200мм
	Найбільше осьове переміщення фрези	180мм
	Діапазон частот обертання фрезерного шпинделю	(40-405)об/хв.
	Вертикальна подача фрезерного супорту	(0,1-1000)мм/хв.
	Потужність двигуна головного приводу верстату	25кВт

045 Шпонково-фрезерна

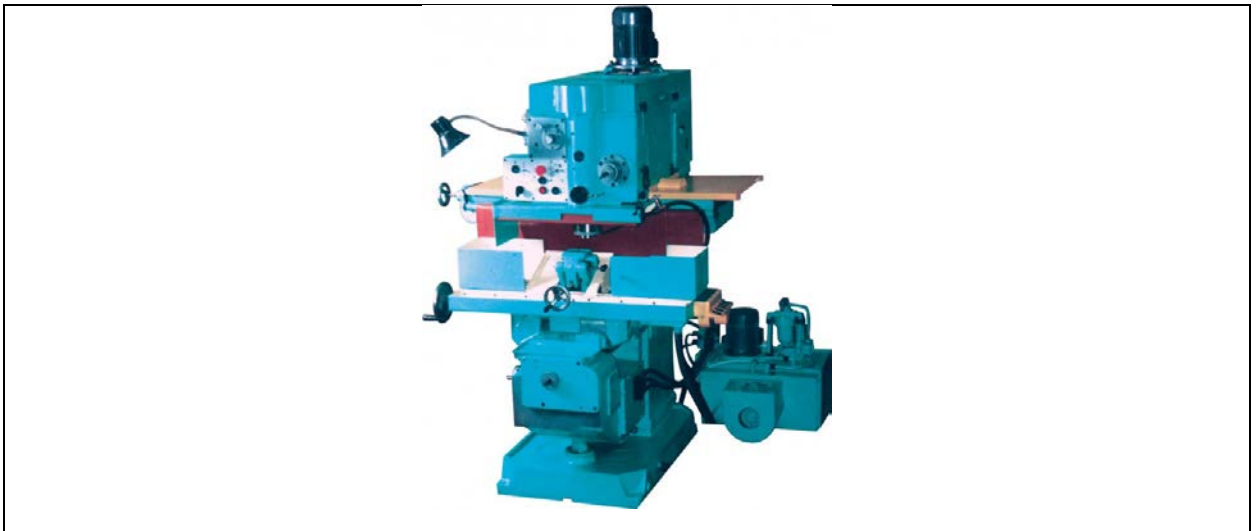


Рис.3.30. Шпонково-фрезерний верстат моделі 692Д

Модель верстату	Характеристики верстату	Значення характеристики
692Д	Діапазон частот обертання шпинделю	(400-4000)об/хв.
	Клас точності верстата по ГОСТ 8-82	Н
	Потужність двигуна	2,2кВт
	Діаметр оброблюваної деталі	75мм
	Довжина деталі,	300мм
	Діапазон розмірів шпонкових пазів	(4,0-25,0)мм
	Габаритні розміри верстату	1510x1900x2210
	Вага верстата	2250кг

050 зубозакруглювальна



Рис.3.31. зубозакруглювальний верстат моделі **BC-80**

Модель верстату	Характеристики верстату	Значення характеристики
BC-80	Зовнішнє зачеплення	
	Модуль оброблюваних зубчастих коліс	(1,5-6,0)мм
	Діаметр оброблюваних зубчастих коліс	(50-320)мм
	Кількість оброблюваних зубців	10-120
	Внутрішнє зачеплення	700 мм
	Модуль оброблюваних зубчастих коліс	(1,5-4,0)мм
	Найбільший зовнішній діаметр	180мм
	Найбільший діаметр зубчастого колеса	150мм
	Кількість оброблюваних зубців	17-100
	Найбільший діаметр фрези	Ø18мм
	Найбільше вертикальне переміщення інструменту	100мм
	Найбільше горизонтальне переміщення інструменту	140мм
	Кут повороту супорту у вертикальній площині вгору/вниз	(5/30)°
	Діаметр столу	250мм
	Діапазони частот обертання різального інструменту	(1075, 1630, 3258)об/хв.
	Потужність приводу головного руху різання	1,4, 1,5, 2,1 кВт
Габаритні розміри верстату	довжина 1675 мм ширина 1110 мм висота 1810 мм	
Маса верстата	2950 кг	

070 Круглошліфувальна з ЧПУ



Рис.3.32. Круглошліфувальний верстат моделі 3M151Ф2

Модель верстату	Характеристики верстату	Значення характеристики
3M151Ф2	Найбільший діаметр оброблюваного виробу	200 мм
	Найбільша довжина виробу	700 мм
	Діаметр шліфування	(10-200)мм

Найбільша довжина шліфування (найбільше поздовжнє переміщення столу)	700 мм
Найбільша маса виробу	55 кг
Частота обертання шпинделя шліфувальної бабки	1590 об/хв.
Найбільша кількість поверхонь, які обробляються за одну установку за управляючою програмою	8
Швидкість різання шліфувального круга	50 м/с
Швидкість переміщення стола верстату	(0,05-5,0)м/хв.
Діапазон подач на врізання	(0,1-4,5)мм/хв.
Діапазон частот обертання заготовки	(50-500)об/хв.
Величина переміщення шліфувальної бабки при шліфуванні	0,45мм
Електродвигун шпинделя шліфувальної бабки	10 кВт
Габаритні розміри верстату	довжина 4605 мм ширина 2450 мм висота 2170 мм
Маса верстата	6500 кг

075 Зубошліфувальна



Рис.3.33. Зубошліфувальний верстат з ЧПУ моделі **SMG 4056GF3**

Модель верстату	Характеристики верстату	Значення характеристики	
SMG 4056GF3	Найбільший діаметр оброблюваної поверхні	400мм	
	Діапазон оброблюваних модулів	(1-10)мм	
	Найбільша маса оброблюваної заготовки	100кг	
	Найбільша ширина зубчастої поверхні для прямозубого колеса	400мм	
	Найбільший діаметр шліфувального круга	(250-350)мм	
	Кут повороту шліфувальної бабки	$\pm 35^\circ$	
	Кількість керованих координат всього/одночасно	6/4	
	Дискретність переміщення за координатами: лінійними круговими		0,001мм
			0,001°
Маса верстата		9000кг	

3.12 Особливості проектування технологічних процесів виготовлення деталей тіл обертання з ускладненими конструктивними елементами

Деталі типу тіл обертання можуть мати ускладнені конструктивні елементи, які не відповідають типовим технологічним процесам виготовлення валів. Разом з тим, узагальнений алгоритм проектування технологічних процесів виготовлення деталей машин забезпечує проектування таких технологічних процесів. Для прикладу розглянемо проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус борштанги», 3-D модель якої наведено на рис. 3.34.

міцність та жорсткість конструкції деталі. Основні механічні характеристики сталі 40Х у відповідності до стандарту ГОСТ4543-2016 наведені в табл.3.11.

Таблиця 3.11- Фізико-механічні характеристики сталі 40Х ГОСТ 4543-2016

Границя міцності, σ_s , МПа	Границя текучості, σ_m , МПа	Густина, ρ кг/м ³
980	780	7820

Заготовка деталі «Корпус борштанги», з урахуванням вибраного конструктором матеріалу, повинна виготовлятися методами пластичного деформування. Для виготовлення заготовки методами пластичного деформування можна використовувати наступні методи:

- відрізання заготовки з гарячекатаного або холодно тягнутого прокату;
- виготовлення заготовки вільним куванням;
- штампування заготовки у відкритих або закритих штампах;
- виготовлення заготовки ротаційним обтисненням.

Для умов багатоменклатурного серійного виробництва може бути використано метод штампування на горизонтально-кувальній машині (ГКМ), який може забезпечити збільшення розміру вихідної заготовки в осьовому напрямку. Ескіз такої заготовки наведено на рис.3.36.

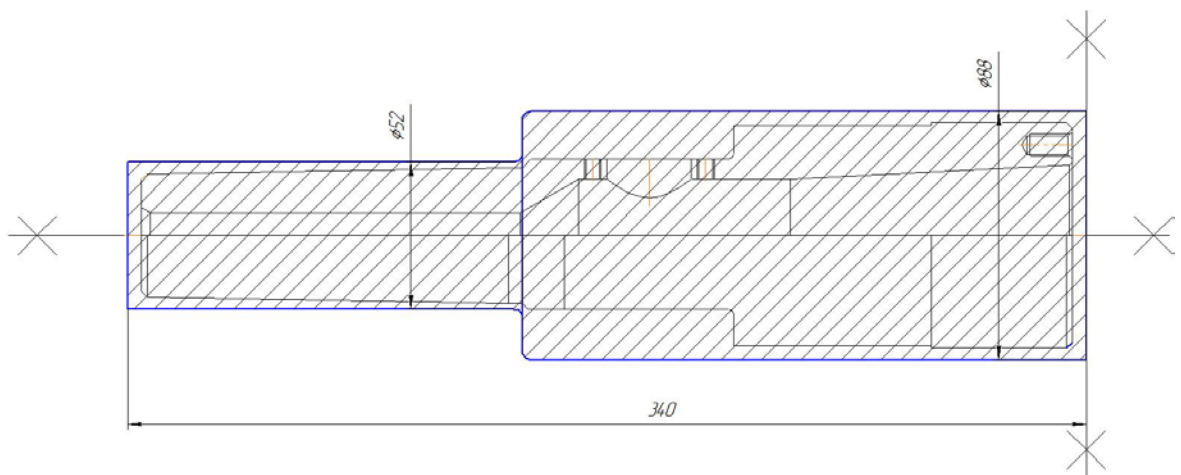


Рис.3.36. Ескіз заготовки деталі «Корпус борштанги»

3.12.1 Визначення технологічних баз для процесу виготовлення деталі «Корпус борштанги»

Для визначення технологічних баз використовуємо узагальнений алгоритм, який передбачає: визначення загальних технологічних баз та технологічних баз для перших операцій. Необхідно приймати до уваги, що визначення технологічних баз для конструкції деталі «Корпус борштанги» має суттєві відмінності від конструкцій традиційних валів.

Для визначення загальних технологічних баз необхідно виконати класифікацію поверхонь деталі за службовим призначенням (рис.3.37.).

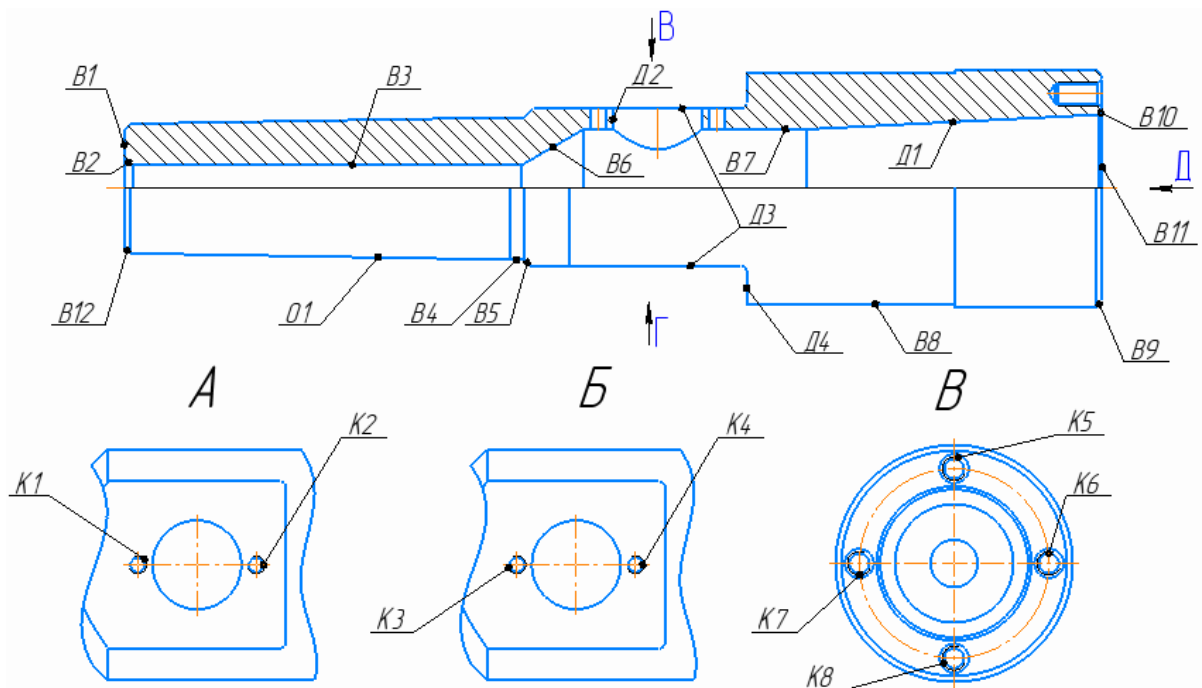


Рис.3.37. Класифікація поверхонь деталі «Корпус борштанги» за службовим призначенням

Основною конструкторською базою деталі є конічна поверхня О1, яка визначає положення деталі в шпинделі верстату. Ця поверхня може використовуватись в технологічному процесі виготовлення деталі, як загальна технологічна база та забезпечувати оброблення частини поверхонь деталі, відповідна схема базування по поверхні ОКБ (О1) наведена на рис.3.38.

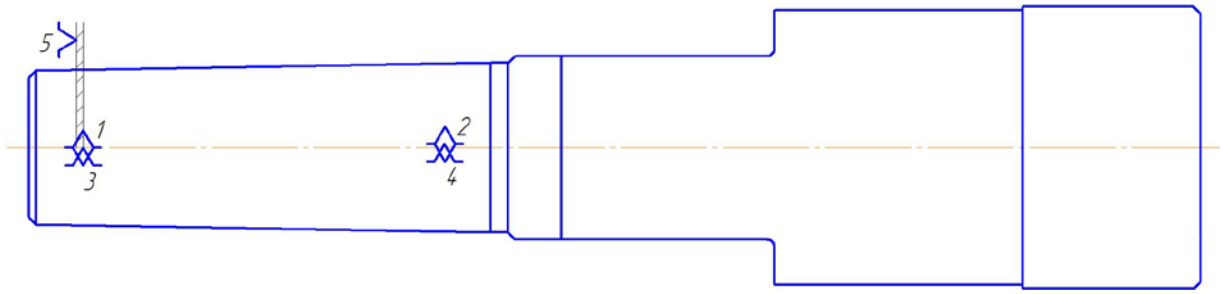


Рис.3.38. Теоретична схема базування деталі «Корпус борштанги» по загальній технологічній базі

Структурна формула схеми базування (рис.3.38) по загальних технологічних базах має вид:

$$СБ_{ЗТБ} \Rightarrow ПН(4)+О(1) \quad (3.11)$$

Аналіз схеми базування (рис.3.38) свідчить про те, що така схема базування по загальних технологічних базах не може забезпечити оброблення всіх поверхонь заготовки, відповідно, за таких умов, необхідно визначити додатковий комплект загальних технологічних баз. Найчастіше додатковим комплектом ЗТБ є поверхні допоміжних конструкторських баз. У відповідності до класифікації поверхонь деталі «Корпус борштанги» найбільш відповідальними поверхнями допоміжних конструкторських баз є кінцева поверхня Д1, яку і необхідно використовувати як другий комплект загальних технологічних баз. Для цієї поверхні встановлюються підвищені вимоги до точності просторового розташування відносно поверхні О1. Схему базування по кінчній поверхні Д1 наведено на рис.3.39.

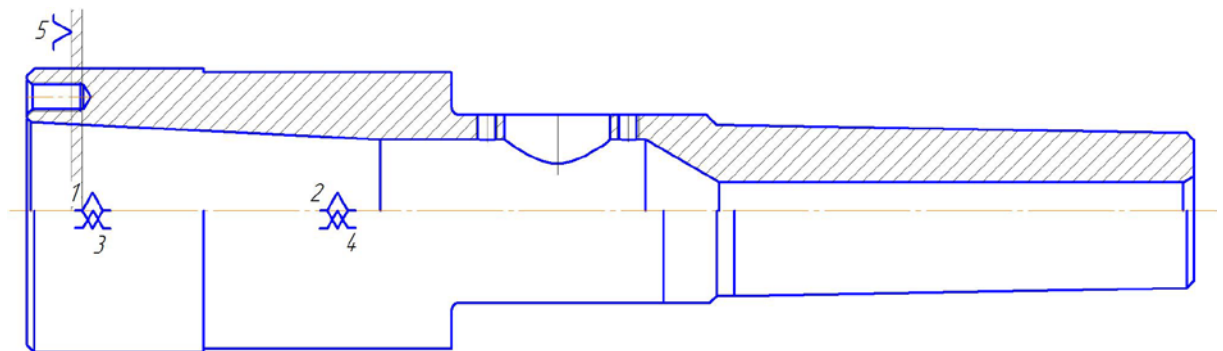


Рис.3.39. Теоретична схема базування деталі «Корпус борштанги» по другому комплекту загальних технологічних баз

Структурна формула схеми базування (рис.3.39) по другому комплекту загальних технологічних баз має вид:

$$СБ_{зТБ} \Rightarrow ПН(4) + O(1) \quad (3.12)$$

Необхідно приймати до уваги, що схеми базування по загальних технологічних базах (рис.3.38. та рис.3.39.) характеризуються наявністю похибки базування на лінійні розміри оброблюваних поверхонь, оскільки базування необхідно здійснювати по кінчних поверхнях. Окрім того, використання кінчних поверхонь для базування заготовки вимагає використання спеціальних пристроїв, які можуть забезпечити реалізацію запроєктованих теоретичних схем базування по поверхнях загальних технологічних баз. З аналізу наведених схем базування є очевидним, що в технологічному процесі виготовлення деталі «Корпус борштанги» на різних етапах оброблення будуть використовуватись обидві схеми базування.

На наступному етапі визначення технологічних баз для перших операцій необхідно приймати до уваги конструкцію заготовки. Схема базування по технологічній базі повинна забезпечити оброблення на першій операції одного з комплектів загальних технологічних баз. Схема базування заготовки, яка вирішує такі завдання на першій операції наведено на рис.3.40.

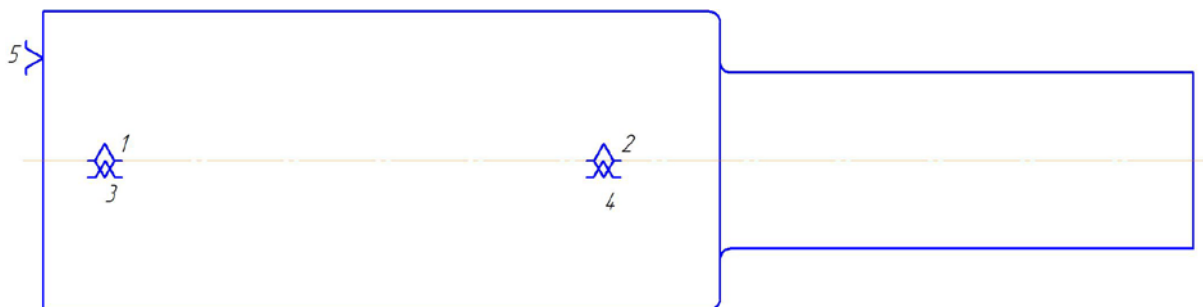


Рис.3.40. Теоретична схема базування деталі «Корпус борштанги» по технологічній базі на першій операції

Структурна формула схеми базування (рис.3.40) по другому комплекту загальних технологічних баз має вид:

$$СБ_{ТБ} \Rightarrow ПН(4) + O(1) \quad (3.13)$$

Необхідно звернути увагу на те, що структурні формули схем базування (рис.3.38., рис.3.39. та рис.3.40.) є однаковим, але кожна з них буде мати відмінну від інших конструктивну реалізацію.

Необхідно прийняти до уваги, що для першої технологічної операції може бути використана і друга теоретична схема базування, яка передбачає базування по торцевій поверхні У(3) та циліндричній поверхні ПО(2). Загальна структурна формула такої схеми базування має вид:

$$СБ_{ТБ} \Rightarrow У(3)+ПО(2) \quad (3.14)$$

Але враховуючи співвідношення розмірів заготовки $l/d = 330/80 = 4,125$ перевагу необхідно віддати схемі базування рис.3.40, яка буде використана для першої операції. Додатково необхідно приймати до уваги, особливості схем базування по загальних технологічних базах О1 та Д1, які вимагають застосування спеціальних засобів реалізації, а саме конічних оправок з різними базовими розмірами. Тому на етапі чорнового оброблення, де необхідно видалити більшу частину припусків на оброблення поверхонь і будуть виникати великі складові сили різання, можливим є використання не конічних поверхонь, а циліндричних з припусками для подальшого формування конічних базових поверхонь на наступних етапах оброблення. Такі умови дають можливість на чорновому етапі оброблення використовувати стандартні самоцентрувальні патрони, якими оснащені токарні верстати з ЧПК. А завершальне оброблення деталі «Корпус борштанги» необхідно виконувати у відповідності до загальних закономірностей проектування технологічних процесів.

3.12.2 Проектування послідовностей оброблення елементарних поверхонь деталі «Корпус борштанги»

Аналіз геометричних характеристик поверхонь деталі «Корпус борштанги» свідчить про те, що всі поверхні утворюються за кінематичною схемою оброблення, яка повинна включати головний обертальний рух різання та поступальний рух подачі. Попереднє чорнове оброблення доцільно виконувати на токарних верстатах з ЧПК, а завершальне оброблення найбільш відповідальних поверхонь О1 та Д1 виконувати на шліфувальних верстатах, які можуть забезпечити задані характеристики якості оброблених поверхонь, які

визначені робочи креслеником деталі. Типові послідовності оброблення всіх обробних поверхонь деталі «Корпус борштанги» наведені в табл.3.11.

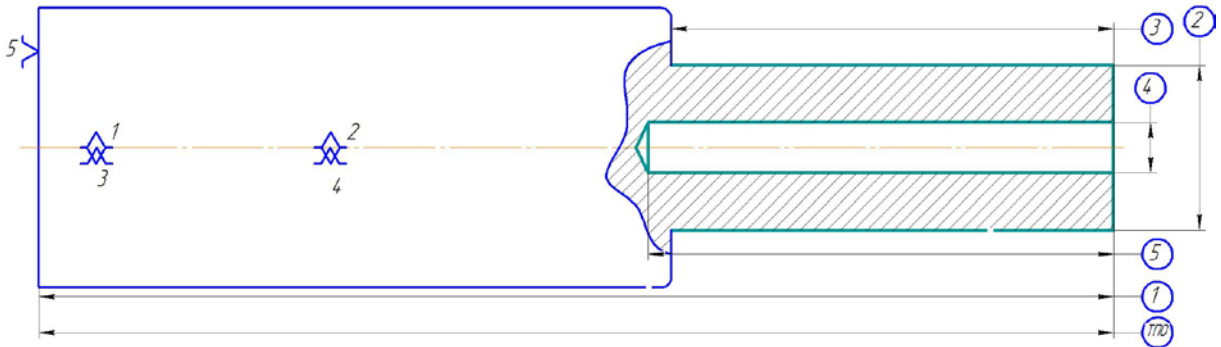
Таблиця 3.12- Технологічні послідовності оброблення елементарних поверхонь заготовки деталі «Корпус борштанги»

№	Характеристики якості поверхонь за креслеником		Технологічна послідовність оброблення (можливі варіанти)	Характеристики якості поверхні після оброблення	
	Точність розмірів IT	Параметр шорсткості R_a , мкм		Точність розмірів IT	Параметр шорсткості R_a , мкм
1	2	3	4	5	6
O1	7	0,63	Точіння попереднє Точіння завершальне Шліфування попереднє Шліфування завершальне	12 10 8 7	10 6,3 2,5 0,63
Д1	7	0,63	Свердління Розточування попереднє Розточування завершальне Шліфування попереднє Шліфування завершальне	12 10 9 8 7	20 10 6,3 2,5 0,63
B8	8	1,25	Точіння попереднє Точіння завершальне Шліфування попереднє Шліфування завершальне	12 10 9 8	10 6,3 2,5 1,25
B1, B2, B9, B10, B11, B12	14	2,5	Точіння попереднє Точіння завершальне	12 10	10 2,5
B3, B6, B7	12	10	Свердління	12	10
B4, B5	10	5,0	Точіння попереднє Точіння завершальне	12 10	10 5,0
Д3, Д4	10	5,0	Фрезерування попереднє Фрезерування завершальне	12 10	10 5,0
Д2	8	2,5	Свердління Зенкерування попереднє Зенкерування завершальне	12 10 8	10 5,0 2,5
K1, K2, K3, K4	7H	5,0	Центрування Свердління Зенкування Нарізання нарізі	- 12 12 7H	- 10 10 5,0
K5, K6, K7, K8	7H	5,0	Центрування Свердління Зенкування Нарізання нарізі	- 12 12 7H	- 10 10 5,0

3.12.3 Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус борштанги»

005 Токарна з ЧПК верстат HAAS TL-1

А. Установити, закріпити, зняти



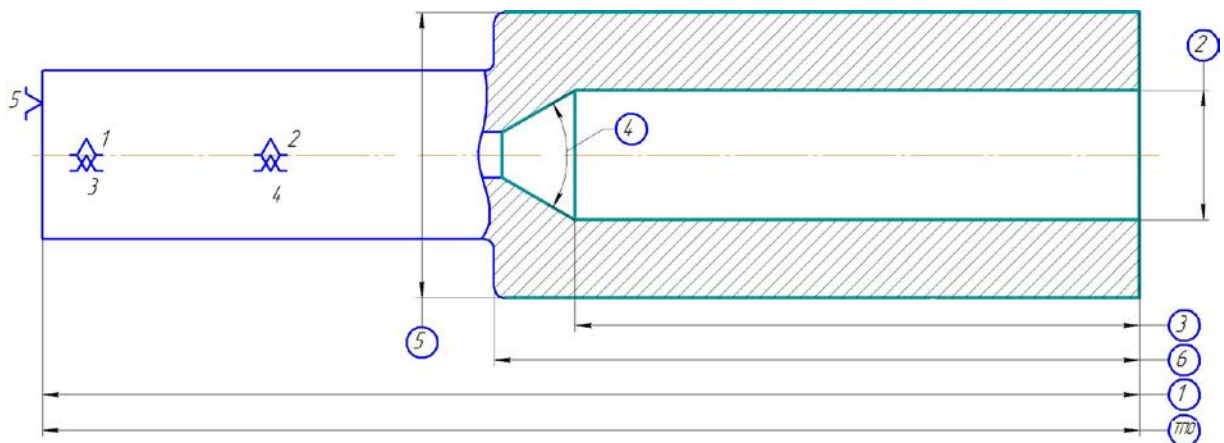
005.01 Точити торцеву поверхню В1 попередньо, витримуючи розмір 1

005.02 Точити зовнішню циліндричну поверхню О1 попередньо, витримуючи розміри 2,3

005.03 Свердлити центральний отвір В3 остаточно, витримуючи розміри 4,5

010 Токарна з ЧПК верстат HAAS TL-1

А. Установити, закріпити, зняти



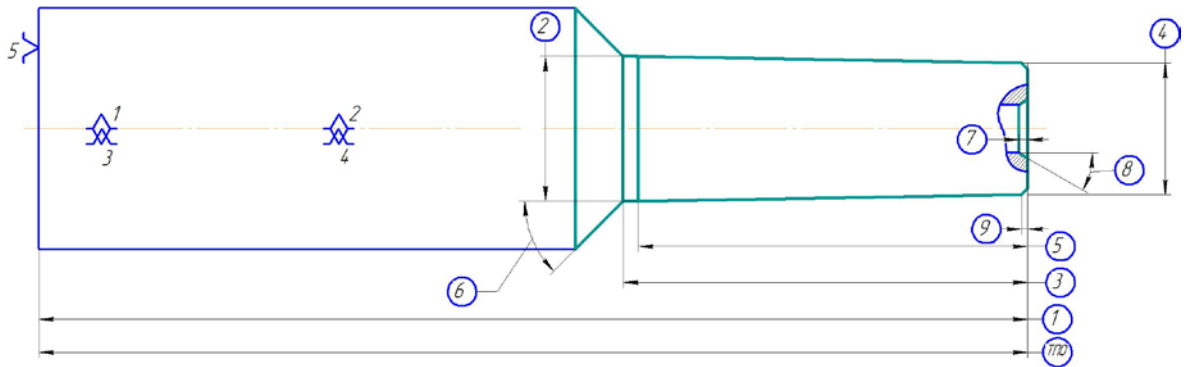
010.01 Точити торцеву поверхню В11 попередньо, витримуючи розмір 1

010.02 Свердлити центральний отвір В7, В6 остаточно, витримуючи розміри 2,3,4

010.03 Точити зовнішню циліндричну поверхню В8 попередньо, витримуючи розміри 5,6

015 Токарна з ЧПК верстат HAAS TL-1

А. Установити, закріпити, зняти



015.01 Точити торцеву поверхню В1 остаточно, витримуючи розмір 1

015.02 Точити зовнішню циліндричну поверхню О1 остаточно, витримуючи розміри 2,3

015.03 Точити зовнішню конічну поверхню О1 остаточно, витримуючи розміри 4,2,5

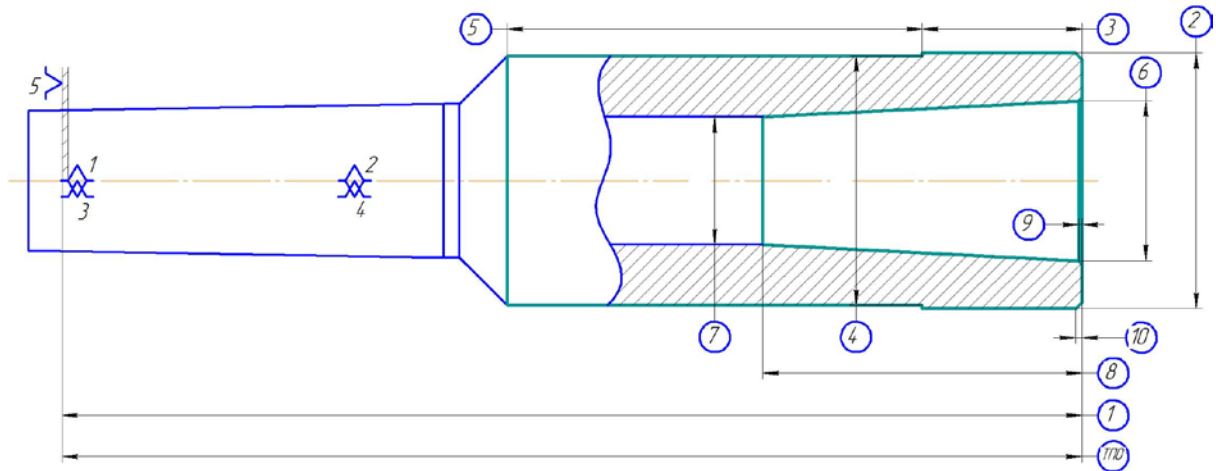
015.04 Точити зовнішню конічну поверхню В4 остаточно, витримуючи розміри 2,6

015.05 Точити фаску внутрішнього отвору В3 остаточно, витримуючи розміри 7,8

015.06 Точити зовнішню фаску В12 остаточно, витримуючи розмір 9

020 Токарна з ЧПК верстат HAAS TL-1

А. Установити, закріпити, зняти



020.01 Точити торцеву поверхню В11 остаточно, витримуючи розмір 1

020.02 Точити зовнішню циліндричну поверхню В8 остаточно, витримуючи розміри 2,3

020.03 Точити зовнішню циліндричну поверхню В7 остаточно, витримуючи розміри 4,5,(3)

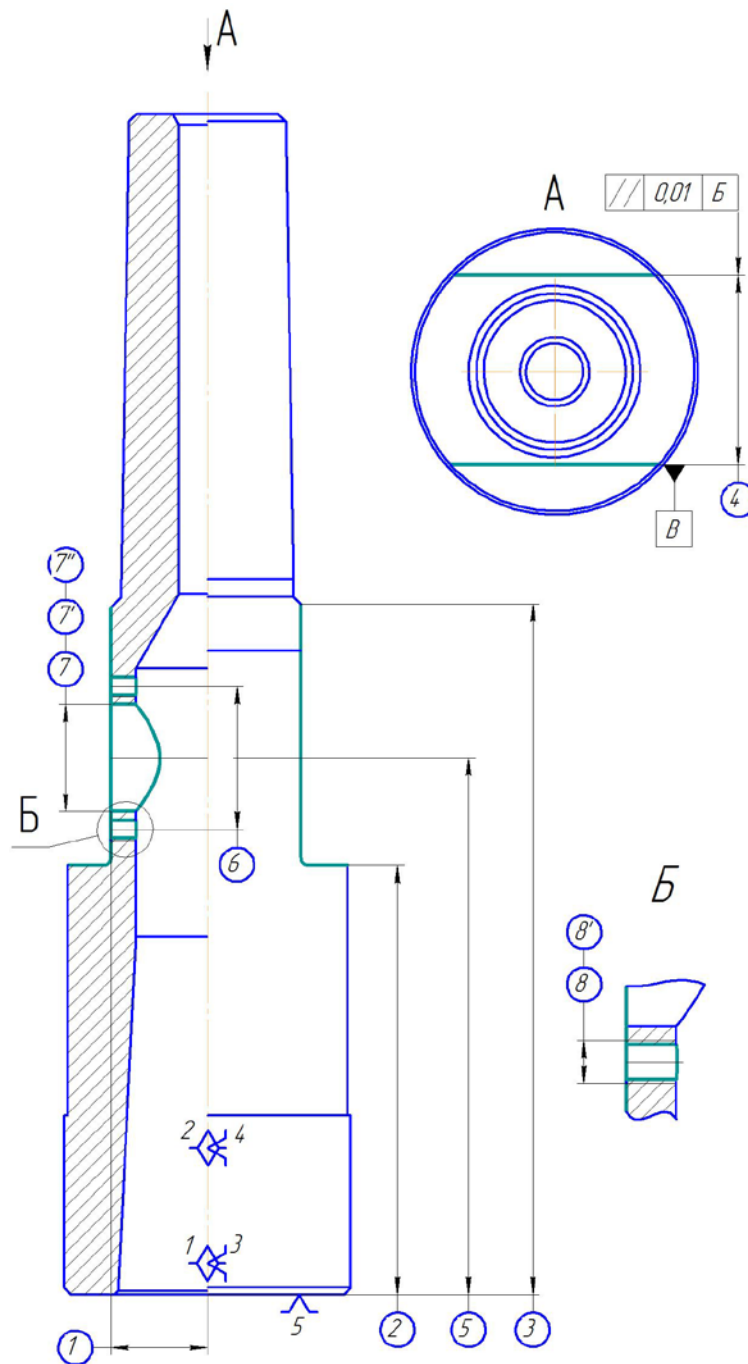
020.04 Точити внутрішню конічну поверхню Д1 остаточно, витримуючи розміри 6,7,8

020.05 Точити внутрішню фаску В10 остаточно, витримуючи розмір 9.

020.06 Точити зовнішню фаску В9 остаточно, витримуючи розмір 10

025 Багатоцільова з ЧПК верстат HAAS EC-400

А. Установити, закріпити, зняти



025.01 Фрезерувати лиску ДЗ остаточно, витримуючи розміри 1, 2, 3

Б. Повернути стіл верстату на 180° за годинниковою стрілкою

025.02 Фрезерувати лиску ДЗ остаточно, витримуючи розміри 1, 2, 3, 4

025.03 Центрувати положення осей п'яти отворів Д₂, К₁, К₂, К₃, К₄ послідовно остаточно, витримуючи розміри 5, 6

025.04 Свердлити наскрізний отвір Д₂ остаточно, витримуючи розміри 5,7

025.05 Розточити наскрізний отвір Д₂ попередньо, витримуючи розміри 5,7'

025.06 Свердлити два кріпильні отвори К1, К2 послідовно остаточно, витримуючи розміри 5, 6, 8

В. Повернути стіл верстату на 180° за годинниковою стрілкою

025.07 Свердлити два кріпильні отвори К3, К4 послідовно остаточно, витримуючи розміри 5, 6, 8

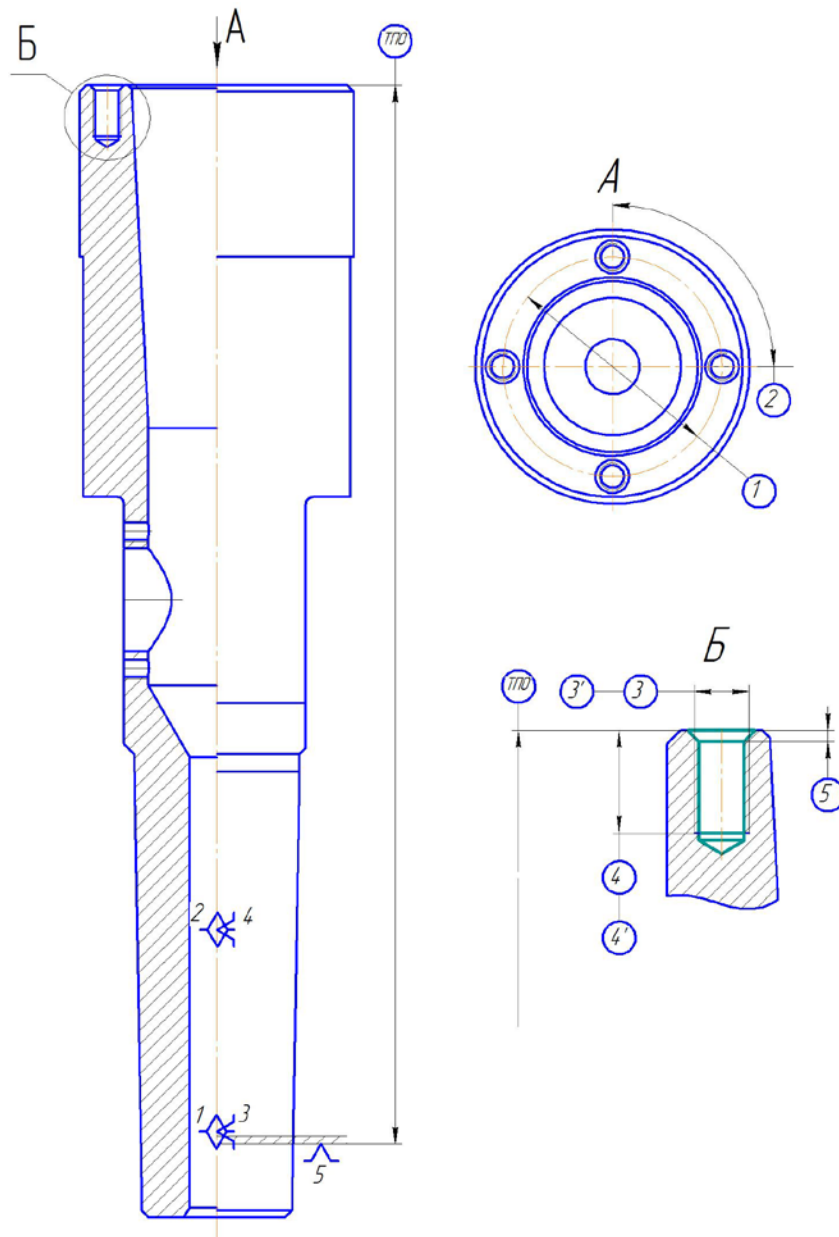
025.08 Зенкувати фаски у чотирьох кріпильних отворах К1, К2, К3, К4 послідовно остаточно, витримуючи розміри 9 (5, 6, 8)

025.09. Нарізати нарізі в чотирьох кріпильних отворах К1, К2, К3, К4 послідовно остаточно, витримуючи розміри 8', (6,5)

025.10 Розточити наскрізний отвір Д2 остаточно, витримуючи розміри 5,7"

030 Вертикально-свердлильна з ЧПК верстат HAAS DT-1

А. Установити, закріпити, зняти



030.01. Центрувати положення осей чотирьох кріпильних отворів К5, К6, К7, К8 послідовно остаточно, витримуючи розміри 1, 2

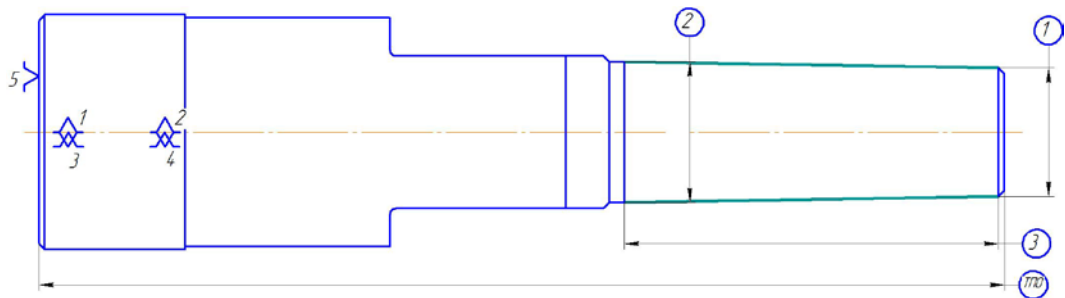
030.02. Свердлити чотири кріпильні отвори К5, К6, К7, К8 послідовно остаточно, витримуючи розміри 1, 2, 3, 4

030.03. Зенкувати фаски в чотирьох кріпильних отворах К5, К6, К7, К8 послідовно остаточно, витримуючи розміри 5,(1, 2)

030.04. Нарізати нарізи в чотирьох кріпильних отворах К5, К6, К7, К8 послідовно остаточно, витримуючи розміри 3', 4', (1,2)

035 Шліфувальна з ЧПК верстат моделі 3В130Ф4

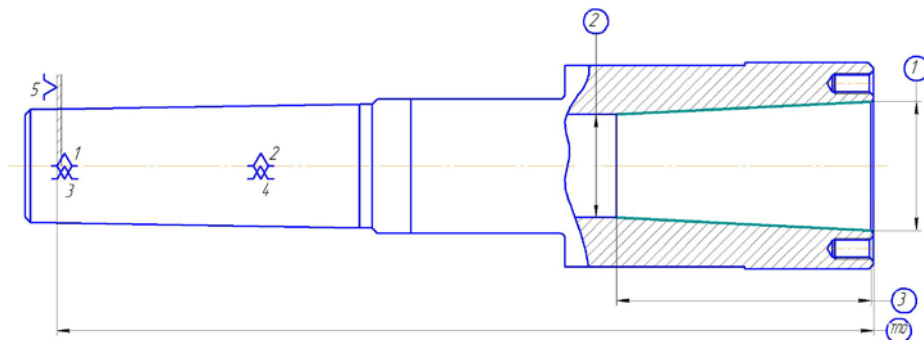
А. Установити, закріпити, зняти



035.01 Шліфувати зовнішню конічну поверхню О1 попередньо, витримуючи розміри 1,2,3

040 Внутрішньошліфувальна з ЧПК верстат моделі 3В130Ф4

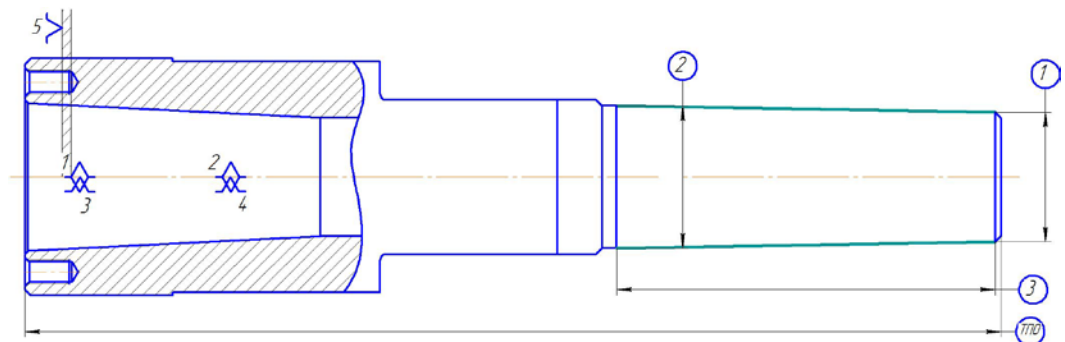
А. Установити, закріпити, зняти



040.01 Шліфувати внутрішню конічну поверхню Д1 попередньо, витримуючи розміри 1,3

045 Шліфувальна з ЧПК верстат моделі 3В130Ф4

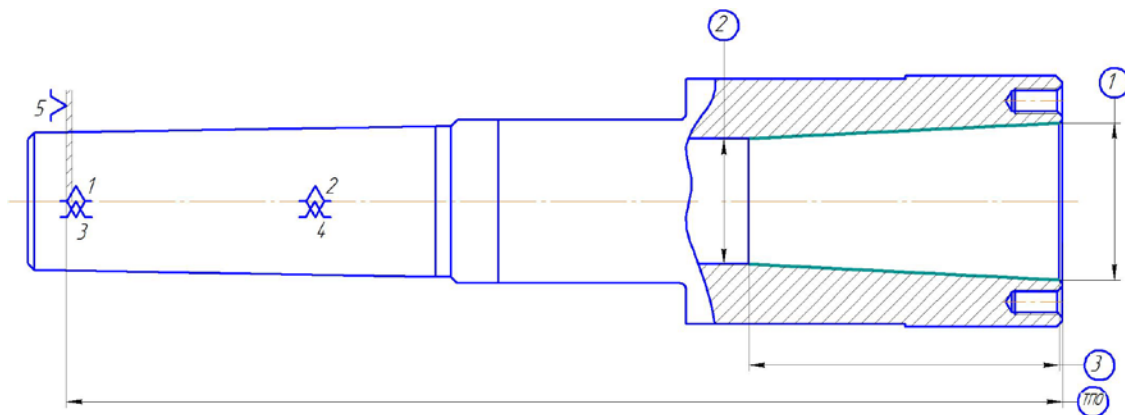
А. Установити, закріпити, зняти



045.01 Шліфувати зовнішню кінчну поверхню O1 остаточно, витримуючи розміри 1, 2, 3

050 Внутрішньошліфувальна з ЧПК верстат моделі 3В130Ф4

А. Установити, закріпити, зняти



050.01 Шліфувати внутрішню кінчну поверхню D1 остаточно, витримуючи розміри 1, 2, 3

055 Мийна

060 Контрольна

3.12.4 Короткий опис вибору верстатного обладнання для технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус борштанги»



Рис.3.41. Універсальний токарний верстат з ЧПУ HAAS TL-1

Модель верстату	Характеристики верстату	Значення характеристики
HAAS TL-1	Висота центрів над станиною	508мм
	Висота центрів над кареткою	279мм
	Максимальна довжина оброблення	762мм
	Максимальна частота обертання шпинделя	1800/3000 об/хв.
	Переміщення по осі X	203мм
	Переміщення по осі Z	762мм
	Максимальна швидкість поздовжніх переміщень	11400±6%мм/хв.
	Кількість інструментів у револьверній головці	4/8
	Точність позиціонування	±0,01мм
	Кількість одночасно керованих координат	2
	Максимальне осьове зусилля X/Z	17,3/8,7кН
	Потужність електродвигуна	7,5кВт
	Маса верстату	2230кг



Рис.3.42. Горизонтальний обробляючий центр HAAS EC-400

Модель верстату	Характеристики верстату	Значення характеристики
HAAS EC-400	Максимальний діаметр оброблюваної заготовки	Ø500мм
	Максимальна висота оброблюваної заготовки	500мм
	Максимальна частота обертання шпинделя	12000об/хв.
	Переміщення по осі X	508мм
	Переміщення по осі Y	508мм
	Переміщення по осі Z	508мм
	Розміри змінних палет	400x400мм
	Кількість змінних палет	2
	Кількість позицій в магазині інструментів	40+1
	Максимальний діаметр інструмента	76мм
	Максимальний діаметр при вільних сусідніх позиціях	152мм
	Максимальна довжина інструменту	300мм
	Максимальний час на зміну інструменту	1,6/2,8с
	Потужність електродвигуна	22,3кВт
	Маса верстату	9072кг

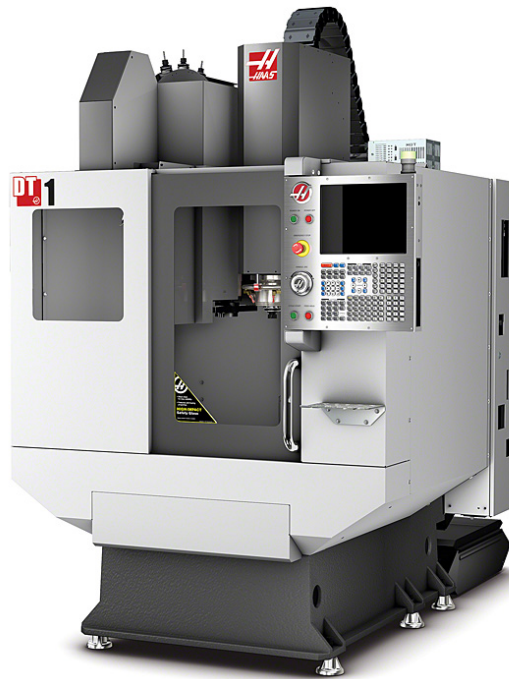


Рис.3.43. Вертикальний свердлильний верстат з ЧПУК HAAS DT-1

Модель верстату	Характеристики верстату	Значення характеристики
HAAS DT-1	Максимальна відстань від поверхні стола до торцевої поверхні шпинделю	546мм
	Мінімальна відстань від поверхні стола до торцевої поверхні шпинделю	152мм
	Максимальна частота обертання шпинделя	15000об/хв.
	Переміщення по осі X	508мм
	Переміщення по осі Y	406мм
	Переміщення по осі Z	394мм
	Довжина робочого столу	660мм
	Ширина робочого столу	381мм
	Максимальне рівномірне навантаження на робочий стіл	113кг
	Кількість позицій в магазині інструментів	20+1
	Максимальний діаметр інструмента при зайнятих сусідніх позиціях	51мм
	Максимальна маса інструмента	2,5кг
	Час зміни інструменту	1,8с
	Максимальна швидкість робочих подач (осі X, Y, Z,)	30,5м/хв.
	Максимальна швидкість холостих переміщень	61,0м/хв.
	Точність позиціонування	±0,0050мм
	Повторюваність	±0,0025 мм
Потужність електродвигуна	11,2кВт	
Маса верстату	2750кг	



Рис.3.44. Круглошліфувальний верстат моделі 3В130Ф4

Модель верстату	Характеристики верстату	Значення характеристики
3В130Ф4	Максимальний розмір заготовки, що може бути встановлена в центрах Φ/l	300/1000мм
	Максимальний розмір заготовки, що може бути встановлена в патроні Φ/l	200/250мм
	Максимальний розмір оброблюваної поверхні в центрах Φ/l	300/900мм
	Максимальний розмір оброблюваної поверхні в патроні Φ/l	200/240мм
	Мінімальний розмір оброблюваної поверхні в патроні	$\Phi 5$ мм
	Максимальна маса заготовки при обробленні в центрах/патроні	75/20кг
	Найбільші розміри шліфувального круга діаметр/висота	500/80мм
	Найбільша швидкість різання	50м/с
	Характеристики круглості циліндричної поверхні при обробленні в центрах та патроні	1,6мкм
	Характеристики циліндричності циліндричної поверхні при обробленні в центрах	5мкм
	Параметри шорсткості зовнішньої циліндричної поверхні R_a	0,16мкм
	Система ЧПУ Sinumeric-840D	
	Кількість інтерпольованих координат (осі X, Z, C)	3
	Кількість одночасно керованих координат	до 32
	Потужність електродвигуна	15,3кВт
Маса верстату	5300кг	

Питання для самопідготовки:

1. Конструктивні особливості валів
2. Службове призначення валів та умови їх роботи у вузлах
3. Основні технічні вимоги до поверхонь валів
4. Конструкційні матеріали та методи виготовлення заготовок
5. Визначення загальних технологічних баз для оброблення валів
6. Визначення технологічних баз для першої операції оброблення валів
7. Схеми базування валів у технологічних процесах оброблення валів
8. Технологічні завдання чорнового оброблення валів
9. Види завершального оброблення робочих поверхонь валів
10. Завдання та місце операцій термічного оброблення в технологічних процесах виготовлення валів
11. Завдання та місце операцій контролю в технологічних процесах виготовлення валів

Розділ 4

ВЕРСТАТИ ТА ПРИСТРОЇ ДЛЯ ТОКАРНОГО ОБРОБЛЕННЯ ЗАГОТОВОК

При проектуванні технологічних операцій оброблення на токарних верстатах необхідно обґрунтовано визначати характеристики верстата, які можуть забезпечити ефективні умови оброблення в залежності від техніко-організаційних умов виробництва. При виконанні технологічного підготовлення нового виробництва необхідно передбачати переважне використання сучасних верстатів з ЧПУ та багатофункціональних верстатів на їх основі. Традиційні машинобудівні виробництва, які базуються на переважному використанні верстатів з ручним управлінням найближчим часом не зможуть бути конкурентоздатними на сучасному ринку виробів машинобудування. Реконструкція та переоснащення машинобудівного виробництва України вимагає залучення значних інвестицій та надійного забезпечення кваліфікованими кадрами, які будуть мати здатності ефективно взаємодіяти з високопродуктивними верстатними системами та сучасними системами організації, обслуговування та підтримання виробництва.

4.1 Технічні та технологічні характеристики верстатів токарної групи

4.1.1 Основні умови функціонування

1. Розміри робочого простору для розміщення заготовок, інструментів та пристроїв
2. Розміщення оброблюваних поверхонь, їх кількість та розміри
3. Найбільша маса заготовки, яка може бути встановлена та способи її закріплення
4. Діапазони частоти обертання шпинделю та подач робочих органів
5. Основна форма оброблюваних заготовок (визначає просторове розміщення робочих органів верстату)

6. Кількість, форма та параметри інструментів, які встановлюються для штатних методів оброблення
7. Кількість керованих координат (в тому числі і одночасно) переміщення робочих органів верстату
8. Дискретність переміщення по осям координат

4.1.2 Характеристики продуктивності верстатів

1. Потужність головного приводу та механізму подач
2. Швидкості робочих переміщень
3. Швидкості холостих та установочних переміщень
4. Кількість переходів та робочих ходів, що реалізуються на верстаті
5. Наявність автоматизації основних та допоміжних циклів оброблення
6. Оснащеність додатковими пристроями та засобами
7. Кількість одночасно оброблюваних заготовок та встановлених інструментів

4.1.3 Характеристики точності верстатів

1. Вихідна геометрична та кінематична точність верстату
2. Точність установки заготовки та точність позиціонування робочих органів
3. Вихідна точність заготовки та об'ємна стабільність характеристик якості
4. Розмірна зносостійкість різальних інструментів
5. Статичні, динамічні та теплові деформації елементів верстату, заготовки та інструментів
6. Можливість коригування переміщень формоутворюючих елементів
7. Характерні ознаки зношування елементів та вузлів верстату

4.1.4 Експлуатаційні властивості верстатів

1. Загальна маса верстата
2. Загальна площа, яка необхідна для розміщення верстата
3. Надійність роботи вузлів та систем верстата
4. Питома енергоємність

5. Матеріалоемність
6. Технічна та експлуатаційна безпечність та економічність
7. Зручність управління, експлуатації та обслуговування
8. Ремонтпридатність

4.1.5 Класифікація токарних верстатів за ступенем автоматизації

Ступінь автоматизації-це співвідношення часу виконання автоматичних переходів до загального часу оброблення заготовки на верстаті. За ступенем автоматизації токарні верстати поділяють:

- верстати з ручним управлінням;
- верстати з напівавтоматичним управлінням;
- верстати з автоматизованим управлінням.

Ручне управління токарними верстатами передбачає установку заготовки та інструментів, позиціонування робочих органів та формування базових циклів вручну. Допускає автоматизоване позиціонування робочих органів та формування базових циклів

Напівавтоматичне управління токарними верстатами передбачає постійність базових циклів, які сформовані вручну. Часткова зміна етапів базових циклів вручну. Довільна зміна базових циклів з заміною інструментів вручну.

Автоматизоване управління токарними верстатами передбачає довільну автоматизовану зміну базових циклів з заміною інструментів. Довільну автоматичну зміну послідовності виконання базових циклів з відповідною зміною послідовності роботи інструментів. Те ж саме, включаючи маніпуляції з заготовкою та оброблюваною деталлю. Повну автоматизовану організацію циклу виготовлення деталі.

4.1.6 Техніко-економічні показники верстатів

Головним показником роботи верстата є продуктивність оброблення, яку визначають здатністю верстата забезпечувати оброблення певної кількості

виробів в одиницю часу. Для оцінювання продуктивності оброблення на верстаті використовують такі показники :

- штучна продуктивність визначається кількістю деталей, що оброблюються на верстаті за одиницю часу;
- продуктивність процесу різання характеризують об'ємом матеріалу, що видаляється з поверхні заготовки за одиницю часу;
- продуктивність формоутворення характеризують площею поверхні, що оброблюється на верстаті за одиницю часу, $\text{см}^2/\text{хв.}$.

Середня продуктивність оброблення різними видами та питома потужність, яка необхідна для їх виконання наведена в табл.4.1.

Таблиця 4.1- Середня продуктивність оброблення

№ п/п	Вид оброблення	Продуктивність оброблення різанням, $\text{см}^3/\text{хв.}$	Питома потужність,
1	Точіння	1500	0,06
2	Фрезерування	1000	-
3	Шліфування	800	0,60
4	Електроіскрове	15	1,0
5	Електрохімічне	15	10,0
6	Ультразвукове	1,0	25,0
7	Лазерне	0,01	4000,0

4.1.7 Геометричні та кінематичні похибки верстатів

Похибки верстатів поділяють на геометричні та кінематичні. Геометричні похибки верстатів визначають похибки взаємного розміщення вузлів верстата і залежать від якості його виготовлення та складання. Геометричні характеристики якості виробу машинобудування включають:

- точність розмірів;
- точність форми в поздовжніх та поперечних перерізах;
- точність взаємного розміщення поверхонь;
- характеристики поверхні, які визначають хвилястість та шорсткість поверхні.

Кінематичні похибки верстатів впливають на точність руху робочих органів верстату, на формоутворення при обробленні складних поверхонь,

наприклад зубчастих та шліцьових поверхонь, які утворюються методами обкатування, змінною жорсткістю вузлів верстату та включають:

- похибки пружних деформацій вузлів верстата;
- температурні деформації елементів верстата (шпинделя, різцетримачів);
- динамічні пружні переміщення та переміщення в автоколивальних процесах;
- похибки просторового розміщення вузлів верстата в результаті зношування.

Необхідно приймати до уваги, що технологічні характеристики верстатів з ЧПУ постійно вдосконалюються, що створює умови застосування нових схем оброблення, які раніше були недоступними. Незважаючи на те, що загальна конструкція токарного верстата з ЧПУ та верстата з ручним управлінням є подібною і включає: станину, передню бабку з шпинделем верстата, супорт з різцетримачем та задню бабку конструкції окремих складових верстата незмінно вдосконалюються. Головний привід верстата з ЧПУ забезпечує безступеневу зміну частоти обертання шпинделя в широкому діапазоні, зміна конструктивного виконання окремих складових (конструкції станини, супорта з різцетримачем) забезпечує підвищення загальної жорсткості верстата, механізм подач базується на застосуванні кульково-гвинтових передач, які забезпечують високу точність позиціонування різальних інструментів у процесі оброблення, зміна конструкції супорту з різцетримачем (револьверною головкою) дає змогу збільшити загальну кількість інструментів, які можуть бути одночасно налагоджені для оброблення, а система спеціальних оправок для встановлення різальних інструментів, забезпечує налагодження інструменту в оправках за межами верстата і при його установленні в різцетримач виключає необхідність додаткового регулювання. Розміщення в супортах сучасних верстатів додаткових відокремлених приводів дає змогу, при незмінній установці заготовки обробляти отвори, які не співпадають з віссю заготовки,

фрезерувати поверхні, обробляти короткі шліцьові та зубчасті поверхні. Конструкція верстата додатково може бути оснащена самоцентрувальними люнетами, які забезпечують ефективне оброблення заготовок малої жорсткості при їх базуванні в патроні та задньому центрі або в центрах. Найбільш важливою складовою сучасного токарного верстата є система числового програмного управління, яка здатна в автоматизованому режимі забезпечити послідовність оброблення заготовки, яка попередньо сформована в управляючій програмі. За таких умов характеристики якості оброблення поверхонь визначаються не кваліфікацією робітника, а кваліфікаційним рівнем проектанта технологічної операції. Нові технологічні можливості верстатів з ЧПУ та особливо багатофункціональних верстатів на їх основі вимагають значного підвищення рівня технологів-проектантів для повного та ефективного використання можливостей таких верстатів.

В табл.4.2 наведено загальний вид сучасного токарного верстата з ручним управлінням та його основні технічні характеристики, які можуть забезпечити обґрунтований вибір верстата та визначити ефективні умови застосування [www.knuth.net.ua].

Таблиця 4.2-Основні технічні характеристики токарних верстатів з ручним управлінням моделі MASTERTURN 400

Загальний вигляд токарного верстату моделі MASTERTURN 400



продовження табл. 4.2

№ п/п	Моделі верстатів MASTERTURN 400		400/1000	400/1500
	Основні технічні характеристики		Діапазони зміни параметрів	
1	Найбільший діаметр оброблення, мм	над станиною	400	
		над супортом	240	
2	Найбільша довжина деталі, яку можна встановити на верстаті для оброблення, мм		1000	1500
3	Діапазони безступеневої зміни частоти обертання шпинделя, об/хв	мінімальний	(50 – 950)	
		максимальний	(160 – 3000)	
4	Діапазони зміни подачі, мм/об	поздовжньої	(0,038-0,678)	
		поперечної	(0,015 – 0,292)	
6	Найбільша сила, яка допускається механізмом подач, $[P]_{\text{мл}}$		8000Н	
7	Потужність двигуна головного приводу верстату N_d , кВт		7,5кВт	
8	Найбільший розмір державки, яка встановлюється в револьверній головці Н·В, мм		25x20 (Ø25)	
9	Наскрізний отвір в шпинделі верстату Ø, мм		52	
10	Маса верстату, кг		1500	2300

В табл.4.3 наведено загальний вигляд сучасного токарного верстата з ЧПУ та його основні характеристики, які можуть забезпечити обґрунтований вибір верстата та визначити ефективні умови його застосування [www.knuth.net.ua].

Таблиця 4.3-Основні технічні характеристики токарного верстата з ЧПУ моделі NUMTURN 430 [www.knuth.net.ua]



Продовження табл. 4.3

№ п/п	Основні технічні характеристики		Діапазони зміни параметрів
1	Найбільший діаметр оброблення, мм	над станиною	430
		над супортом	240
2	Найбільша довжина деталі, яку можна встановити на верстаті для оброблення, мм		1000
3	Діапазони безступеневої зміни частоти обертання шпинделя, об/хв	мінімальний	(43 – 603)
		максимальний	(148 – 2100)
4	Діапазони безступеневої зміни подачі, м/хв	за віссю -X	(0-2,5)
		за віссю -Z	(0-2,5)
5	Величина переміщення за координатами, мм	за віссю -X	210
		за віссю -Z	720
6	Найбільше сила, яка допускається механізмом подач $[P]_{\text{мн}}$, Н		8000
7	Потужність двигуна головного приводу верстату $N_{\text{д}}$, кВт		5,5
8	Найбільший розмір державки, яка встановлюється в револьверній головці Н·В, мм		20x20 (Ø20)
9	Наскрізний отвір в шпинделі верстату Ø, мм		58
10	Габаритні розміри верстату (Д·Ш·В), мм		2620x1310x1520
11	Маса верстату, кг		1800

4.2 Верстатні пристрої для токарного оброблення

Загальною тенденцією розвитку машинобудівного виробництва є розширення застосування верстатів з ЧПУ та багатофункціональних верстатів на їх основі. Розширення технологічних можливостей таких верстатів обумовлює специфічні вимоги до складових технологічного оснащення, які не повинні обмежувати продуктивність оброблення на таких верстатних системах. Верстати з ЧПУ мають підвищену жорсткість, достатню потужність двигунів головного приводу верстата та забезпечують більш високу точність оброблення в порівнянні з верстатами з ручним управлінням. Тому до верстатних пристроїв, які використовуються на таких верстатах, висуваються наступні основні вимоги:

- пристрої для верстатів з ЧПУ повинні мати підвищену точність виготовлення;
- жорсткість верстатних пристроїв не повинна обмежувати жорсткість технологічної системи;
- конструкція пристрою повинна забезпечувати підвищену точність базування деталі та пристрою відносно координат верстата;
- конструкція пристрою повинна забезпечувати швидке переналагодження верстата на оброблення деталей інших конструкцій;
- конструкція пристрою повинна забезпечувати установку нових заготовок з мінімальними затратами часу;
- пристрої доцільно проектувати, як модульні збірно-розбірні зі стандартизованих складових, які забезпечують можливість складання нових конструкцій з обмеженою кількістю спеціалізованих елементів, які будуть вимагати певного проміжку часу на їх виготовлення.

Ефективне оброблення на верстатах з ЧПУ вимагає підвищення вимог технологічності до конструкцій заготовок, зокрема необхідно передбачати поверхні, які забезпечують просту та надійну схему базування, а також поверхні для закріплення заготовки в пристрої, які мінімально обмежують

доступ різальних інструментів для оброблення заготовки з більшої кількості сторін.

Для оброблення валів на токарних верстатах можуть бути застосовані три схеми установки заготовок:

- в токарному патроні;
- в токарному патроні та задньому центрі;
- в центрах.

За конструктивними ознаками токарні патрони поділяють:

- кулачкові патрони;
- повідкові;
- цангові;
- мембранні.

4.2.1 Кулачкові токарні патрони

Для оброблення деталей на токарних верстатах, у тому числі з ЧПУ, використовують кулачкові токарні патрони різноманітних конструкцій. До токарних патронів, які застосовуються на верстатах з ЧПУ висуваються наступні вимоги:

- висока точність та жорсткість конструкції, які можуть забезпечити використання повної ефективної потужності головного приводу верстата;
- високу швидкодію зміни заготовок;
- швидке переналадження при зміні розмірів базової поверхні;
- зменшення, а по можливості і виключення, впливу відцентрових сил, що виникають при високих частотах обертання патрона на силу закріплення заготовки;
- наявність достатнього розміру центрального отвору патрона, що забезпечує оброблення пруткових заготовок;
- універсальність конструкції для забезпечення закріплення заготовок різної геометричної форми;

- швидке переналагодження патрона для переходу від оброблення в патроні до оброблення в патроні та центрі.

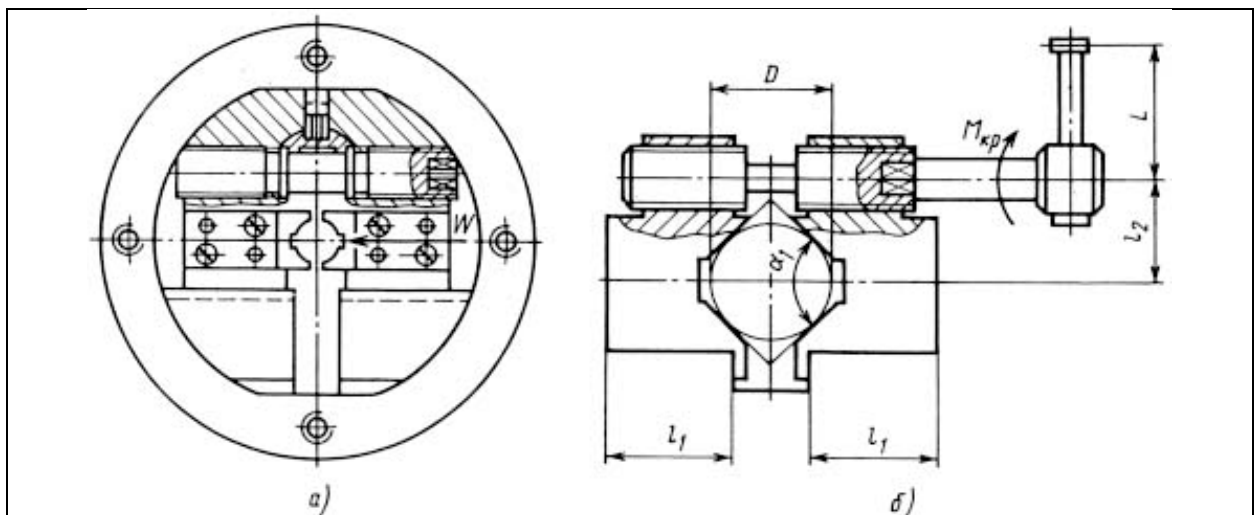
Конструкції токарних кулачкових патронів класифікують за різними ознаками:

- за кількістю кулачків;
- за діапазонами розмірів заготовок, які можуть бути закріплені в патроні;
- способом закріплення заготовки;

За кількістю кулачків токарні кулачкові патрони поділяють:

- двокулачкові;
- трикулачкові;
- чотирикулачкові;
- шестикулачкові.

Конструкція двокулачкового самоцентрувального патрону наведено на рис.4.1



а) – загальний вид патрону; б) - схема механізму патрону

Умовні позначення: W - сила затиску; $M_{кр}$ – необхідний крутний момент на ключі; L – довжина рукоятки ключа; D – діаметр деталі, яку затискають; l_1 – довжина напрямної частини кулачка; l_2 – відстань між віссю затискного гвинта та віссю призми; α_1 – кут призми кулачка

Рис.4.1. Універсальний двокулачковий токарний патрон

Загальний вигляд універсального двокулачкового патрону наведено на рис.4.2.



Рис.4.2. Загальний вигляд універсального двокулачкового патрону

Найбільш поширеною конструкцією кулачкових токарних патронів є трикулачкові самоцентрувальні патрони, конструкція якого наведена на рис.4.3. Стандарт ГОСТ 2675-80 передбачає наступний ряд типорозмірів таких патронів: 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630мм.

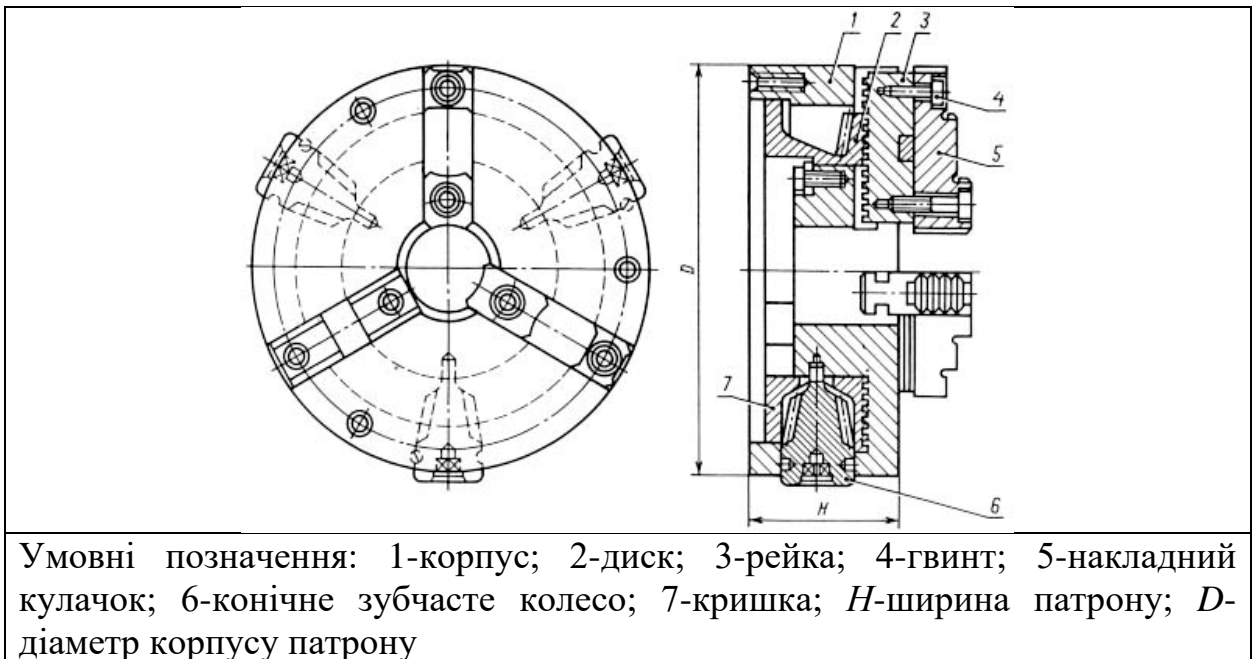


Рис.4.3. Трикулачковий самоцентрувальний патрон з ручним закріпленням заготовки

В корпусі патрона розміщено приводний диск 2, з однієї сторони якого є конічна зубчаста поверхня, яка знаходиться в зачепленні з конічним зубчастим колесом 6, а на другій стороні диску сформована спіраль Архімеда, з якою в

зачепленні знаходиться рейка 3, на якій закріплюється накладний кулачок 5. Для переміщення кулачків необхідно за допомогою спеціального ключа обертати зубчасте колесо 6, яке буде повертати диск 2 та в підсумку переміщувати закріпні кулачки і закріплювати заготовку. Конструкція такого патрона забезпечує одночасне, симетричне відносно осі патрона, переміщення трьох закріпних кулачків, тому такі патрони і називаються самоцентрувальними.

Основним недоліком такої конструкції є значні витрати часу на зміну заготовки, але перевагою є універсальність, оскільки забезпечується закріплення заготовок в широкому діапазоні зміни розмірів базових поверхонь. Контактні поверхні закріпних кулачків зношуються нерівномірно, що вимагає періодичного відновлення їх робочих поверхонь розточуванням, або шліфуванням. Загальний вигляд трикулачкового самоцентрувального патрона наведено на рис.4.4.

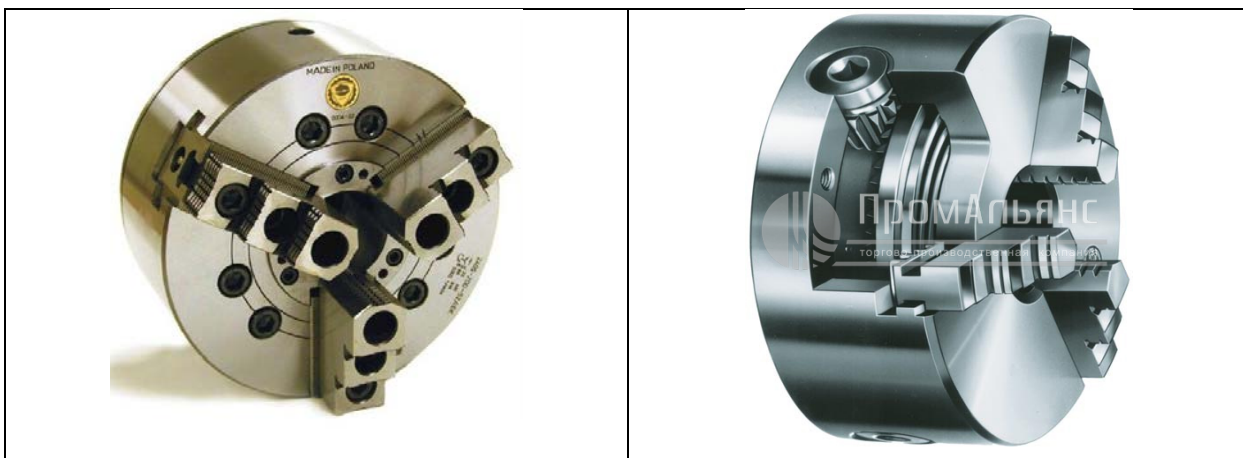
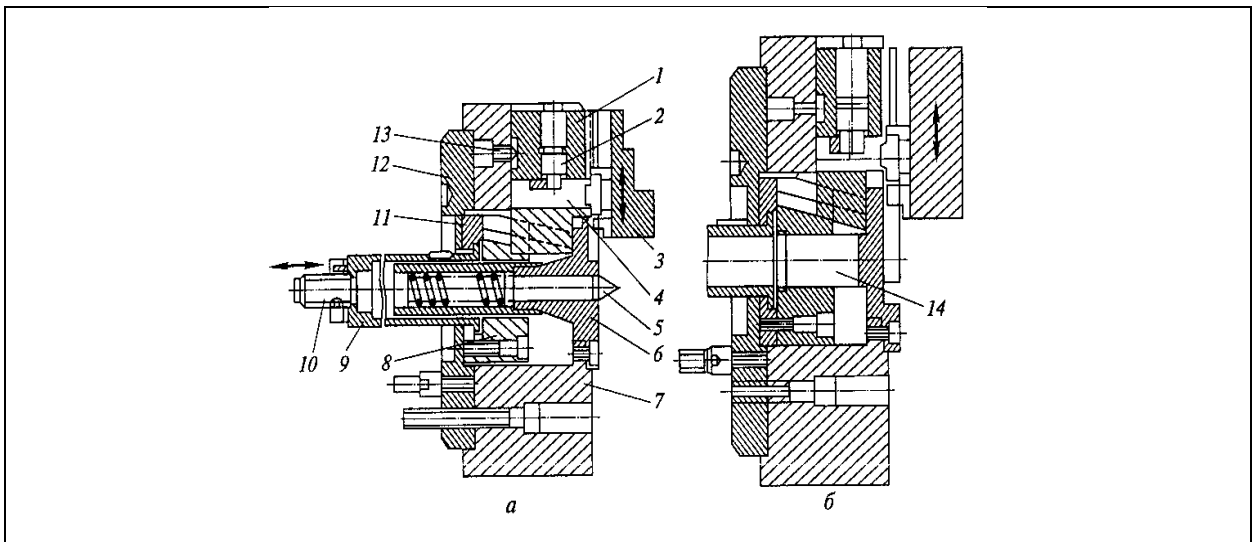


Рис.4.4. Загальний вигляд трикулачкового самоцентрувального патрона

Для скорочення часу на зміну заготовок використовують конструкції швидко переналагоджуваних трикулачкових патронів (рис.4.5).

Принцип дії клинових патронів базується на одночасному переміщенні затискних кулачків патрона за допомогою осьового переміщення втулки 8, яка має клинові виступи (або пази), які контактують з клиновими пазами (або виступами) на основних кулачках. Велика площа контакту виступів та пазів забезпечує високу точність переміщення кулачків та її тривале зберігання в процесі експлуатації патрона.



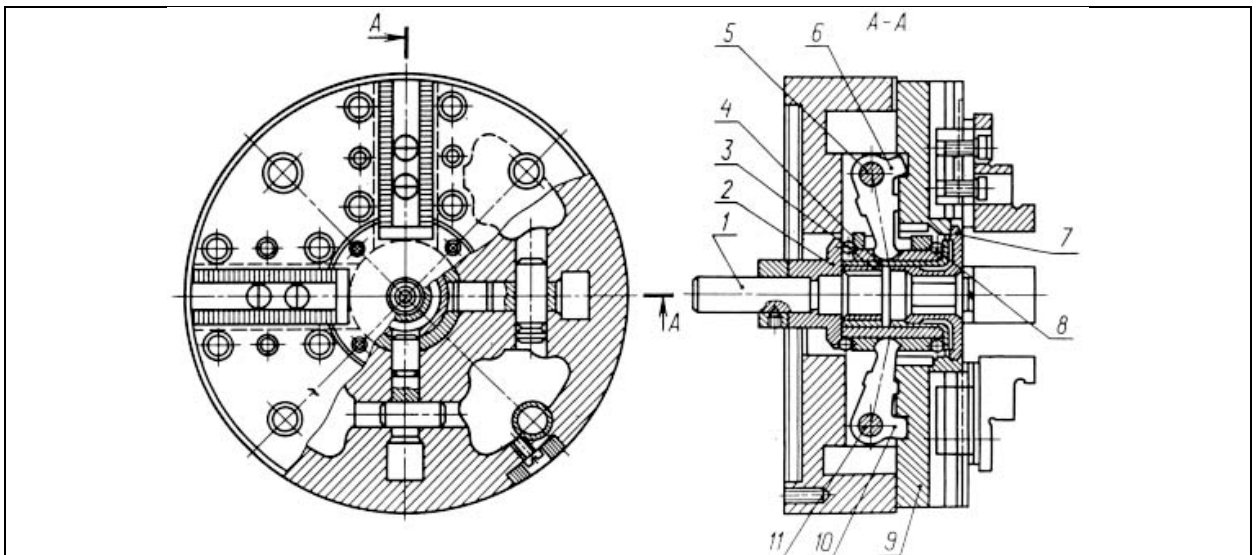
Умовні позначення: а) самоцентрувальний трикулачковий клиновий патрон для оброблення валів; б) оброблення дисків

1-основний кулачок; 2-ексцентрик; 3-накладний кулачок; 4-тяги; 5-плаваючий центр; 6-змінна вставка; 7-корпус; 8-втулка з клиновими замками; 9-втулка; 10-гвинт; 11, 12-фланці; 13-штифт; 14-вставка

Рис.4.5. Самоцентрувальний трикулачковий швидко переналагоджуваний патрон з механізованим приводом

Закріплення заготовки здійснюється за рахунок пневматичного, гідравлічного або електромеханічного приводу, який розміщується на зворотній стороні порожнистого шпинделя і з'єднаний штоком з патроном. Застосування автоматизованого патрона скорочує час на встановлення заготовки в порівнянні з ручним закріпленням на (70-80)% та поліпшує умови роботи робітника. На верстатах з ЧПУ використовують патрони з механізованим приводом.

За необхідності оброблення на токарних верстатах деталей, базові поверхні яких є відмінними від циліндричних поверхонь використовують універсальні чотирикулачкові патрони з незалежним переміщенням кулачків (рис.4.6) а загальний вигляд таких патронів наведено на рис.4.7.



Умовні позначення: 1-тяга; 2, 3, 4, 7-втулки; 5-вісь важеля; 6, 10-важелі; 8-плаваюча куля; 9-кулачок; 11-вісь важеля

Рис.4.6. Конструкція універсального чотирикулачкового патрона

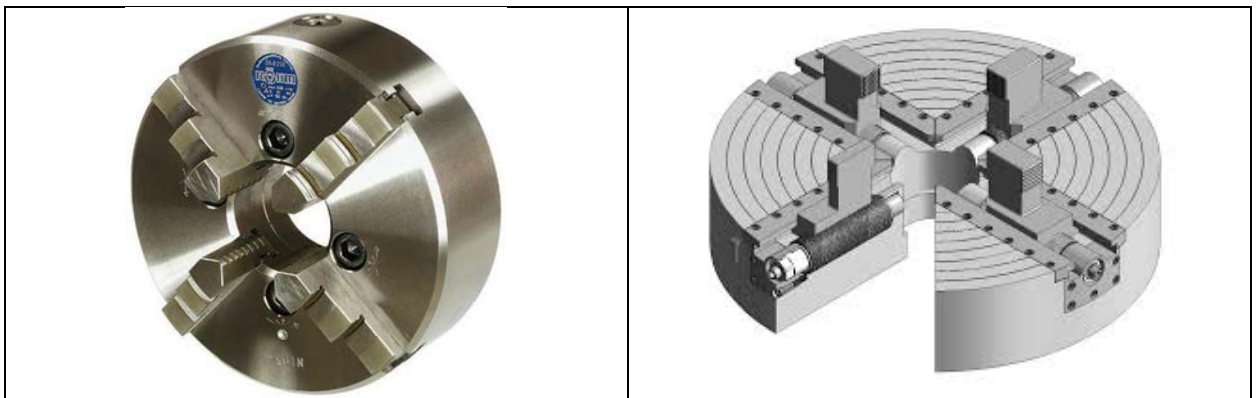


Рис.4.7. Загальний вигляд універсальних чотирикулачкових патронів

Для автоматизації установки заготовки в патронах токарних верстатів використовують механізовані приводи, які зменшують час на зміну заготовки, забезпечують стабільну силу закріплення заготовок та, в підсумку, створюють більш сприятливі умови праці робітника. В якості приводів для токарних верстатів використовують пневматичні, гідравлічні та електромеханічні, які розміщуються на зворотній стороні шпинделя та з'єднуються з механізмом патрона штоком з регульованою довжиною.

Застосування механізованих приводів обумовлює певні вимоги до їх конструкції та характеристик. Механізовані приводи повинні:

- мати необхідну швидкодію;

- забезпечувати закріплення заготовки в разі пошкодження засобів підведення робочого тіла (повітря, або мастила);
- забезпечувати достатню силу закріплення для заданих умов оброблення.

Безпечне застосування механізованих приводів на токарних верстатах вимагає встановлення певної послідовності взаємодії її складових:

- забезпечення переміщення затискних кулачків патрона в заданому діапазоні та після закриття робочої зони верстата;
- обертання шпинделя верстата повинно включатись тільки після надходження робочого тіла до приводу патрона;
- доступ в робочу зону верстата повинен бути відкритим тільки за умови зупинки шпинделя;
- заготовку можна розкріпляти тільки за умови зупинки шпинделя;
- при неочікуваному зникненні подачі енергії заготовка повинна залишатися надійно закріпленою;
- забезпечити надійну сигналізацію при відхиленні умов роботи приводу від робочих та одночасним відключенням двигуна головного приводу верстата.

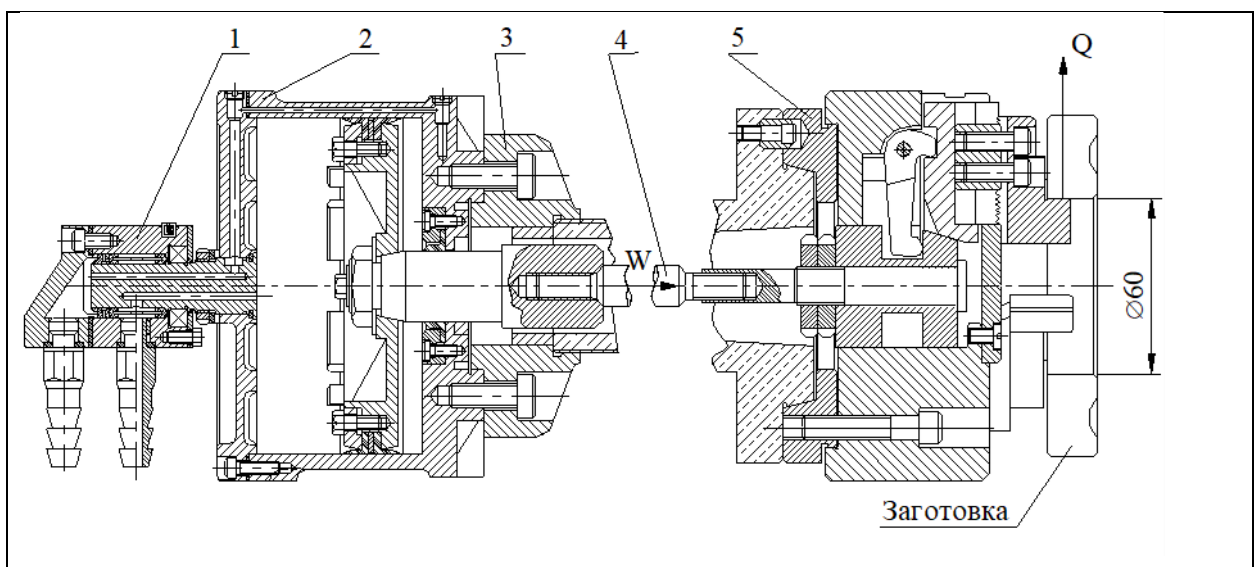


Рис.4.8. Загальна компоновка патрона з пневматичним приводом, що обертається, на токарному верстаті: 1-муфта для підведення стисненого

повітря (нерухома); 2-пневматичний циліндр, що обертається; 3-перехідний фланець для закріплення циліндра на зворотній частині шпинделя; 4-з'єднувальний шток

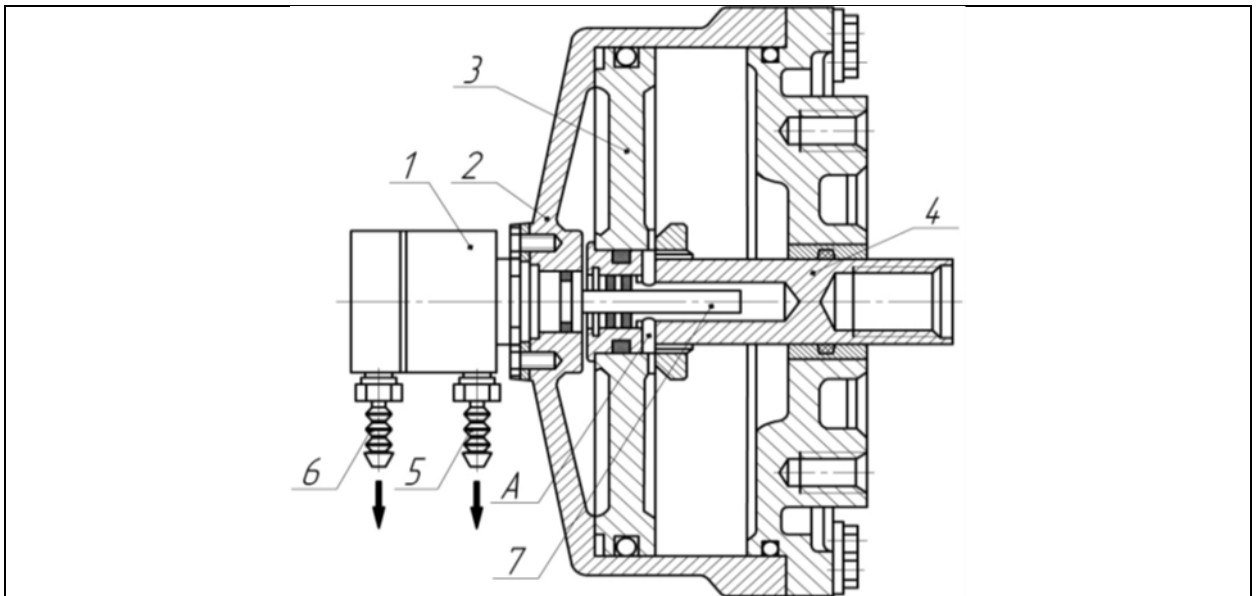


Рис.4.9. Конструкція пневматичного циліндра, що обертається, з нерухомою муфтою для підведення стисненого повітря: 1-муфта для підведення стисненого повітря; 2-циліндр; 3-поршень; 4-шток; 5,6-штуцери; 7-стрижень (трубка) для підведення стисненого повітря в штокову порожнину.

У процесі роботи пневматичний циліндр 2, який закріплюється безпосередньо на зворотній частині шпинделя верстату буде обертатися з частотою обертання шпинделя. Підведення стисненого повітря (0,5-0,6МПа) до патрона забезпечує муфта 1, яка є нерухомою і до її штуцерів 5, 6 приєднані шланги для подачі повітря. Якщо через розподільник стиснене повітря подається до штуцера 6, то через центровий отвір в стрижні 7, отвір в штоку циліндра 4 та пази А повітря подається в штокову порожнину і відбувається закріплення заготовки в патроні. Для розкріплення заготовки стиснене повітря через штуцер 5 подається в поршневу зону циліндра і забезпечує переміщення поршня разом зі штоком вправо, що і приводить до переміщення кулачків та розкріплення заготовки.

Загальна конструкція муфти для підведення стисненого повітря до пневматичного циліндра показана на рис. 4.10

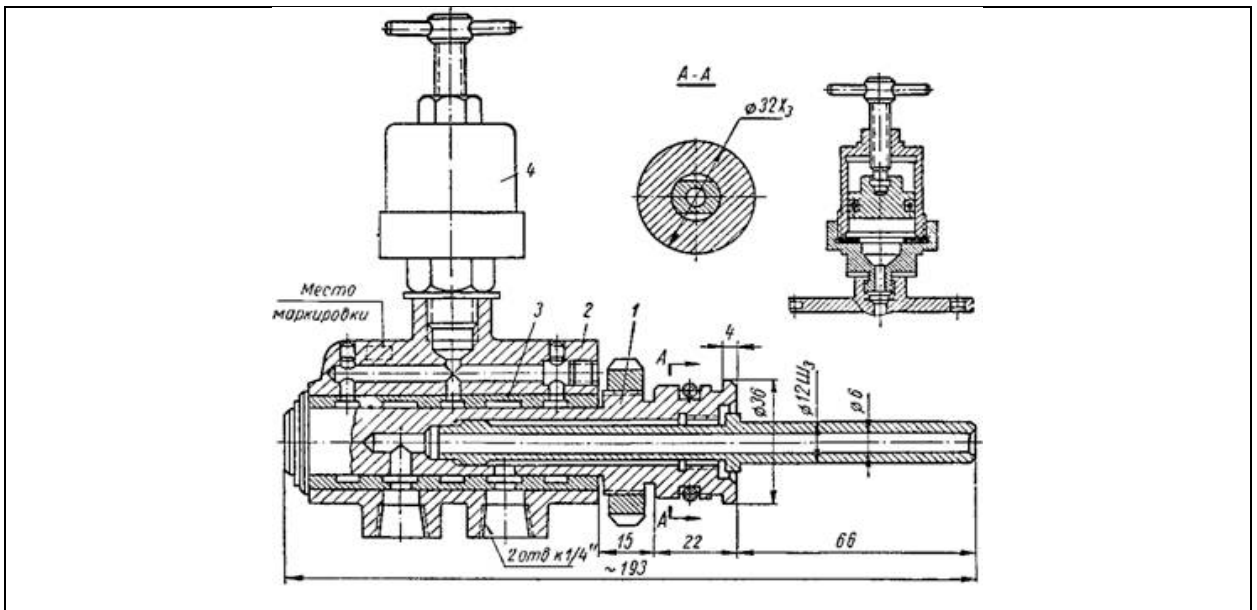


Рис. 4.10. Конструкція муфти для підведення стисненого повітря для $n_{max}=2000$ об/хв.

Опорний вал 1, який обертається разом з пневматичним циліндром, забезпечує з'єднання муфти для підведення стисненого повітря з циліндром. Опорний вал 1 з'єднується з корпусом муфти 2 за допомогою бронзової втулки 3 та обертається в ній із зазором (0,005-0,010)мм, що практично відповідає умовам роботи підшипника ковзання. Для сприятливих умов роботи такого з'єднання в конструкції муфти передбачена спеціальна маслянка, яка забезпечує подачу в зазор між валом 1 та втулкою 3 консистентного тугоплавкого мастила. За умов чорнового оброблення заготовок великих розмірів та видалення значних припусків для закріплення заготовок використовують гідравлічні циліндри, які здатні забезпечувати великі сили закріплення (рис.4.11).

Корпус гідроциліндра 5, який встановлений в нерухомому кожусі 1, за допомогою перехідного фланця закріплюють на зворотній стороні шпинделя.

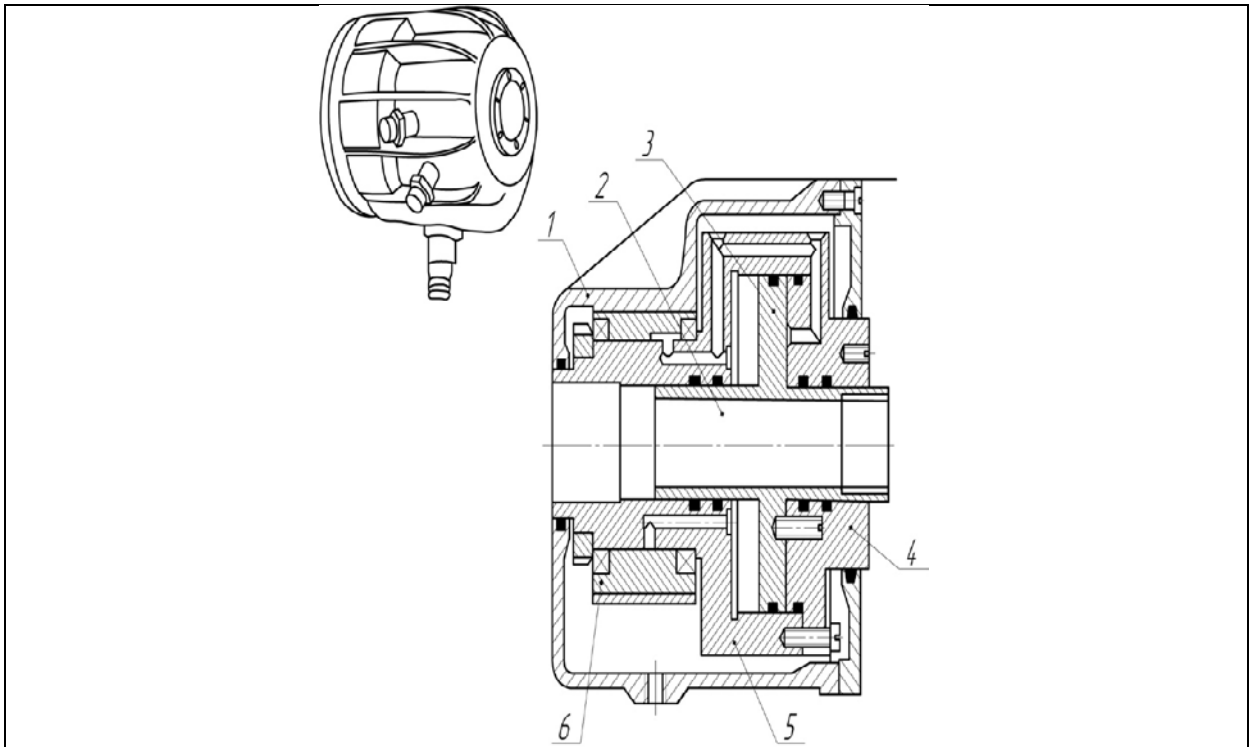


Рис.4.11. Гідравлічний циліндр, що обертається: 1-кожух; 2-шток; 3-поршень; 4-фланець; 5-корпус; 6-гідравлічна муфта

Шток 2 поршня 3 гідравлічного циліндра за допомогою з'єднувальної тяги з'єднують з патроном. За допомогою спеціальної гідравлічної муфти 6 мастило подається до гідроциліндру, в залежності від завдання, що виконується. Для закріплення заготовки мастило подається в праву порожнину, а для розкріплення - в ліву.

Загальний вид електромеханічного приводу токарних патронів наведено на рис.4.12.

При включенні асинхронного електродвигуна 1 під дією відцентрових сил важелі 2 повертаються навколо осей та переміщують в осьовому напрямку втулку 3, яка, в свою чергу, за допомогою штифта переміщує шток 4 та змонтовану на підшипниках муфту 5, яка з'єднується зі шліцьовою муфтою втулкою 6. Обертальний рух від електричного двигуна передається муфті 5 та через ексцентриковий вал 8, зубчастим колесам 7 та 9, через планетарний механізм 10 до шліцьового з'єднання зубчастого колеса.

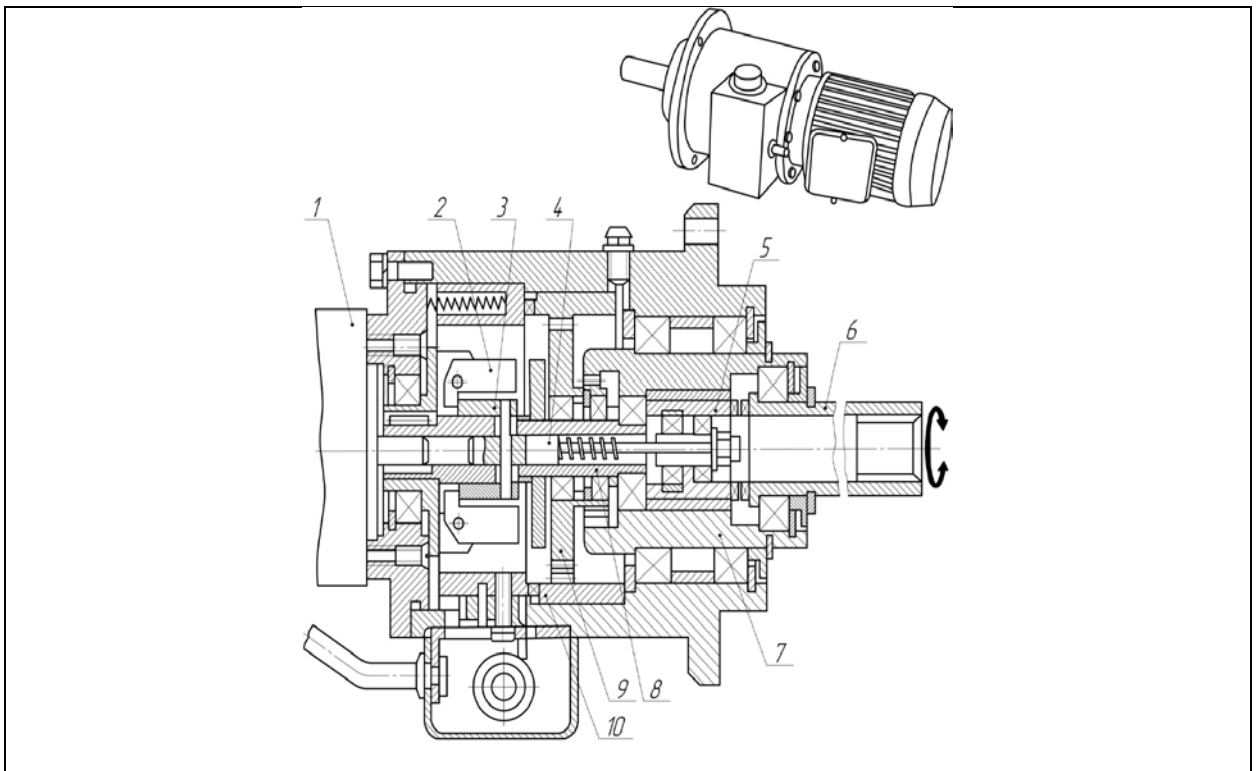


Рис.4.12. Привод електромеханічний

Кулачками, які введені в зачеплення, обертальний рух передається вихідному шліцьовому валу, який також шліцями з'єднується з виконавчим механізмом патрону.

Для спрощення установки автоматизованих патронів на токарних верстатах з ЧПУ, розроблені конструкції патронів з пневматичним приводом вбудованим безпосередньо в конструкцію патрона (рис.4.13). В порожнистій частині корпусу патрона 4 розміщується пневматичний поршневий привід. Такий патрон зовнішнім діаметром $\varnothing 200\text{мм}$ забезпечує зусилля закріплення кулачками до $Q=3000\text{Н}$ за умови тиску повітря $p=0,5\text{МПа}$.

В корпусі 4 під дією стисненого повітря переміщується поршень 5, який має кільцеву виточку та має кут нахилу $\alpha=5^\circ$, що забезпечує самогальмування поршню при закріпленні заготовки. В кільцевій виточці переміщуються клинові виступи А повзунів 6. Одночасно повзуни розміщуються в Т-подібних пазах корпусу патрону. На повзунах за допомогою спеціальних нарізів, які виконані на нижній стороні кулачків та на повзунах 6, встановлені закріпні кулачки 8.

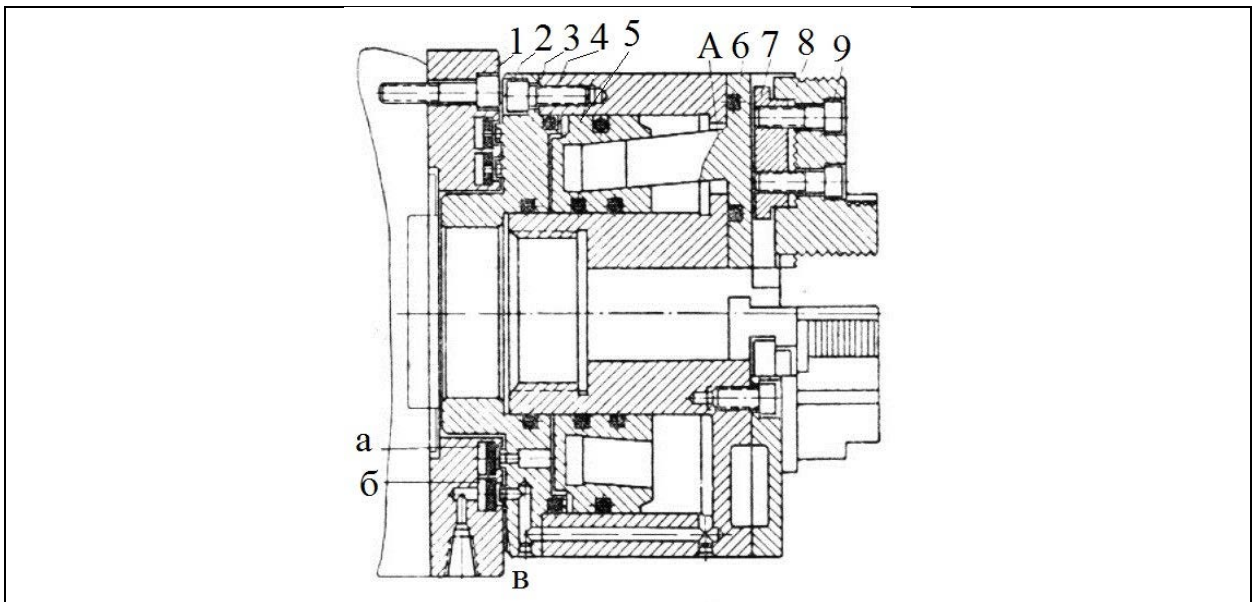


Рис.4.13. Трикулачковий самоцентрувальний патрон з пневматичним приводом 1-повітророзподільне кільце; 2-гумова шайба; 3-накривка; 4-корпус; 5-поршень; 6-повзун; 7-підкладка; 8-закріпний кулачок; 9-гвинт

В кільцеві виточки переміщуються клинові виступи А повзунів 6. Одночасно повзуни розміщуються в Т-подібних пазах корпусу патрону. На повзунах за допомогою спеціальних нарізів, які виконані на нижній стороні кулачків та на повзунах 6, встановлені закріпні кулачки 8. Підкладки 7 виконують роль гайок і забезпечують закріплення кулачків на повзунах. За необхідності переналагодження кулачків для установки заготовок з іншими розмірами базової поверхні необхідно відкрутити гвинти 9, що закріплюють кулачки, перевстановити закріпні кулачки по поперечним нарізам на необхідний розмір та закріпити гвинти 9. Зі сторони шпинделя корпус патрону закритий накривкою 3, з внутрішньої сторони якої виготовлені дві кільцеві канавки (а та б), а також на торцевій поверхні повітророзподільного кільця 1 виготовлені два виступи, які входять в кільцеві канавки. Кільце 1 закріплюється нерухомо безпосередньо на корпусі передньої бабки і не має зв'язку з корпусом патрону.

Стиснене повітря до повітророзподільного кільця від двоходового розподільчого крану подається за допомогою штуцерів (на рисунку не показані). Розподільчий кран забезпечує подачу повітря через кільцеві канавки

в необхідну порожнину поршневого приводу. Для закріплення заготовки повітря подається в ліву порожнину, що переміщує поршень 5 направо, а для розкріплення стиснене повітря подається в праву порожнину. Довжина ходу кулачків складає $l_x=(4-6)$ мм. Після закріплення або розкріплення заготовки повітря видаляється з порожнин приводу безпосередньо в навколишнє середовище. В робочому стані патрону, коли заготовка закріплена, стиснене повітря в патроні відсутнє і утримання заготовки забезпечується самогальмуванням повзунів в конічній кільцевій канавки поршня. Загальний вигляд трикулачкового самоцентрувального патрона з вбудованим пневматичним приводом наведено на рис.4.14.



Рис.4.14. Трикулачковий самоцентрувальний патрон з пневматичним приводом

4.2.2 Розрахунок сил затиску заготовок, що закріплюються в кулачкових патронах

У залежності від конструктивних особливостей базових поверхонь деталей, які встановлюються для оброблення в кулачкових патронах, можуть бути реалізовані дві теоретичні схеми базування. При довжині базової поверхні, яка не обмежує встановлення кулачків на їх повну довжину може бути реалізована теоретична схема базування, яка має таку структурну формулу схеми базування:

$$СБ_{ТБ} \Rightarrow ПН(4) + О(1) \quad (4.1)$$

Але, якщо довжина базової поверхні має обмежену величину, то теоретична схема базування буде іншою і її структурна формула буде мати вид:

$$СБ_{ТБ} \Rightarrow У(3) + ПО(2) \quad (4.2)$$

При малих розмірах довжини базової поверхні для забезпечення ефективних умов оброблення, необхідно визначати або гарантовану мінімальну довжину базової поверхні, яка відповідає умовам оброблення, або за розмірами довжини базової поверхні визначати умови оброблення, які будуть виключати пластичне деформування базових поверхонь у процесі оброблення заготовки та закріплення в кулачках.

Для пристроїв, що використовуються при обробленні заготовок на токарних верстатах, основними параметрами є: величина необхідної сили затиску заготовки- Q і похибка центрування. В залежності від конструкції патрона та точності його виготовлення похибка центрування може коливатись в межах $\varepsilon_{ц} = (0,02-0,30)$ мм.

Конструкції сучасних верстатів з ЧПУ характеризуються високими характеристиками жорсткості, потужними приводами головного руху різання та механізмів подач, що в сукупності забезпечує підвищення продуктивності оброблення. Оброблювані на токарних верстатах заготовки, переважно встановлюються в патронах, патроні та центрі та на спеціальних оправках. Технологічні можливості токарних верстатів з ЧПУ та сучасне інструментальне забезпечення створюють умови оброблення з великими перерізами шару, що зрізується. Підвищені режими різання, які характеризуються зростанням сили різання, обумовлюють необхідність збільшення сили закріплення заготовки. За таких умов у місцях контакту затискних кулачків патрона з базовими поверхнями можуть виникати контактні пластичні деформації. Тому необхідно створювати такі умови оброблення та закріплення заготовок, при яких будуть прикладатись сили, які з одного боку, забезпечать сталість положення заготовки при обробленні, а з

іншого-відсутність пластичного деформування базових поверхонь, що особливо важливо на завершальних етапах оброблення, коли подальше оброблення таких базових поверхонь не передбачається.

У процесі оброблення під дією складових сили різання та моменту різання не допускається осьове переміщення заготовки, її провертання відносно кулачків та наявність пошкодження базових поверхонь. Невиконання умови надійного закріплення заготовки в процесі оброблення може викликати руйнування різального інструменту та заготовки, а також бути джерелом небезпеки для обслуговуючого персоналу.

Величини сил затиску визначаються з урахуванням: схеми сил, що діють на заготовку при обробленні; форми та стану контактної поверхні; конструкції кулачків-звичайні кулачки чи, наприклад, кулачки у формі призм, що використовуються у двокулачкових патронах для встановлення заготовок із зрізаними (неповними) циліндричними поверхнями, коли не можна використати трикулачковий патрон.

Для трикулачкового патрона, при обробленні коротких заготовок, зусилля закріплення заготовки визначається за умови, що сила затиску Q служить для запобігання провертання заготовки в патроні (рис.4.15)[1]. Кількість кулачків дорівнює кількості сил затиску ($n=3$).

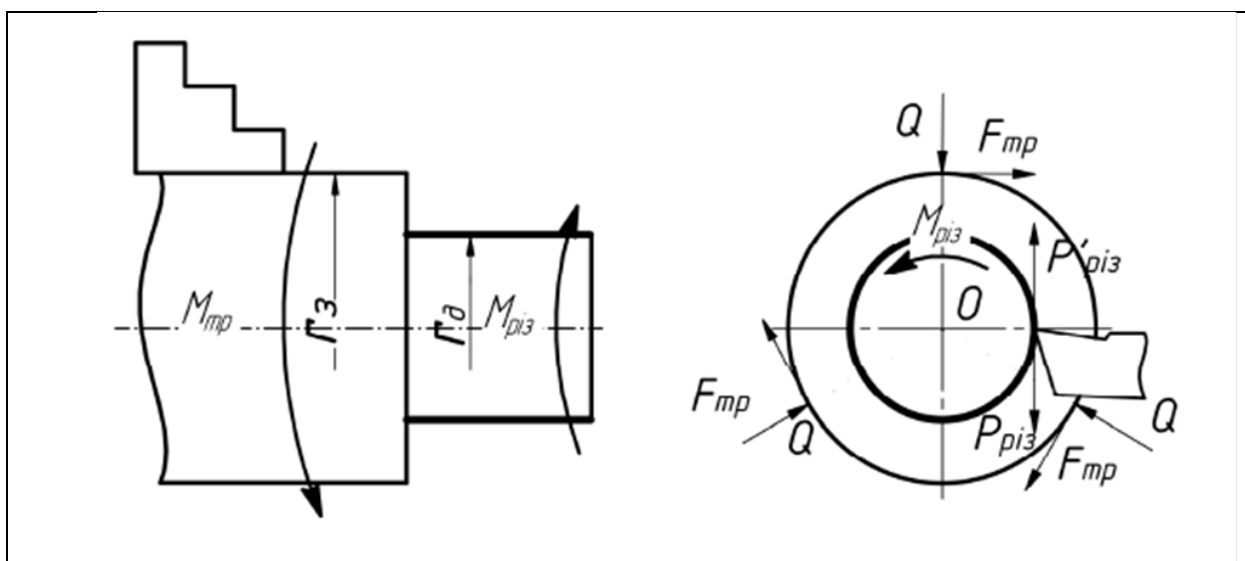


Рис.4.15. Схема сил і моментів, що діють на заготовку, встановлену в патроні

Надійне закріплення заготовки в патроні, що виключає її поворот навколо осі, визначається умовою, що момент тертя, який діятиме на заготовку під дією сили затиску буде більше моменту від сили різання.

Умова рівноваги заготовки має вид:

$$\sum M_o = 0 \quad k \cdot M_{\text{різ}} = 3 \cdot M_{\text{тр}} \quad (4.3)$$

Момент різання, що діє на заготовку в процесі оброблення та момент тертя можна визначити наступним чином:

$$M_{\text{різ}} = k \cdot P_z \cdot \frac{D}{2} \quad (4.4)$$

де P_z -головна складова сили різання, Н; D -діаметр оброблюваної поверхні, м; k -коефіцієнт запасу, який враховує можливу зміну сили різання в процесі оброблення ($k_{\text{min}} = 2,5$).

$$M_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot \frac{D_6}{2} = Q \cdot f \cdot \frac{D_6}{2} \quad (4.5)$$

де Q - нормальна сила затиску, з якою кулачок діє на заготовку, Н; f - коефіцієнт тертя між базовою поверхнею заготовки та кулачками патрона, величину f приймають для кулачків: з гладкою поверхнею $f=(0,16-0,18)$; з кільцевими канавками $f=(0,3-0,4)$; із взаємно перпендикулярними канавками $f=(0,4-0,5)$; з гострим рифленням $f=(0,7-1,0)$; D_6 -діаметр поверхні заготовки, яка використовується для базування, м.

Величину головної складової сили різання P_z , яка створює момент різання необхідно визначати за відомими формулами різання, які традиційно враховують фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу, складові режиму різання та інші умови процесу оброблення.

Після підстановки значень моментів у рівняння рівноваги та його розв'язання знайдемо величину необхідної сили затиску, що унеможливить провертання заготовки в кулачках трикулачкового патрону:

$$k \cdot P_z \cdot \frac{D}{2} = 3 \cdot Q \cdot f \cdot \frac{D_6}{2} \Rightarrow Q = \frac{k \cdot P_z \cdot D / 2}{3 \cdot f \cdot D_6 / 2} \quad (4.6)$$

Для токарного патрона з кількістю кулачків (n), формула для розрахунку сили затиску буде такою:

$$Q = \frac{k \cdot P_z \cdot D/2}{n \cdot f \cdot D_6/2} \quad (4.7)$$

При закріпленні деталей тіл обертання в патронах можуть використовуватись схеми установки в двох самоцентрувальних кулачках у формі призм (двокулачковий патрон рис.4.1 та рис.4.2), а також в призмі із затискачем, що створює силу затиску Q (рис.4.16). Розрахунки необхідних сил затиску заготовок для таких схем мають деякі особливості, у порівняння із приведеним вище варіантом (рис.4.15), тому приведемо їх окремо.

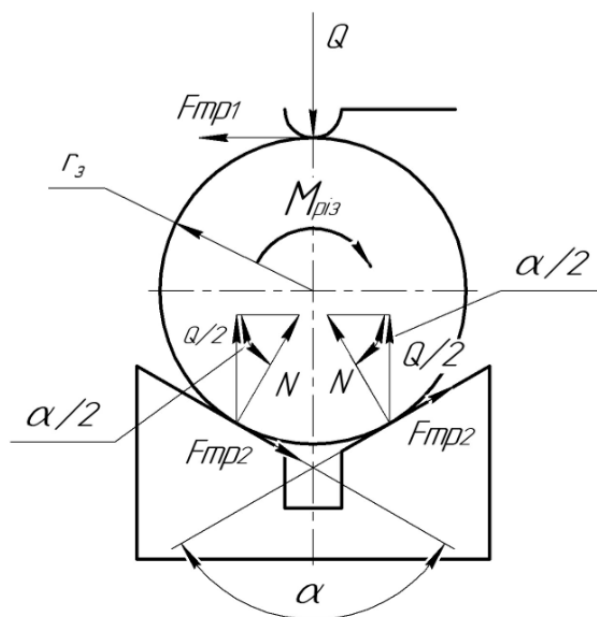


Рис.4.16. Схема сил та моментів, що діють на заготовку, встановлену в призмі

Сила затиску Q служить для запобігання можливому провертанню заготовки, встановленої в призмі, під дією моменту різання $M_{різ}$. Умова рівноваги заготовки визначається сумою моментів сил, відносно осі заготовки:

$$\sum_{i=1}^n M_o.$$

$$k \cdot M_{різ} = F_{тр1} \cdot R_3 + 2 \cdot F_{тр2} \cdot R_3 \quad (4.8)$$

$$F_{тр1} = Q \cdot f_1; \quad F_{тр2} = N \cdot f_2 \quad (4.9)$$

Нормальна сила, яка діє на контактних поверхнях призми визначається за формулою:

$$N = \frac{Q}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}; \quad (4.10)$$

З урахуванням формул (4.9) рівняння рівноваги має вид:

$$k \cdot M_{\text{різ}} = Q \cdot f_1 \cdot R_3 + 2 \cdot \frac{Q}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \cdot f_2 \cdot R_3 \quad (4.11)$$

Остаточно, величина необхідної сили закріплення заготовки, яка встановлена на призмі, буде визначатись за формулою:

$$Q = \frac{k \cdot M_{\text{різ}}}{R_3 \cdot \left(f_1 + \frac{f_2}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right)} \quad (4.12)$$

де k -коефіцієнт запасу, який враховує можливу зміну сили різання в процесі оброблення ($k_{\text{min}}=2,5$); $M_{\text{різ}}$ -момент різання, який діє на заготовку в процесі оброблення, Нм; D_3 -діаметр поверхні заготовки, яка використовується для базування, м; f_1 -коефіцієнт тертя в контактні затискного важеля та заготовки; f_2 -коефіцієнт тертя в контактні заготовки з поверхнями призми; α -кут призми.

Сила затиску Q служить для запобігання можливому повороту заготовки, встановленої в двох призмах, під дією моменту різання $M_{\text{різ}}$, наприклад установка в двокулачковому патроні (рис.4.1 та рис.4.2)

Умова рівноваги заготовки: $\sum M_o = 0$;

$$k \cdot M_{\text{різ}} = 4 \cdot F_{\text{тр2}} \cdot R_3 \quad (4.13)$$

$$F_{\text{тр2}} = N \cdot f_2 \quad (4.14)$$

З урахуванням формули (4.10), отримаємо:

$$k \cdot M_{\text{різ}} = 4 \cdot \frac{Q}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \cdot f_2 \cdot R_3 \quad (4.15)$$

$$k \cdot M_{\text{пріз}} = 2 \cdot Q \cdot R_3 \cdot \left(f_1 + \frac{f_2}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) \quad (4.16)$$

Остаточно, величина необхідної сили затиску при встановленні заготовки в двох призмах буде розраховуватись:

$$Q = \frac{k \cdot M_{\text{пріз}}}{2 \cdot R_3 \cdot \left(f_1 + \frac{f_2}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right)} \quad (4.17)$$

де f_1 -коефіцієнт тертя в контактї рухомої призми та заготовки; f_2 -коефіцієнт тертя в контактї заготовки з поверхнями нерухомої призми; α -кут призми.

Сучасні токарні верстати з ЧПУ мають переважно безступеневе регулювання частоти обертання шпинделя в широкому діапазоні, наприклад, токарний верстат фірми Haas ST-10 має діапазон частот обертання шпинделя $n = (0 - 6000)$ об/хв. При необхідності оброблення з великою частотою обертання шпинделя зростає дія відцентрових сил на затискні кулачки, що, в підсумку, зменшує статичну початкову силу закріплення заготовки. Динамічну силу закріплення визначають за формулою:

$$Q_{\text{дин}} = Q_{\text{ст}} \pm F_{\text{вц}} \quad (4.18)$$

де $Q_{\text{ст}}$ -початкова статична сила закріплення заготовки, Н; $F_{\text{вц}}$ -відцентрова сила, що діє на кулачки. Знак (+) відповідає закріпленню заготовки з базуванням по внутрішній поверхні, знак (-) відповідає закріпленню заготовки з базуванням по зовнішній поверхні.

Величина відцентрової сили, яка діє на кулачки, визначається за формулою:

$$F_{\text{вц}} = m \cdot R \cdot \omega^2 = \frac{G \cdot R \cdot \omega^2}{g} = 0,102 \cdot G \cdot R \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 \quad (4.19)$$

де m -маса кулачків, кг; R -радіус від осі обертання патрону до центра мас кулачків, м; ω -кутова швидкість обертання патрону, рад/с; G -загальна вага кулачків, Н; g -прискорення вільного падіння, м/с; n -частота обертання шпинделя, об/с.

Наближено, величину відцентрової сили можна розрахувати за формулою:

$$F_{\text{вц}} = \frac{m \cdot R \cdot n^2}{100} = \frac{G \cdot R \cdot n^2}{1000} \quad (4.20)$$

З урахуванням формули (4.20), остаточно отримаємо формулу:

$$Q_{\text{дин}} = \frac{1,2 \cdot K \cdot P_z \cdot d}{f \cdot d_1} \pm \frac{m \cdot R \cdot n^2}{100} \quad (4.21)$$

де 1,2-коефіцієнт, який враховує дію складових сили різання P_y та P_x ; K -коефіцієнт надійності ($K = 2,0 \dots 2,5$); P_z -головна складова сили різання, Н; d -діаметр оброблюваної поверхні, м; d_1 -діаметр базової поверхні, м; f -коефіцієнт тертя між кулачками та базовою поверхнею закріплення.

Зменшити величину відцентрової сили можна за рахунок зменшення маси кулачків, що потребує зміни конструктивних розмірів, тому в сучасних конструкціях токарних патронів, які використовуються на токарних верстатах з ЧПУ та застосовуються на великих частотах обертання шпинделя передбачена зміна конструкції патрону, яка передбачає розміщення противаги, які з'єднуються з кулачками важелем (рис.4.17.).

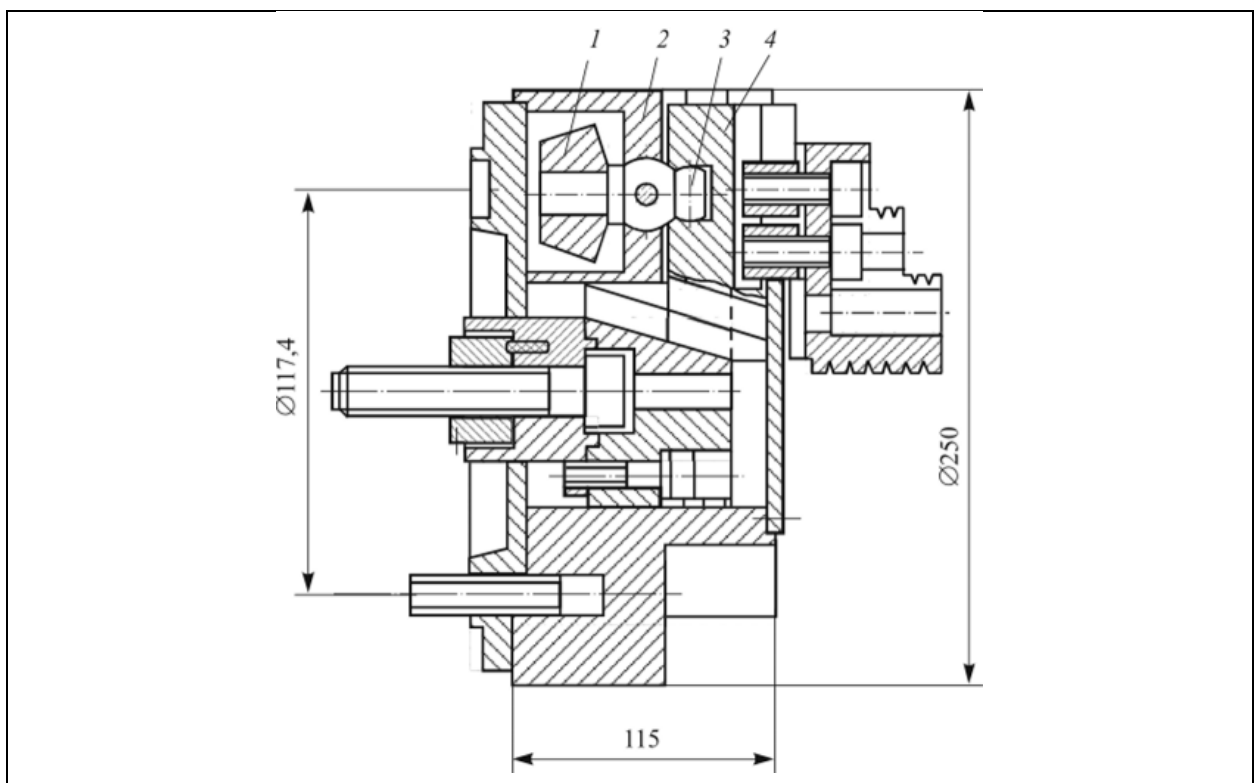


Рис.4.17. Самоцентрувальний клиновий токарний патрон для оброблення з великими частотами

В конструкції патрону (рис.4.17) розміщені додаткові ваги 1, які з'єднані важелем 3 з основними кулачками патрона 4 та забезпечують компенсацію дії відцентрових сил на величину початкової сили закріплення заготовки в патроні. В клинорейкових патронах (рис.4.18) для компенсації відцентрових сил встановлюють важелі 1, які попередньо навантажені пружиною. Під дією відцентрових сил важіль 1 повертається відносно точки А та забезпечує компенсацію відцентрових сил, які діють на кулачки 3 та 4.

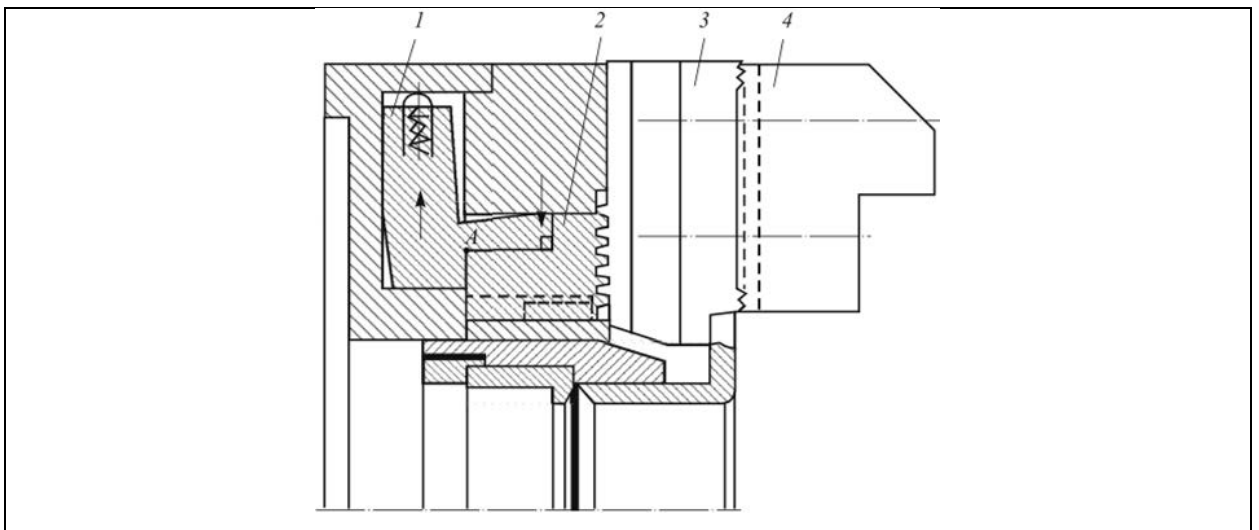


Рис.4.18. Клинорейковий токарний патрон з компенсатором відцентрової сили

В залежності від конструктивних особливостей базових поверхонь деталей, які встановлюються для оброблення в кулачкових патронах, можуть бути реалізовані дві теоретичні схеми базування. При довжині базової поверхні, яка не обмежує встановлення кулачків на їх повну довжину може бути реалізована теоретична схема базування, яка має таку структурну формулу схеми базування:

$$СБ_{ТБ} \Rightarrow ПН(4) + О(1) \quad (4.22)$$

Але, якщо довжина базової поверхні має обмежену величину, то теоретична схема базування буде іншою і її структурна формула буде мати вид:

$$СБ_{ТБ} = У(3) + О(1) \quad (4.23)$$

При малих розмірах довжини базової поверхні, необхідно визначати або гарантовану мінімальну довжину базової поверхні, яка відповідає умовам оброблення, або за розмірами довжини базової поверхні визначати умови оброблення, які будуть виключати пластичне деформування базових поверхонь в процесі оброблення заготовки та закріплення в кулачках.

Конструкції сучасних верстатів з ЧПУ характеризуються високими характеристиками жорсткості, потужними приводами головного руху різання та механізмів подач, що в сукупності забезпечує підвищення продуктивності оброблення. Оброблювані заготовки на токарних верстатах переважно встановлюються в патронах, патроні та центрі та спеціальних оправках. Технологічні можливості токарних верстатів з ЧПУ та сучасне інструментальне забезпечення створюють умови оброблення з великими перерізами шару, що зрізується. Підвищені режими різання, які характеризуються зростанням сили різання обумовлює необхідність збільшення сили закріплення заготовки. За таких умов в місцях контакту затискних кулачків патрону з базовими поверхнями можуть виникати контактні пластичні деформації. Тому при розрахунках умов надійного закріплення заготовок для токарного оброблення необхідно створювати такі умови оброблення, які забезпечують відсутність пластичного деформування базових поверхонь, що особливо важливо на завершальних умовах оброблення, де подальше оброблення таких базових поверхонь не передбачається.

В процесі оброблення під дією складових сили різання та моменту різання не допускається осьове переміщення заготовки, її провертання відносно кулачків та наявність пошкодження базових поверхонь. Невиконання умови надійного закріплення заготовки в процесі оброблення може викликати руйнування різального інструменту та заготовки, а також бути джерелом небезпеки для обслуговуючого персоналу. Умовою надійного закріплення заготовки в трикулачковому патроні, що виключає її поворот навколо осі,

визначається умовою, що момент тертя заготовки під дією сили нормального закріплення кулачків буде більше моменту різання:

$$M_{\text{тр}} > M_{\text{різ}} \quad (4.24)$$

де $M_{\text{тр}}$ -момент тертя поверхні заготовки з кулачками патрону; $M_{\text{різ}}$ -найбільший момент різання, що діє на заготовку в процесі оброблення.

Оскільки переміщення заготовки відносно кулачків патрону виключається, то момент тертя можна записати наступним чином:

$$M_{\text{тр}} = 3 \cdot N \cdot f_{\text{сп}} \cdot R_3 \quad (4.25)$$

де N -нормальна сила, яка діє від кулачків на поверхню заготовки, Н; $f_{\text{сп}}$ -коефіцієнт тертя спокою між кулачком та поверхнею заготовки; R_3 -радіус базової поверхні заготовки, м.

Величину головної складової сили різання P_z , яка створює момент різання необхідно визначати за відомими формулами різання, які традиційно враховують фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу, складові режиму різання та інші умови процесу оброблення. Відповідно, момент різання при токарному обробленні визначається за формулою:

$$M_{\text{різ}} = P_z \cdot R_{\text{об}} \quad (4.26)$$

де P_z -головна складова сили різання, Н; $R_{\text{об}}$ -радіус оброблюваної поверхні, м.

З урахуванням формул (4.25) та (4.26) умова надійності закріплення заготовки буде мати вид:

$$3 \cdot N \cdot f_{\text{сп}} \cdot R_3 = k \cdot P_z \cdot R_{\text{об}} \quad (4.27)$$

де k -коефіцієнт запасу, який враховує можливі коливання складової сили різання в процесі оброблення.

Відповідно, нормальна сила, яка забезпечує надійне закріплення заготовки визначається за формулою:

$$N = \frac{k \cdot P_z}{3 \cdot f_{\text{сп}}} \quad (4.28)$$

Умова надійного закріплення заготовки в патроні при виникненні на контактних поверхнях заготовки з кулачками тільки пружних деформацій

забезпечується, коли нормальна сила N буде менше, допустимої сили пластичного деформування матеріалу заготовки $F_{\text{пд}}$:

$$N < F_{\text{пд}} \quad (4.29)$$

Контакт поверхні заготовки з кулачком патрону можна представляти, як контакт циліндра (поверхня заготовки) та деталі з циліндричною канавкою радіусом R_2 (кулачок), приймаючи умову, що радіус R_2 більше радіуса заготовки R_3 . У відповідності до роботи [1], максимальне напруження в зоні контакту буде визначатись за формулою:

$$g_{\text{max}} = 0,798 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot \frac{R_1 - R_3}{2 \cdot R_1 \cdot R_3}}{\theta_1 + \theta_3}} \quad (4.30)$$

де $p = F_{\text{пд}}/l$ -навантаження на одиницю довжини контакту заготовки з кулачком, Н/м; l -довжина закріплення заготовки в кулачках патрону, м; $\theta_i = (1 - \mu_i^2)/E_i$ -пружні характеристики тіл, що контактують; μ_i -коефіцієнти Пуассона матеріалів, що контактують; E_i -модулі поздовжньої пружності матеріалів, що контактують.

Максимальні контактні навантаження, які допускаються на поверхнях контакту заготовки з поверхнями кулачків при початковому контакті по лінії для сталених заготовок визначаємо за аналогією контакту зубчастих коліс, що мають однорідну структуру при їх розрахунках на міцність під дією пікового статичного навантаження [2] за формулою:

$$[g_{\text{max}}] = 2,8 \cdot \sigma_{\text{T}} \quad (4.31)$$

де σ_{T} -границя текучості матеріалу заготовки, МПа.

Для крихких матеріалів, до яких відносяться чавуни, максимальні контактні навантаження визначаються за формулою [1,2]:

$$[g_{\text{max}}] = \frac{\sigma_{\text{вст}}}{0,56 \cdot \sqrt[3]{m}} \quad (4.32)$$

де $m = \sigma_{\text{в,р}}/\sigma_{\text{в,ст}}$ -коефіцієнт крихкості; $\sigma_{\text{в,р}}$ -границя міцності при розтягуванні, МПа; $\sigma_{\text{в,ст}}$ -границя міцності при стисканні, МПа.

Для чавунів, у яких коефіцієнт крихкості знаходиться в діапазоні $m = (0,20 - 0,35)$ максимальні контактні навантаження визначаються за формулою:

$$[g_{max}] = (2,58 - 2,83) \cdot \sigma_{в.ст} \quad (4.33)$$

Відповідно, допустима сила пластичного деформування для сталевих заготовок буде визначатись за формулою:

$$[F_{пд}] = 24,62 \cdot \sigma_T^2 \cdot l \cdot (\theta_1 + \theta_3) \cdot \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 - R_3} \quad (4.34)$$

З урахуванням того, що $E_3 = E_1 = E$, а $\mu_3 = \mu_1 = 0,3$, допустима сила пластичного деформування для сталевих заготовок буде визначатись за формулою:

$$[F_{пд}] = 44,81 \cdot \sigma_T^2 \cdot \frac{l \cdot R_1 \cdot R_3}{E \cdot (R_1 - R_3)} \quad (4.35)$$

Допустима сила пластичного деформування для чавунних заготовок буде визначатись за формулою:

$$[F_{пд}] = 22,9 \cdot \sigma_{в.ст}^2 \cdot l \cdot (\theta_1 + \theta_3) \cdot \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 - R_3} \quad (4.36)$$

З урахуванням того, що $E_3 \approx 0,67 \cdot E$, а $\mu_3 = 0,25$, (E_3, μ_3 -пружні характеристики чавуну), допустима сила пластичного деформування для поверхонь чавунних заготовок буде визначатись за формулою:

$$[F_{пд}] = 52,99 \cdot \sigma_{в.ст}^2 \cdot \frac{l \cdot R_1 \cdot R_3}{E \cdot (R_1 - R_3)} \quad (4.37)$$

З урахуванням формули (4.28) та формули (4.29) умова відсутності пластичного деформування поверхні базування для сталевих заготовок формула (4.28) буде мати вид:

$$k \cdot P_z / 3 \cdot f_{сп} < 44,81 \cdot \sigma_T^2 \cdot \frac{l \cdot R_1 \cdot R_3}{E \cdot (R_1 - R_3)} \quad (4.38)$$

Аналогічно для оброблення чавунних заготовок, умова відсутності зминання поверхні базування формула буде мати вид:

$$k \cdot P_z / 3 \cdot f_{сп} < 52,99 \cdot \sigma_{в.ст}^2 \cdot \frac{l \cdot R_1 \cdot R_3}{E \cdot (R_1 - R_3)} \quad (4.39)$$

Формули (4.36) та (4.37) дають змогу визначити мінімальну довжину закріплення заготовки l_{min} в кулачках патрону, яка буде забезпечувати

відсутність пластичного деформування базової поверхні, а також допустиму складову сили різання $[P_z]$, якщо довжину закріплення заготовки в патроні неможливо змінити з урахуванням конструкції заготовки.

Мінімальна довжина закріплення в кулачках сталевих заготовок, яка буде забезпечувати відсутність пластичного деформування базової поверхні визначається за формулою:

$$l_{min} = \frac{k \cdot P_z \cdot E \cdot (R_1 - R_3)}{134,43 \cdot f_{сп} \cdot \sigma_T^2 \cdot R_1 \cdot R_3} \quad (4.40)$$

Аналогічна умова для оброблення чавунних заготовок має вид:

$$l_{min} = \frac{k \cdot P_z \cdot E \cdot (R_1 - R_3)}{158,97 \cdot f_{сп} \cdot \sigma_{в.ст}^2 \cdot R_1 \cdot R_3} \quad (4.41)$$

За наявності конструктивних обмежень на довжину базової поверхні, умова забезпечення тільки пружної деформації базової поверхні в кулачках патрону повинна вирішуватись за рахунок зміни режимів різання. Допустима головна складова сили різання P_z для сталевих заготовок визначається за формулою:

$$[P_z] = 134,43 \cdot f_{сп} \cdot \sigma_T^2 \cdot \frac{l \cdot R_1 \cdot R_3}{k \cdot E \cdot (R_1 - R_3)} \quad (4.42)$$

Аналогічна умова для оброблення чавунних заготовок має вид:

$$[P_z] = 158,97 \cdot f_{сп} \cdot \sigma_{в.ст}^2 \cdot \frac{l \cdot R_1 \cdot R_3}{k \cdot E \cdot (R_1 - R_3)} \quad (4.43)$$

При проектуванні технологічних операцій оброблення на токарному верстаті, коли заготовка встановлюється в патроні, необхідно забезпечувати умови пружної взаємодії базової поверхні з поверхнями кулачків, умови (4.40) та (4.41). При неможливості забезпечити виконання таких умов необхідно забезпечити виконання умов (4.42) та (4.43).

Головну складову сили різання P_z за традиційними степеневими моделями:

$$P_z = C_{pz} \cdot h^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot V^{n_{pz}} \cdot K_{pz} \quad (4.44)$$

Необхідні вихідні дані для розрахунку складових сили різання при обробленні окремих груп конструкційних матеріалів наводяться в довідниковій літературі [4,5,6].

Головна складова сили різання P_z визначається фізико-механічними характеристиками конструкційного матеріалу, геометричними параметрами різальної частини інструменту та складовими режиму різання. Швидкість різання має найменший вплив на силу різання, тому найчастіше величину головної складової сили різання змінюють за рахунок глибини різання h та подачі S_o , які визначають площу поперечного перерізу шару, що видаляється. Відповідно, при розрахунках режимів різання, за розрахованою величиною допустимої складової сили різання, необхідно розрахувати допустиму подачу за формулою:

$$[S_o] = \left\{ \frac{[P_z]}{C_{pz} \cdot h^{x_{pz}} \cdot V^{n_{pz}} \cdot K_{pz}} \right\}^{y_{pz}} \quad (4.45)$$

Враховуючи, сучасні тенденції вдосконалення конструкційних матеріалів та розроблення нових спеціалізованих конструкційних матеріалів, які забезпечують ефективні умови роботи виробів в заданих умовах експлуатації, актуальним є створення універсальних математичних моделей для визначення складових сили різання. Сучасні світові інструментальні фірми [7] використовують для визначення головної складової сили різання P_z питому силу різання, яка є надійним показником фізико-механічних характеристик конструкційного матеріалу та враховує вплив умов оброблення на питому силу різання. Для визначення головної складової сили різання використовують формулу:

$$P_z = p \cdot f \quad (4.46)$$

де p -питома сила різання, яка визначає характеристики конструкційного матеріалу та вплив умов оброблення на її величину і визначається за формулою:

$$p = p_1 \cdot \frac{1 - 0,01 \cdot \gamma}{(S_o \cdot \sin\varphi)^m} \quad (4.47)$$

де p_1 -одичина питома сила, яка наводиться у довідниках ; γ -передній кут різальної частини інструменту; φ -головний кут в плані різальної частини інструменту; m -показник степені, який враховує вплив товщини шару, що зрізується на одичину питому силу різання, наводиться в довідниках.

З урахуванням формули (4.46), головна складова сили різання визначається за формулою:

$$P_z = p_1 \cdot \frac{(1 - 0,01) \cdot \gamma}{S_o^m \cdot (\sin\varphi)^m} \cdot h \cdot S_o = p_1 \cdot \frac{(1 - 0,01) \cdot \gamma \cdot h \cdot S_o^{(1-m)}}{(\sin\varphi)^m} \quad (4.48)$$

Відповідно, допустима подача, яка буде забезпечувати пружну взаємодію базової поверхні з кулачками патрону, визначається за формулою:

$$[S_o] = \left\{ \frac{[P_z] \cdot (\sin\varphi)^m}{p_1 \cdot (1 - 0,01) \cdot \gamma \cdot h} \right\}^{(1-m)} \quad (4.49)$$

Аналіз умов базування та закріплення заготовки в патроні обумовлює необхідність враховувати ці умови при розрахунку режимів різання, що особливо важливо для етапів чистового оброблення поверхонь для запобігання пластичного деформування базових поверхонь.

4.2.3 Повідкові токарні патрони

Базування валу в центрах забезпечує реалізацію принципу незмінності баз, що забезпечує правильне просторове розташування поверхонь валу відносно його осі. Разом з тим, необхідно приймати до уваги, що базування в центрах не може забезпечити передачу крутного моменту від шпинделя верстата до заготовки, тому за таких умов передбачається використання спеціальних токарних патронів, які, не змінюючи схему базування, забезпечують передачу крутного моменту.

За умов установки валів в центрах необхідно застосовувати конструкції патронів, які можуть забезпечити:

- передачу до заготовки крутного моменту для виконання чорнового оброблення з ефективними режимами різання;

- базування заготовки по незмінній торцевій поверхні для забезпечення похибки базування, яка дорівнює нулю, як для діаметральних так і для лінійних розмірів;
- максимальну кількість поверхонь валу, які будуть доступні для оброблення за такої схеми установки;
- можливість швидкого переналагодження установки в центрах на установку в патроні.

Таким вимогам відповідають сучасні конструкції токарних повідкових патронів. На рис.4.19. наведена конструкція універсального повідкового патрону, яка забезпечує оброблення заготовок, що базуються в центрах, та передачу крутного моменту від шпинделя верстата до заготовки.

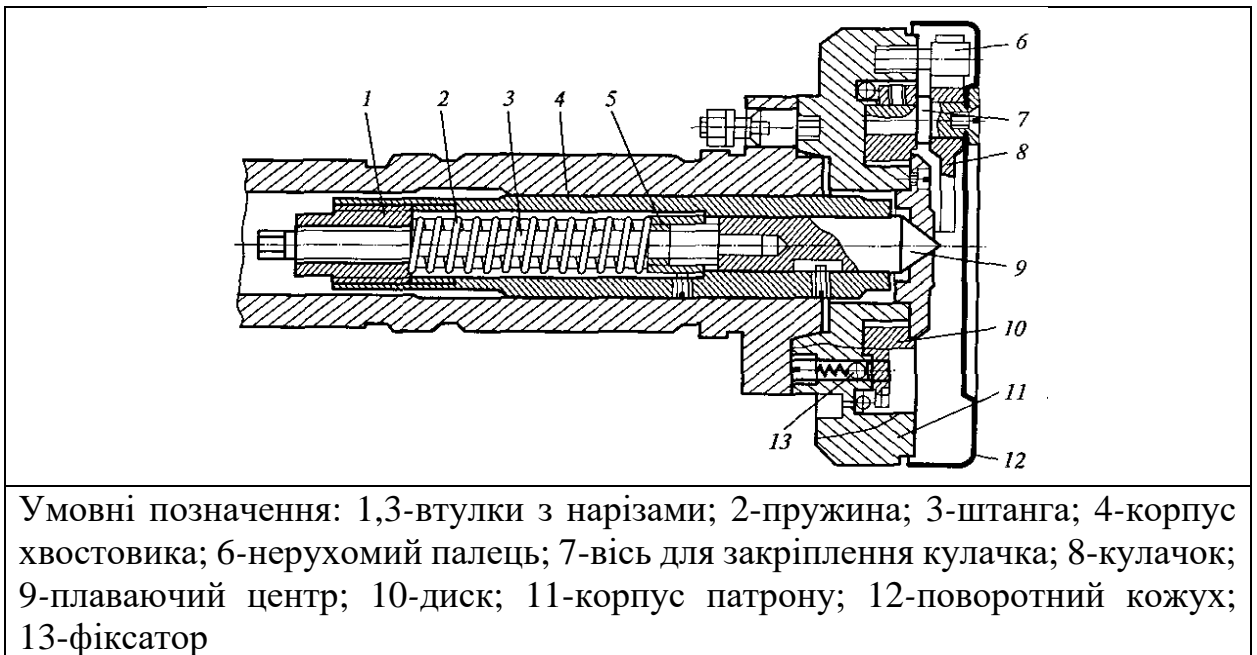


Рис.4.19. Універсальний повідковий патрон для базування деталей в центрах

На рис.4.20. наведено конструкцію універсального трикулачкового повідкового токарного патрону

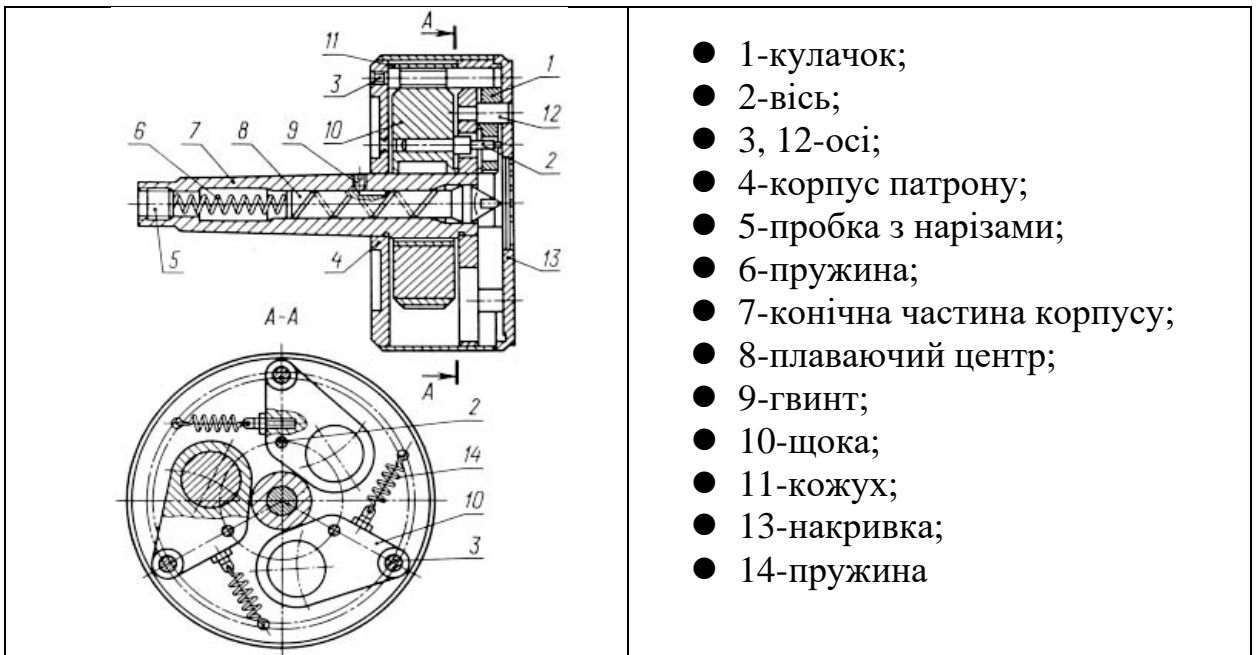


Рис.4.20. Універсальний трикулачковий повідковий патрон для базування деталей в центрах

На рис.4.21. наведено конструкцію повідкового токарного патрону з ексцентриковими кулачками.

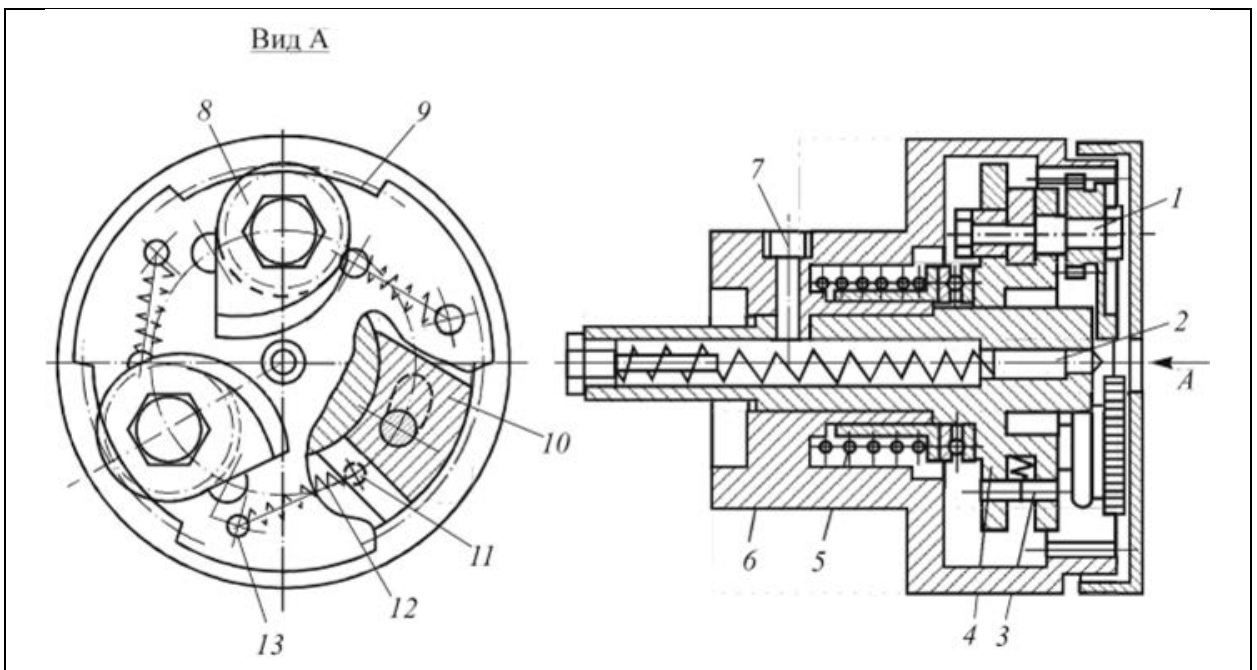
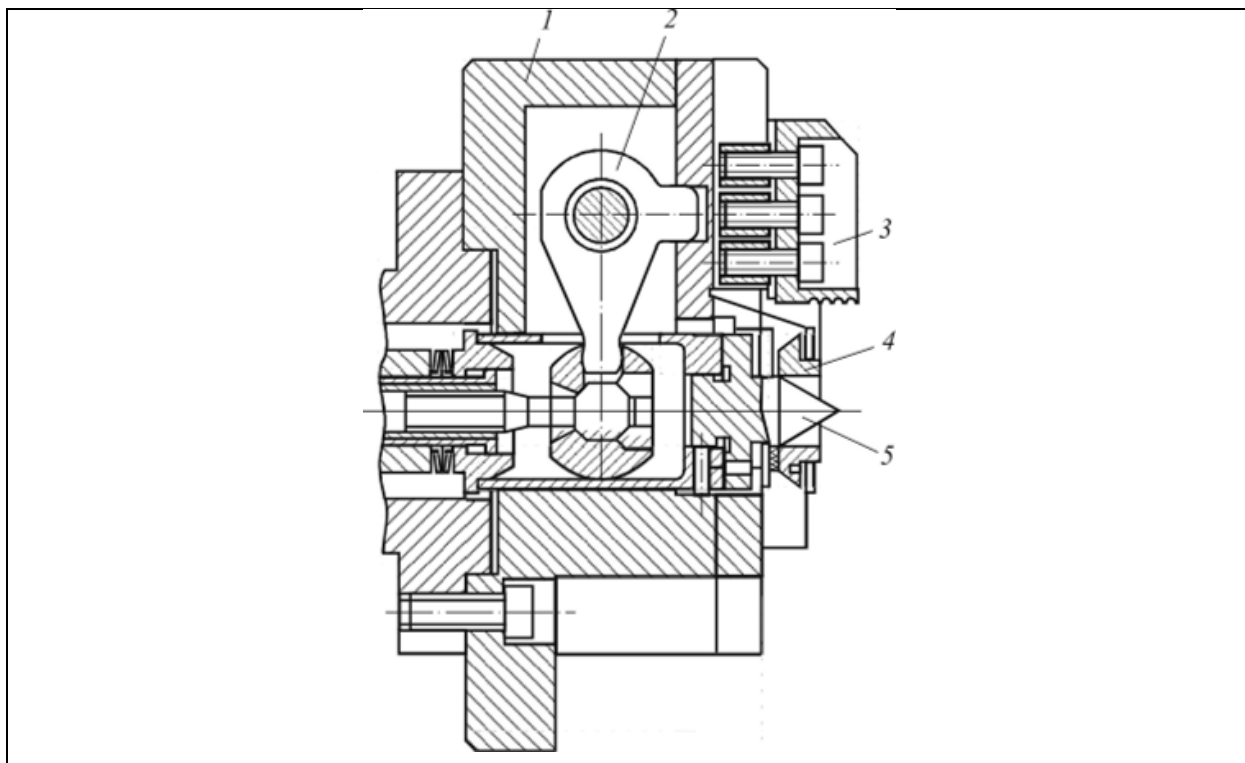


Рис.4.21. Повідковий токарний патрон з ексцентриковими кулачками

Заготовка базується в центрах по торцевій поверхні корпусу 4, що забезпечується осьовим переміщенням заготовки під дією обертового заднього центру. При переміщенні торцевої поверхні 4 в осьовому напрямку стискається пружина 5 та гвинтовий паз корпусу 4 взаємодіє з кінцем гвинта 7, що встановлений в корпусі 6. В результаті такої взаємодії корпус 4

повертається за годинниковою стрілкою. В корпусі 4 виконано кільцевий паз, в якому розміщені сухарі 10 з закріпленими на них осями 1. При повороті корпусу 4 відбувається поворот кулачків 8, які встановлені на осях 1 разом з зубчастими колесами, які знаходяться в зачепленні з зубчастим сектором 9, який виготовлений на нерухомому корпусі 6. При цьому корпус 6 повертається проти годинникової стрілки до контакту поверхні кулачків з базовою поверхнею заготовки з зусиллям натягу, що створюють пружини 12, які закріплені на штифтах 11 та 13 в корпусі 4 та сухарях 10. При подальшому повороті корпусу 4 до упору в корпус 6 сухарі 10 переміщуються в кільцевому пазу корпусу 4 та розтягують пружини 12. При цьому корпус 4 з кулачками 8 та заготовка разом з захисним кожухом переміщуються в осьовому напрямку. В комплекті корпусу передбачені змінні затискні кулачки, які забезпечують базування заготовок в діапазоні зміни діаметрів $\varnothing(8-40)$ мм.



Умовні позначення: 1-корпус; 2-двоплечі важелі; 3-кулачки; 4-упор; 5-плаваючий патрон

Рис.4.22. Універсальний трикулачковий повідковий патрон для базування деталей в центрах

Трикулачковий повідковий патрон (рис.4.22) призначений для базування деталей в центрах та передачі крутного моменту від шпинделя верстата до заготовки.

Патрон складається з корпусу 1 з трьома важелями 2 та плаваючим центром 5. Конструкція патрону забезпечує підвищення точності оброблення за рахунок створення рівномірного зусилля закріплення заготовки кожним у кулачком та зменшує похибку радіального биття відносно осі базування. Базування по торцевій поверхні забезпечується контактуванням заготовки з торцевою поверхнею 4.

Технологічні можливості сучасних верстатів з ЧПУ та багатофункціональних верстатів на їх основі можуть забезпечити повне оброблення всіх поверхонь валу, на певному етапі, з базуванням валу в центрах. За такої умови стандартні повідкові патрони, конструкції яких розглядалися вище не можуть забезпечити таке оброблення.

Тому розроблені токарні пристрої, які забезпечують необхідну схему базування заготовки в плаваючому передньому та задньому обертовому центрі, але крутний момент до заготовки передається через торцеву поверхню, для чого використовуються спеціальні штиркові або зубчасті пристрої.

Загальна схема установки заготовки з базуванням в центрах та застосуванні торцевого повідкового пристрою наведено на рис.4.23.

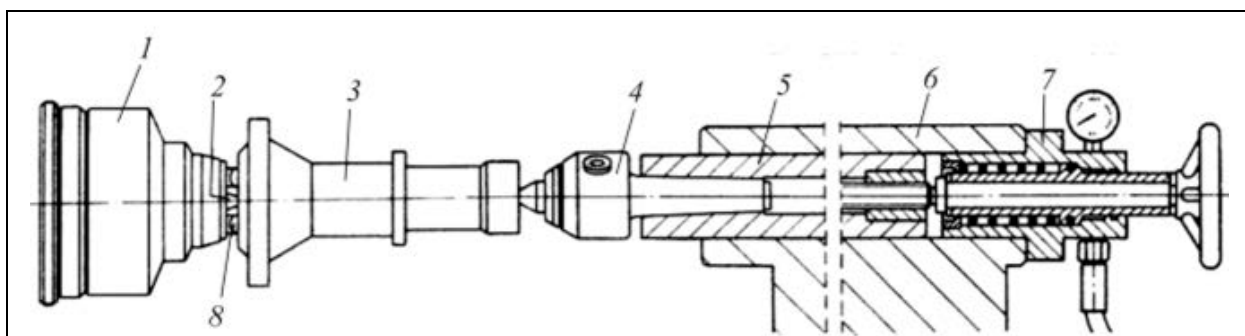


Рис.4.23. Схема установки заготовки з базуванням в центрах при застосуванні торцевого повідкового пристрою

Для оброблення використовується схема базування заготовки в плаваючому передньому центрі 2 та задньому обертовому центрі 4. Крутний момент від шпинделя до заготовки передається за рахунок загострених штирів,

або зубців, які втискаються в торцеву поверхню заготовки. Заготовка 3 притискається торцевою поверхнею до штирів 8 токарного патрону 1 гідроциліндром 7, який встановлений в пінолі 5 задньої бабки 6 та забезпечує осьове переміщення обертового заднього центру 4. За рахунок само встановлення штирів або зубців відносно базової торцевої поверхні та дії осьової сили закріплення відбувається їх втискання в торцеву поверхню на однакову глибину навіть за умов наявної похибки, а саме неперпендикулярної торцевої поверхні відносно осі базування центрових отворів.

Надійність та довговічність роботи таких патронів визначається конструкційним матеріалом, з якого виготовлюються штирі, умовами їх термічного оброблення та роботоздатністю підшипників обертального заднього центру, оскільки зусилля закріплення створюється за рахунок навантаження заднього центру. Глибина втиснення штирів в торцеву поверхню заготовки складає $h=(0,15\dots0,20)$ мм. Найменший зовнішній діаметр базової торцевої поверхні визначається конструктивно, а саме - зовнішнім описаним діаметром навколо опорних штирів. Відповідно, зовнішній діаметр базової поверхні може значно переважати описаний діаметр штирів, але за таких умов буде зростати момент різання, який буде визначатися головною складовою сили різання P_z та діаметром оброблюваної поверхні, що буде вимагати, при незмінному описаному діаметру опорних штирів, збільшення осьової сили, що обумовлює зростання навантаження на підшипники обертового заднього центру.

Конструкція торцевого повідкового пристрою з гідравлічною пластмасою наведено на рис. 4.24.

В отворі корпусу 4 встановлено плаваючий центр, який в осьовому напрямку навантажений пружиною 6. Торцева шпонка 3 передає крутний момент повідковим штирям 2.

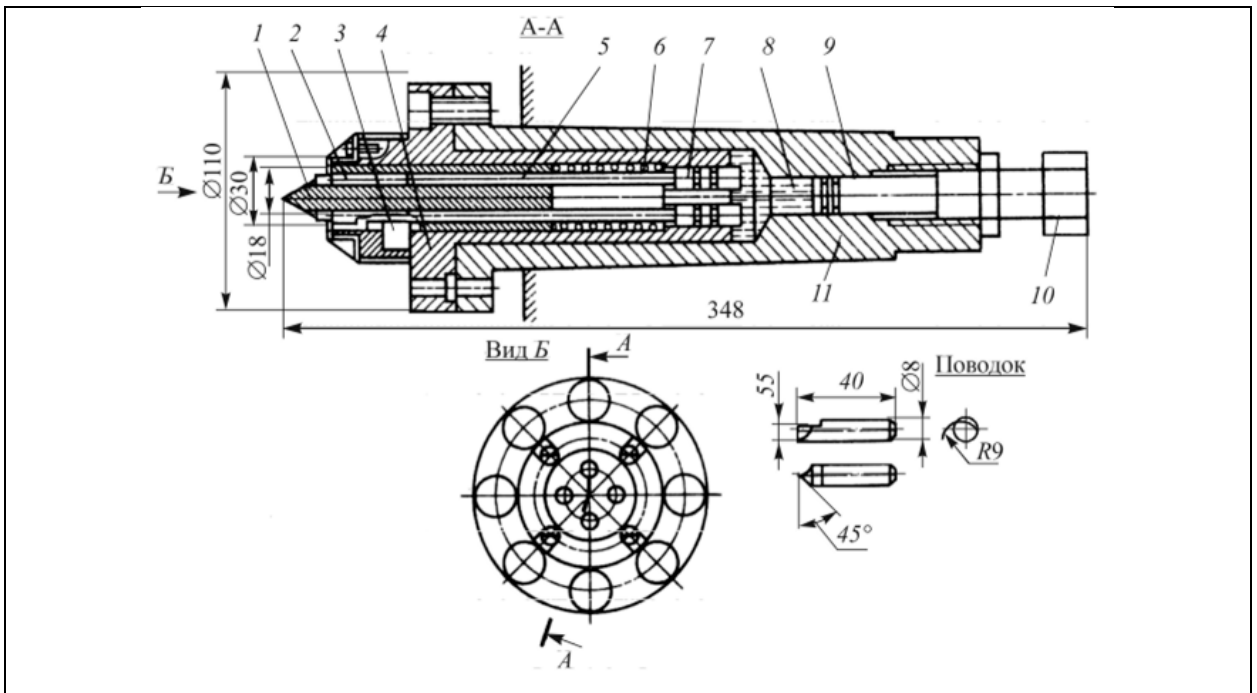


Рис.4.24. Торцевий повідковий пристрій з гідравлічною пластмасою

Під дією осьової сили від обертового центру в базову торцеву поверхню заготовки втискаються повідкові штирі 2, які через штовхачі 5 та плунжери 7 опираються на гідравлічну пластмасу 8. Гідравлічна пластмаса 8 забезпечує рівномірне втискання повідкових штирів в торцеву поверхню та забезпечує компенсацію похибку розміщення торцевої поверхні відносно осі базування при її наявності. Плунжер 9 з гвинтом 10 закриває осьовий отвір після його заповнення гідравлічною пластмасою.

На рис.4.25. наведена конструкція переналагоджуваного торцевого повідкового патрону, який призначений для оброблення валів в діапазоні зміни діаметрів $\text{Ø}(80-240)\text{мм}$. Патрон встановлюють на шпинделі верстата за допомогою перехідного фланця 4 та закріплюють гайками 2, що нагвинчуються на шпильки 1 після повороту спеціальної установочної шайби на шпинделі. Торцеві повідкові штирі 9 можуть переналагоджуватись у корпусі 8 на різні діаметри описаного кола навколо опорних штирів у залежності від діаметра базової поверхні.

Змінні кришки 10, які закріплюються на корпусі 8 мають овальні отвори, які орієнтують просторове положення опорних штирів та запобігають їх

повертання навколо своєї осі, за рахунок спеціальних лисок, які виготовлені на штирях.

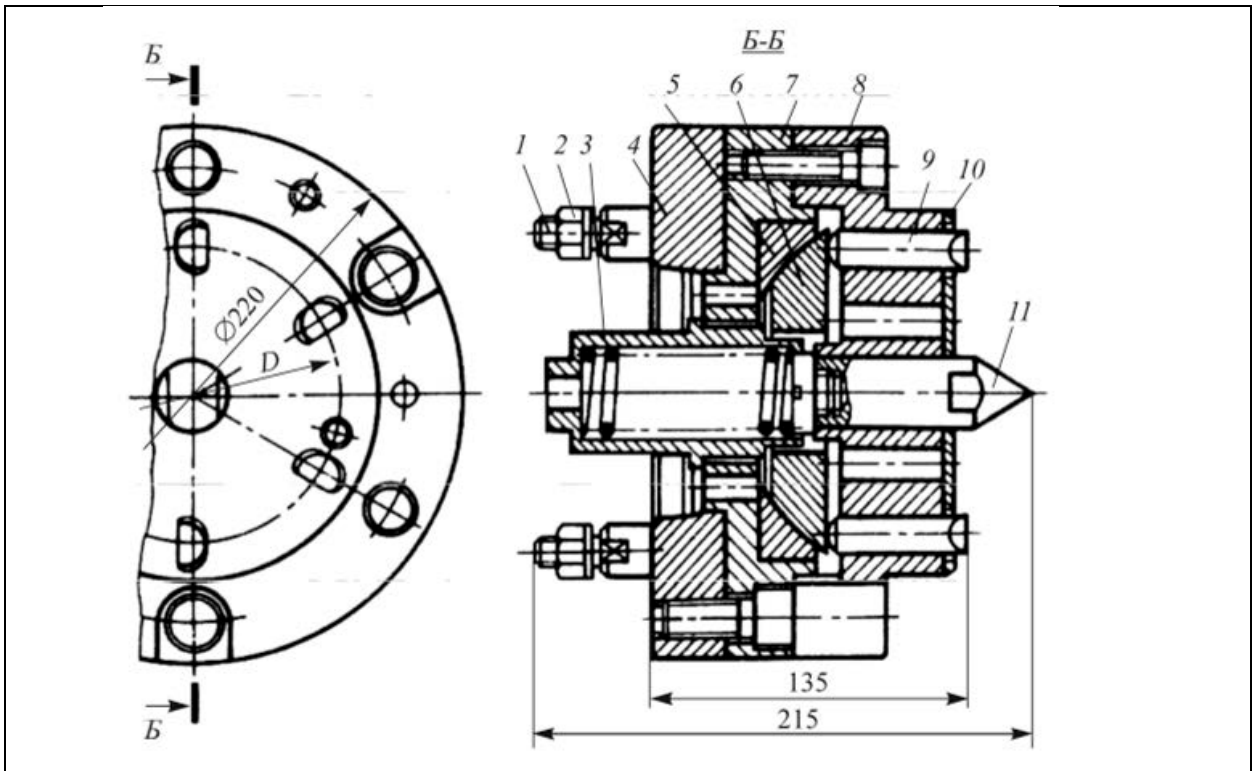


Рис.4.25. Переналагоджуваний торцевий повідковий патрон

Змінні кришки 10, які закріплюються на корпусі 8 мають овальні отвори, які орієнтують просторове положення опорних штирів та запобігають їх повертання навколо своєї осі, за рахунок спеціальних лисок, які виготовлені на штирях.

Корпус 8 з'єднаний з перехідним фланцем 7. Опорні сферичні поверхні повідкових штирів 9 опираються на сферичну платформу 6, яка має можливість самовстановлюватися по сферичній кільцевій поверхні 5, в залежності від похибки розміщення базової торцевої поверхні відносно осі базування для забезпечення рівномірного втискання повідкових штирів.

4.2.4 Оправки для встановлення заготовок-тіл обертання

Визначення схеми установки заготовки для токарного оброблення обумовлюється співвідношення довжини деталі (l) та діаметра (d), яке

визначає жорсткість оброблюваної заготовки, з урахуванням етапу оброблення (чорновий, чистовий, завершальний), а, відповідно, вимогами до характеристик якості оброблених поверхонь, які необхідно забезпечити за результатами оброблення. Традиційно приймають, що за умов співвідношення $l/d \leq 3$ заготовку доцільно встановлювати в патронах або шпиндельних оправках, в залежності від конструктивних особливостей деталей. Для співвідношення $3 < l/d \leq 10$, заготовку доцільно встановлювати в патроні та задньому обертовому центрі, або в центрах із застосуванням спеціальних повідкових патронів, які забезпечують передавання крутного моменту від шпинделя верстату до заготовки. За умови, коли співвідношення $l/d > 10$, та малих розмірах діаметру $d \leq 40$ мм, заготовку для оброблення необхідно встановлювати в патроні та задньому обертовому центрі, або в центрах з використанням додаткової опори-рухомого, або нерухомого люнету.

Для оброблення на токарних верстатах деталей зі співвідношенням розмірів $l/d < 1$, до яких, в першу чергу, необхідно віднести втулки та зубчасті колеса, в яких поверхнями базування є внутрішні циліндричні поверхні, використовують токарні оправки. Застосування токарних оправок для базування деталей у процесі оброблення забезпечує співвісність базових поверхонь із зовнішніми поверхнями допоміжних технологічних баз, якими є, наприклад, зубчасті поверхні та перпендикулярність до осі деталі торцевих поверхонь.

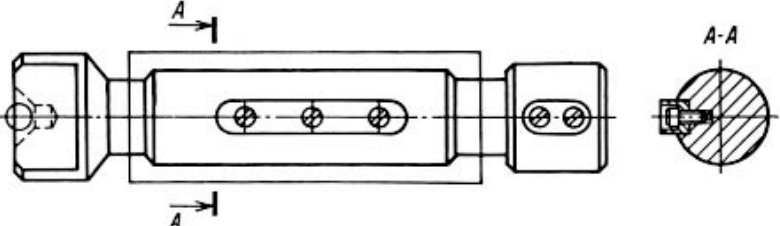
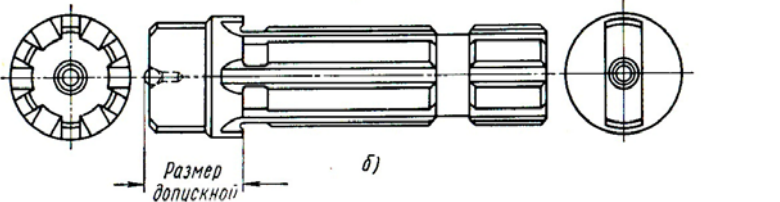
В залежності від способу установки та базування оброблених заготовок, токарні оправки поділяють:

- жорсткі для установки заготовок із зазором або натягом;
- клинові (плунжерні та кулькові);
- розтискні цангові;
- оправки з тарілчастими пружинами;
- самозатискні (кулачкові та роликові);

- з центрувальною пружною втулкою.

В залежності від техніко-організаційних умов виробництва використання таких верстатних пристроїв є ефективним. В табл.4.4., на рис.4.25 та рис.4.26 наведені конструкції жорстких центрових оправок, які використовують для установки заготовок.

Таблиця 4.4- Жорсткі центрові оправки

	<p>Гладка оправка зі шпонкою</p>
	<p>Шліцева оправка</p>

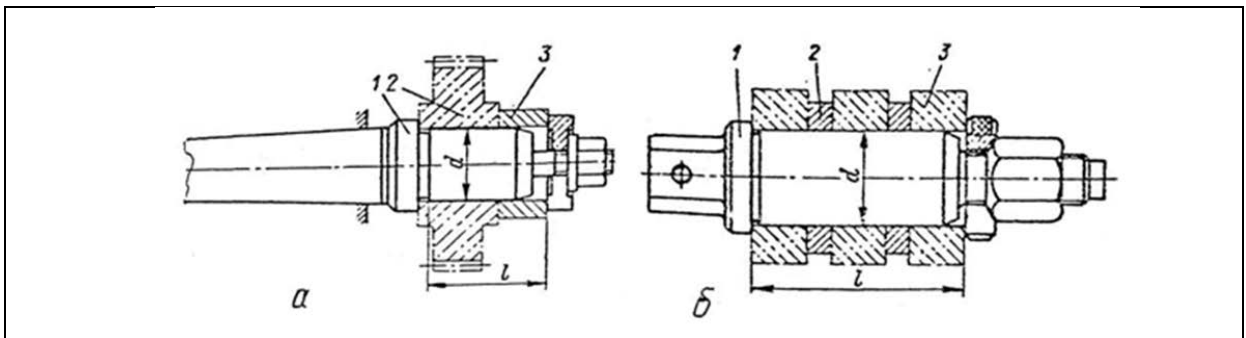


Рис.4.25. Установлення заготовок на жорсткі циліндричні оправки: а, б – із гарантованим зазором

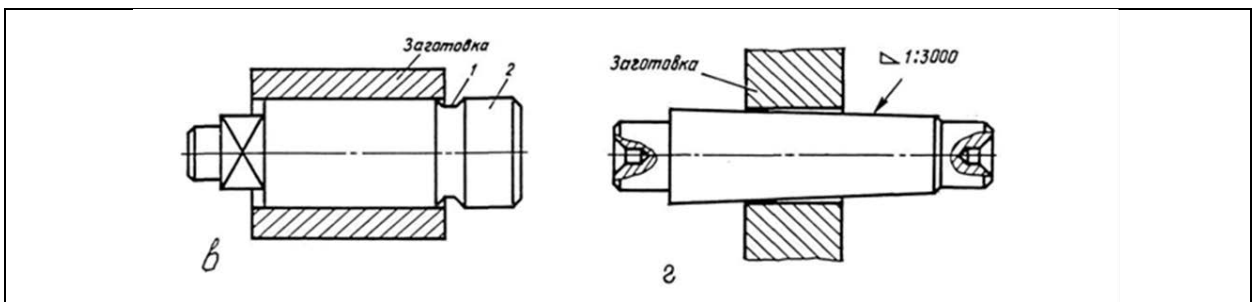


Рис.4.26. Установлення заготовок на жорсткі циліндричні оправки: в- з гарантованим натягом; г-на конічну оправку

Є очевидним, що такі пристрої не забезпечують достатню продуктивність оброблення та обмежують можливість автоматизації установки заготовки.

Розтискні оправки доцільно застосовувати за наступних умов:

- при необхідності оброблення всіх зовнішніх поверхонь заготовки за одну установку;
- при наявності в конструкції заготовки елементів, які можуть мати недопустимі деформації при зовнішньому закріпленні;
- при обробленні тонкостінних заготовок;
- при необхідності забезпечення підвищеної точності установки.

Для базування заготовок по внутрішніх циліндричних поверхнях на етапах чорнового оброблення ефективним є застосування розтискних кулачкових (плунжерних) оправок, конструкцію яких наведено на рис.4.27 та рис.4.28. Основі вимоги до конструкцій таких оправок визначає міждержавний стандарт [8].

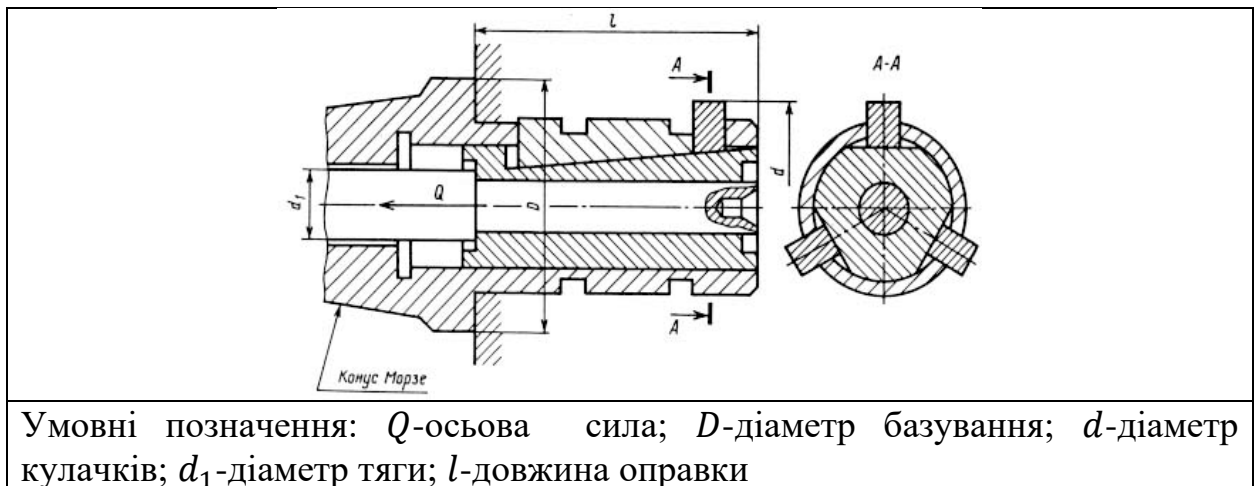


Рис.4.27. Конструкція шпindelної кулачкової оправки

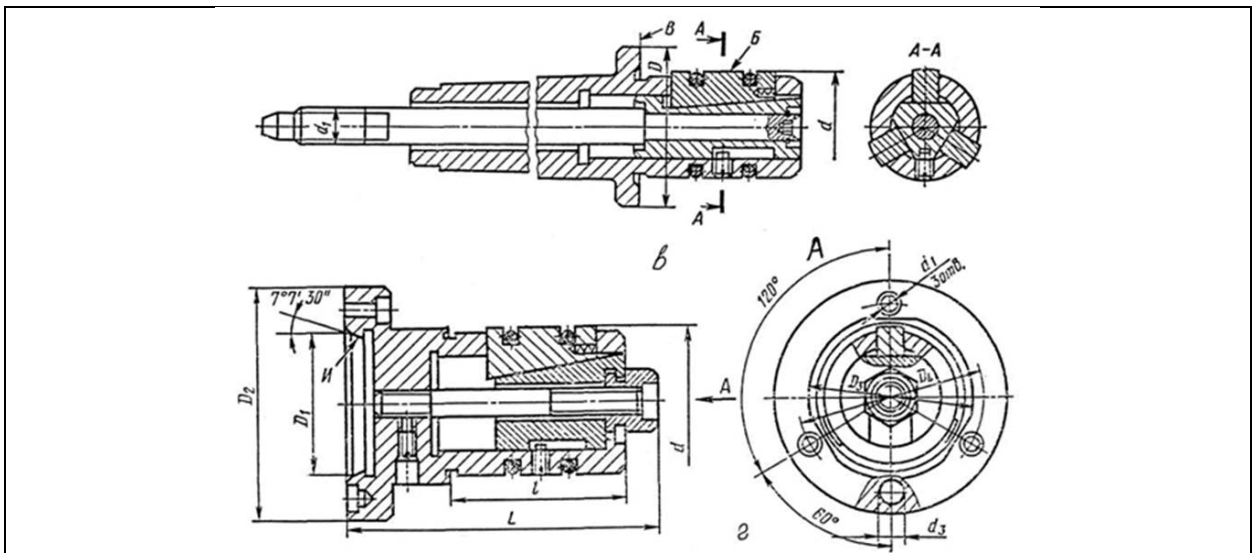


Рис.4.28. Приклади конструкцій клинокулачкових оправок

Кулачкові оправки з пневматичним приводом забезпечують зменшення часу на встановлення заготовки, здійснюють закріплення заготовки з постійною силою закріплення, але необхідно відзначити, що контакт затискних кулачків з поверхнею базування є дискретним, площу контакту визначають розміри закріпних кулачків. Приклади базування заготовок на розтискних оправках наведено на рис. 4.29.

При обробленні заготовок з інтенсивними режимами різання, за умов чорнового оброблення, необхідна сила затиску може приводити до пластичного деформування базової поверхні, що є недопустимим на етапах завершального оброблення.

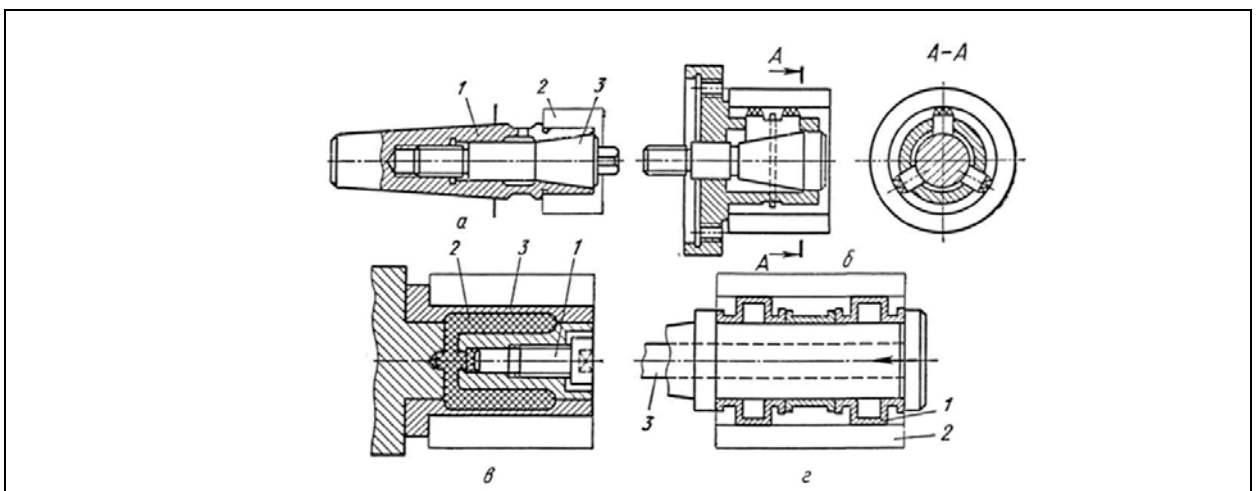


Рис.4.29. Установлення заготовок на розтискні оправки: а–на цангову; б–на клинокулачкову; в - з гідропластом; г-на мембранну оправку

Тому для оброблення заготовок з такою ж схемою базування доцільно використовувати конструкції цангових патронів. Принципова схема конструкції цангових патронів наведено на рис.4.30.

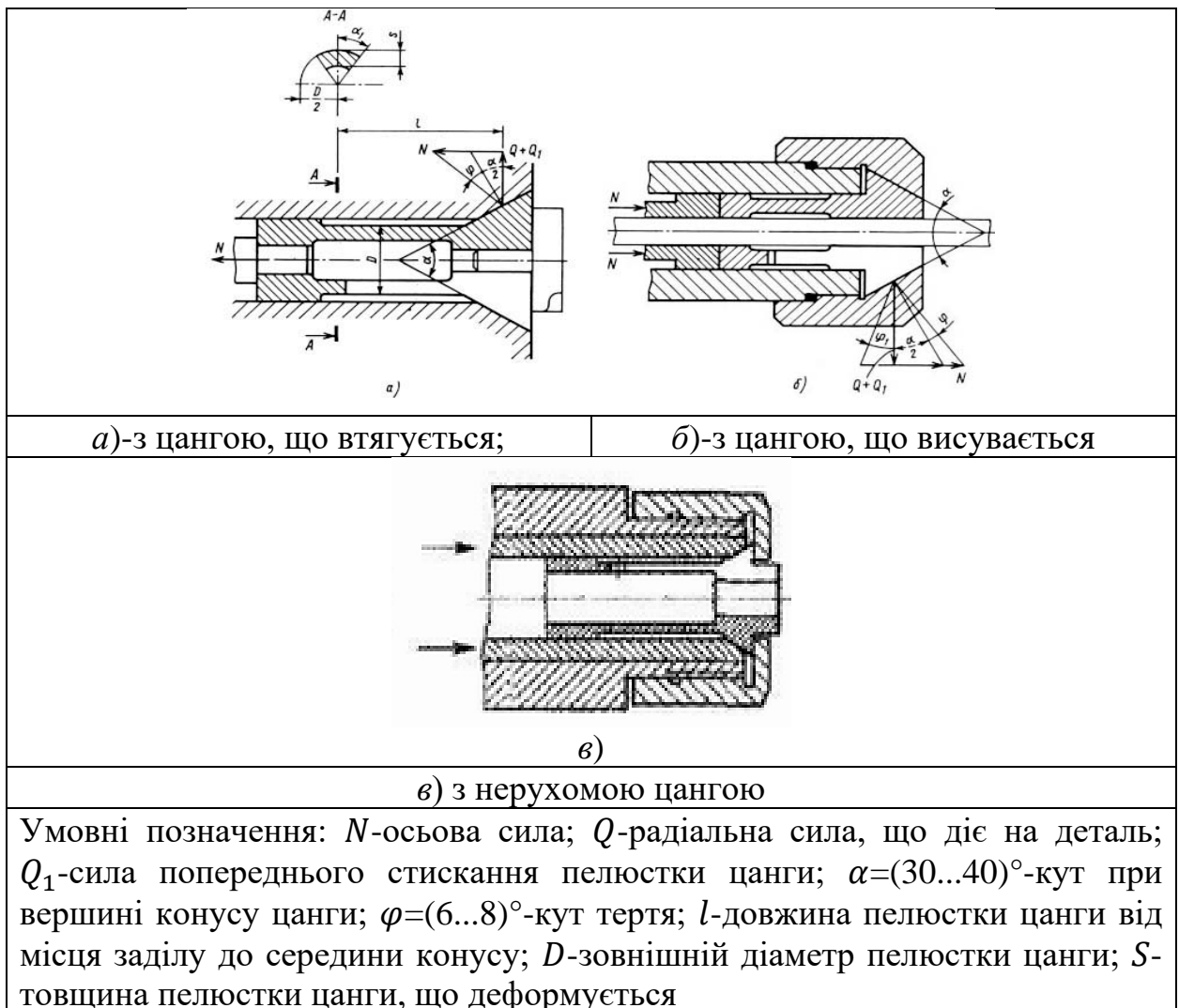


Рис.4.30. Схеми цангових патронів

Цанговими називають механізми, в яких у якості установочно-закріпного елемента застосовується цанга, яка за конструкцією представляє собою спеціальну розрізну конічну втулку, за допомогою якої забезпечується задане положення осі базової поверхні. За особливостями конструкції цангових патронів їх поділяють:

- цангові патрони з цангою, що втягується;
 - цангові патрони з цангою, що висувається;
- цангові патрони з нерухомою цангою.

Цанга із зовнішньою конічною поверхнею використовується для закріплення деталей циліндричного, квадратного або іншого подібного поперечного перерізу. Цанги з внутрішнім конусом застосовуються для базування деталей по внутрішнім поверхням. Зусилля від автоматизованого приводу передається на зовнішню або внутрішню конічну поверхню. Для виготовлення цанги використовуються якісна легована сталь 20Х ГОСТ4543:2016, інструментальні вуглецеві сталі У7А та У8А [9], а для цанг, що працюють в важких умовах леговані сталі 12ХНВА, 9ХС, ХВГ та інші [10]. Пружні властивості цанги забезпечуються хіміко-термічним або термічним оброблення в залежності від властивостей конструкційного матеріалу для забезпечення твердості робочих поверхонь HRC58-60. Робочі поверхні цанги шліфують для забезпечення заданої точності та параметрів шорсткості поверхні. Робочий кут конусу цанги встановлюють в діапазоні $\alpha = (30 - 40)^\circ$ для запобігання заклинювання цанги в процесі роботи.

Базування в цангових патронах вимагає попереднього оброблення базових поверхонь з точністю IT9-IT10, що забезпечує похибку базування в границях $\varepsilon = (0,02 - 0,05)$ мм. Цанги з трьома пелюстками застосовуються для закріплення заготовок $\varnothing \leq 30$ мм, з чотирма- $30 < \varnothing \leq 80$ мм, з шістьма пелюстками $\varnothing > 80$ мм. При закріпленні деталі в цанговому патроні відбувається її осьове переміщення, яке визначається за формулою:

$$\varepsilon_o = \frac{\Delta}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (4.50)$$

де Δ -зазор між базовою поверхнею заготовки та робочою поверхнею цанги, мм; α -кут конусу цанги.

Для запобігання виникнення похибки осьового переміщення заготовки в конструкції цангових механізмів передбачають осьові упори, що забезпечує додаткове базування заготовки по торцевій поверхні заготовки. Необхідно відзначити, що конструкції цангових патронів мають відносно просту конструкцію та забезпечують високу точність установки заготовок та різальних інструментів з циліндричними хвостовиками, що обумовлює їх

широке застосування при обробленні на всіх сучасних верстатах з ЧПУ
рис.4.31, рис.4.32 та рис.4.33.

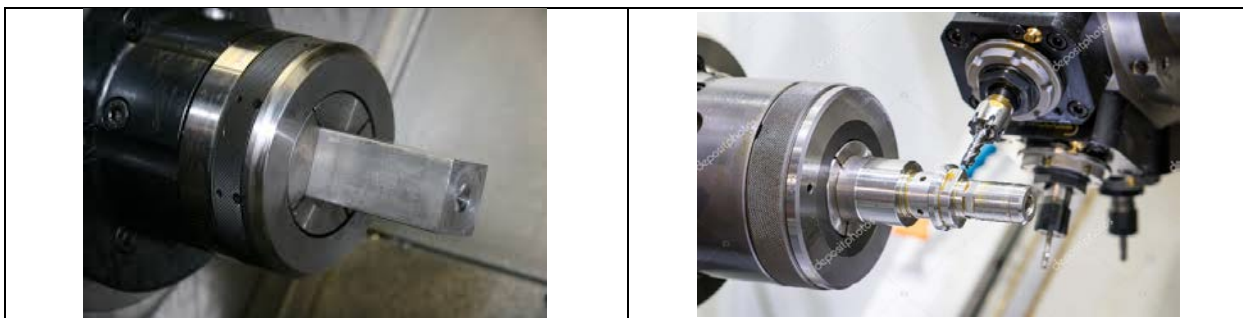
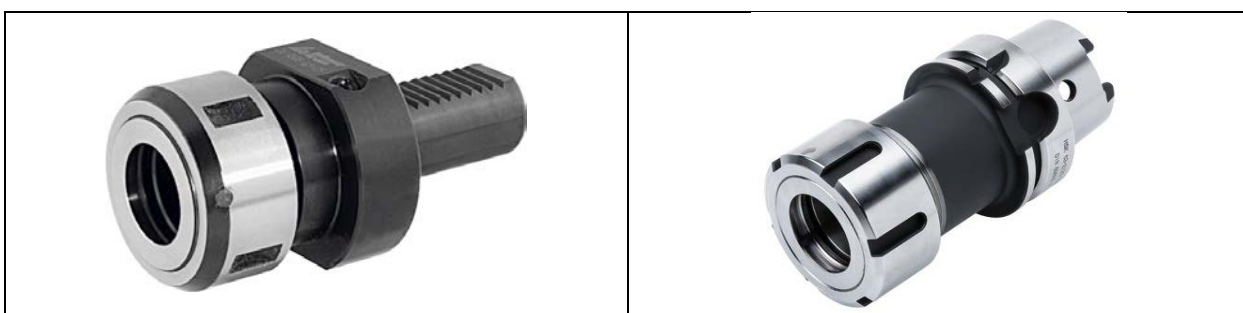


Рис.4.31. Приклади установки заготовки в цанговому патроні



Цангові патрони фірми Kemmler

Для установки інструментів з циліндричним хвостовиком на токарних верстатах



Цанговий патрон фірми Kintek

Цангові патрони фірми Kemmler

Для установки інструментів з циліндричним хвостовиком на фрезерних верстатах

Рис.4.32. Приклади конструкцій цангових патронів

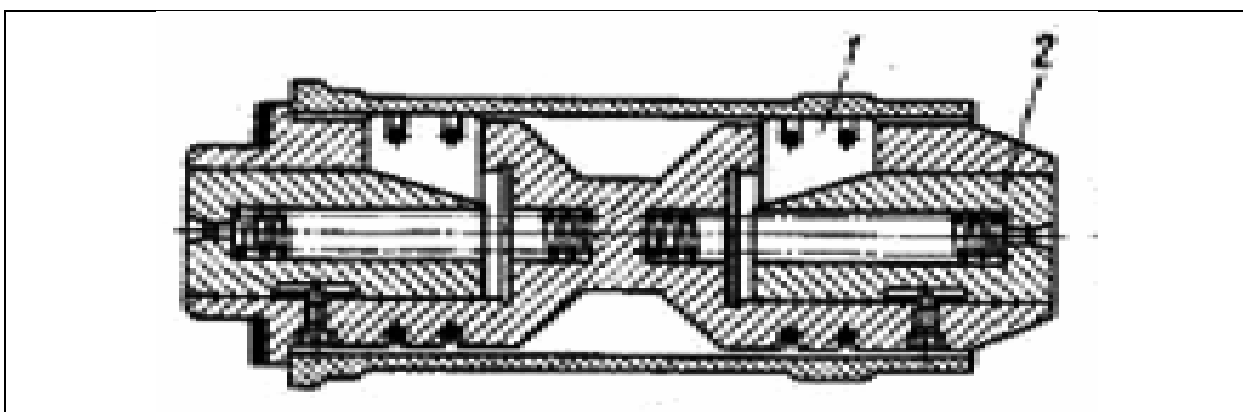
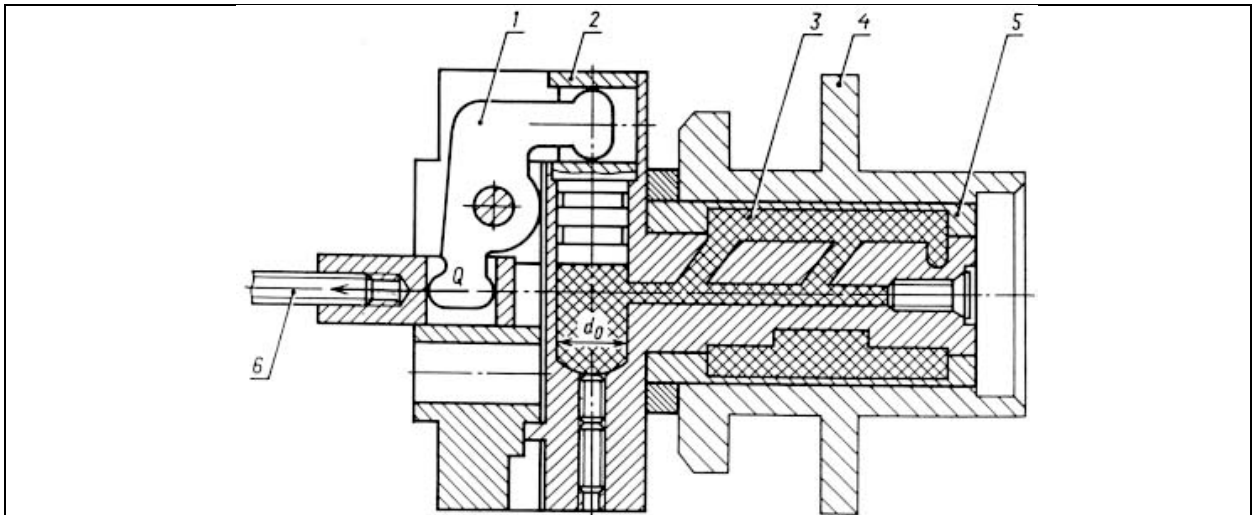


Рис.4.33. Цангова центрובה оправка

При обробленні тонкостінних конструкцій деталей на завершальних технологічних операціях, для виключення недопустимих деформацій оброблюваної заготовки та забезпечення високої точності установки, ефективним є використання тонкостінних оправок, які базують та закріплюють заготовку за допомогою гідравлічної пластмаси (рис.4.34).

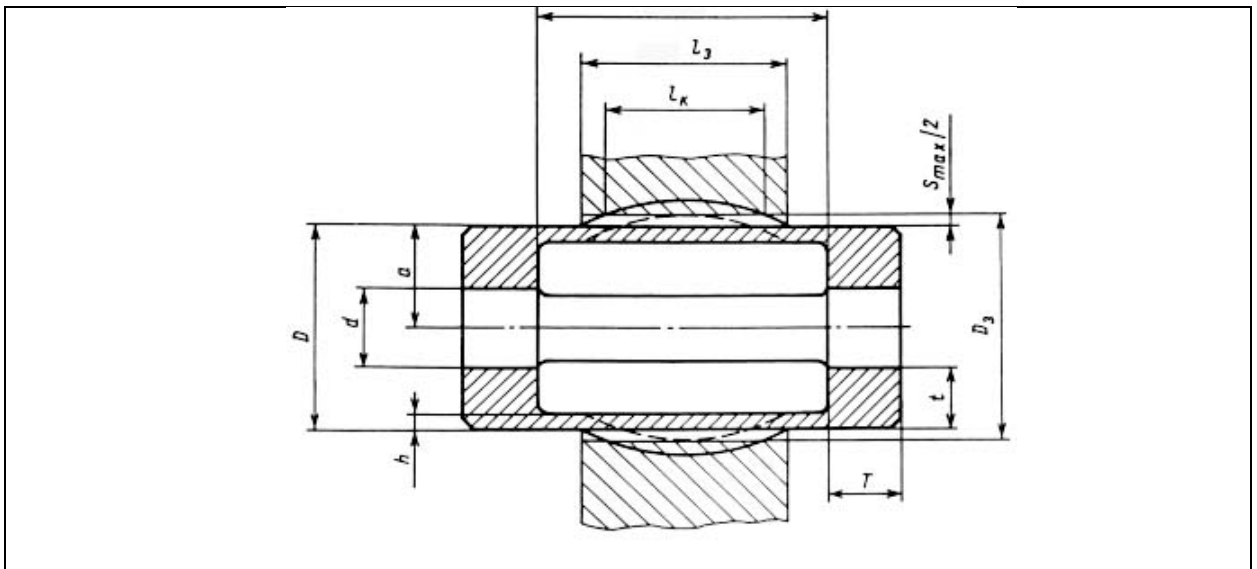


Умовні позначення: Q -осьова сила, що діє на шток циліндра; 1-важіль; 2-плунжер; 3-гідравлічна пластмаса; 4-заготовка; 5-розтискна втулка; 6-тяга

Рис.4.34. Тонкостінна автоматизована оправка з гідравлічною пластмасою

Недоліком такої оправки є висока складність конструкції та алгоритмів розрахунку розмірів поверхні для базування, необхідність використання конструкційних матеріалів, які мають високі характеристики пружності та технологічна складність виготовлення окремих елементів конструкції.

Практично такі ж технологічні завдання вирішують оправки з пружними тонкостінними втулками (рис.4.35).



Умовні позначення: D -діаметр базової поверхні втулки; h -товщина тонкостінної частини втулки; T -довжина опорних поясків; t -товщина опорних поясків; S_{max} –максимальний зазор між втулкою та базовою поверхнею заготовки; l_k -довжина контактної ділянки втулки; l_3 -довжина заготовки; D_3 -діаметр базової поверхні заготовки; d -діаметр отвору опорних поясків

Рис.4.35. Тонкостінна втулка для закріплення заготовок

Для базування деталей по внутрішніх базових поверхнях заготовки використовують оправки з тарілчастими пружинами. Такі оправки мають певні переваги в порівнянні з цанговими патронами:

- базування тарілчастими пружинами не вимагає такої високої точності базових поверхонь (IT11-IT10), як для цангових патронів і разом з тим вони забезпечують високу точність базування практично аналогічну цанговим патронам $\varepsilon = (0,01 - 0,05)$ мм;
- виготовлення тарілчастих пружин реалізується за достатньо простою технологією штампування та вирубування пазів, що обумовлює менші витрати в порівнянні з іншими пристроями;
- робочі розміри такої оправки остаточно формуються після збирання комплекту тарілчастих пружин, попереднього стискання та зовнішнього шліфування, що дає змогу, за необхідності, змінювати розміри поверхні центрування.

Тарілчасті пружини виготовляються із конструкційної ресорно-пружинної сталі марки 60С2А [11], загальний вигляд якої наведено на рис.4.36.

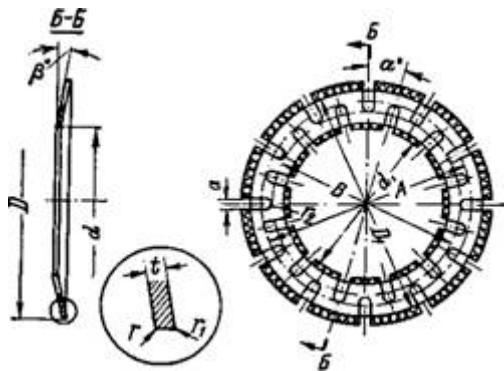
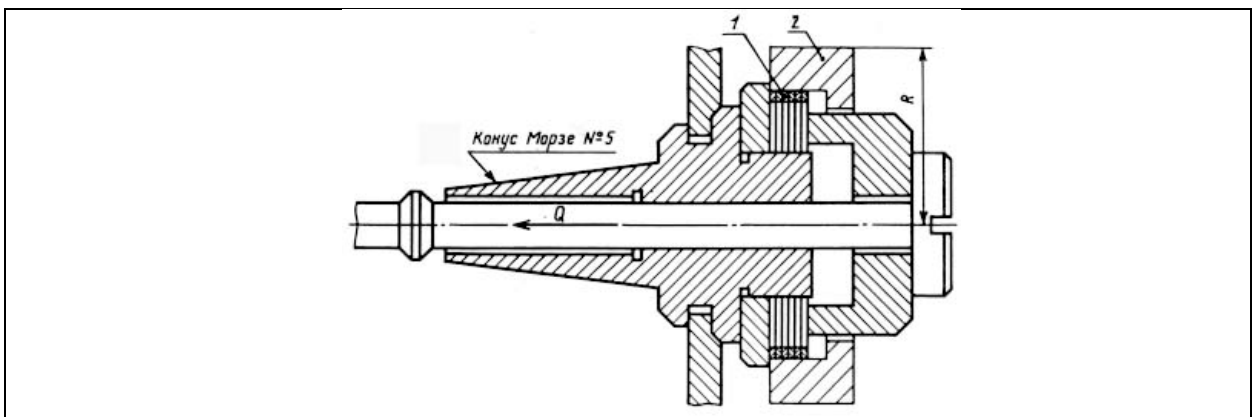


Рис.4.36. Загальний вид тарілчастої пружини

Характеристики тарілчастих пружин визначаються стандартом ГОСТ 3057-90. Наприклад, найменший зовнішній розмір тарілчастої пружини типу 1 складає $\varnothing 8\text{мм}$, внутрішній отвір $\varnothing 3,55\text{мм}$, а товщина $t = 0,30\text{мм}$, а найбільші розміри складають $\varnothing 400\text{мм}$, внутрішній отвір $\varnothing 224\text{мм}$ і товщина $t = 20\text{мм}$.

Для заготовок з короткими базовими поверхнями використовують один пакет тарілчастих пружин, розміщених таким чином, щоб при дії осьового зусилля необхідного для деформування пружин, забезпечувалось одночасне базування заготовки по торцевій поверхні (рис.4.37.).



Умовні позначення: 1-пакет тарілчастих пружин; 2-заготовка; R -радіус оброблюваної поверхні заготовки; Q -осьова сила, що діє на шток механізованого приводу

Рис.4.37. Консольна оправка з одним комплектом тарілчастих пружин

Діаметри базових поверхонь тарілчастої поверхні при їх деформуванні можуть змінюватись (збільшуватись або зменшуватись) в діапазоні $\Delta = (0,15 - 0,40)\text{мм}$ в залежності від типорозміру тарілчастих пружин. Для заготовок з протяжними базовими поверхнями використовують оправки з

двома комплектами тарілчастих пружин, які розміщують максимально віддаленими, як дозволяє конструкція оправки (рис.4.38).

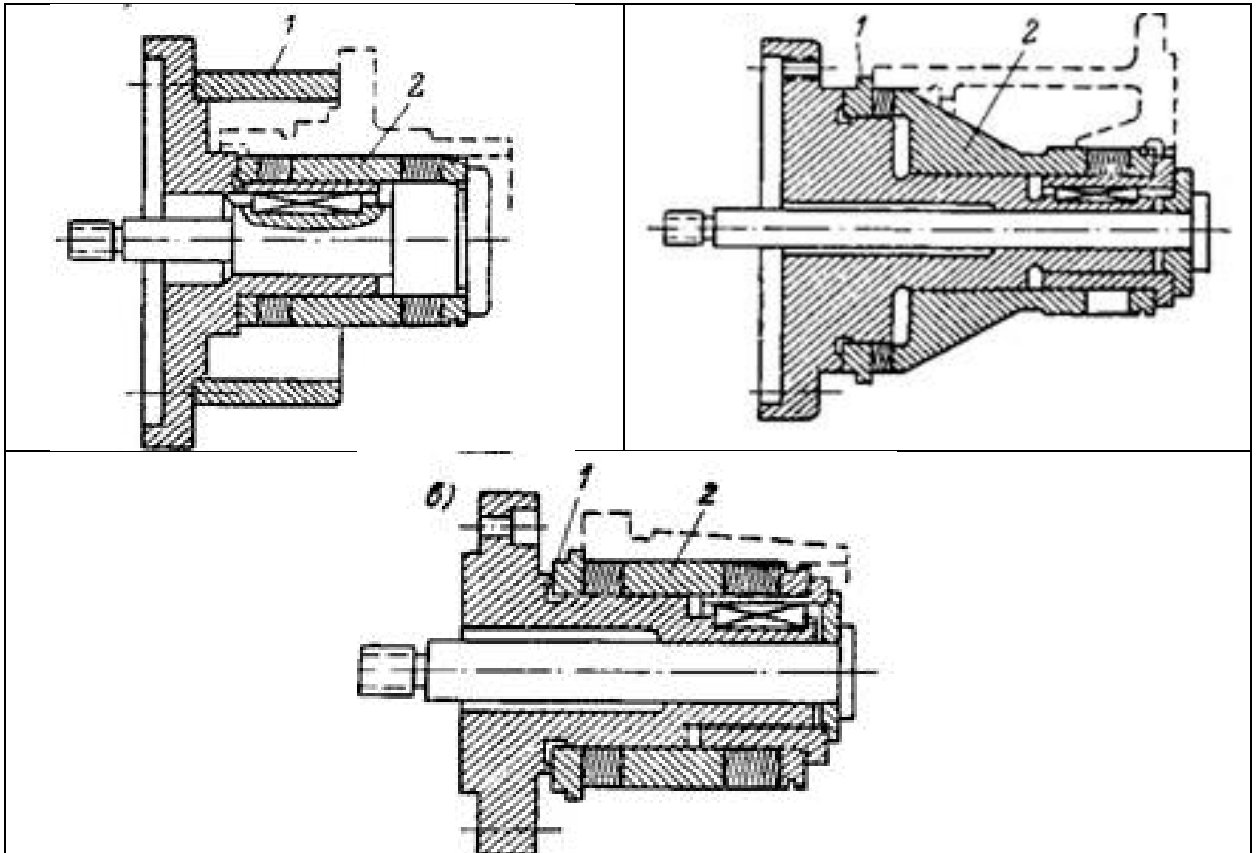


Рис.4.38. Механізовані консольні оправки з двома комплектами тарілчастих пружин

Окрім цього, кількість пружин в лівому комплекті повинна бути меншою, ніж в правому, щоб забезпечити компенсацію такої похибки базового отвору, як конусність. За такої конструкції оправки (рис.4.38) відбувається початкове переміщення заготовки до торцевої опорної площини 1 а потім остаточне закріплення заготовки. Розміри упорних поверхонь 1 та проміжних затискних втулок визначаються конструктивно. Якщо тарілчасті пружини з прорізами розглядати, як сукупність дволанкових важільно-шарнірних механізмів двосторонньої дії, то необхідну осьову силу, з достатньою для практики точністю, можна визначати за формулою:

$$W = 0,75 \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \beta_1} \cdot Q; \quad Q = 1,33 \cdot \operatorname{tg} \beta_1 \cdot W \quad (4.51)$$

Остаточне оброблення деталей з високими вимогами точності до просторового розташування взаємопов'язаних поверхонь можуть забезпечити мембранні патрони. Мембранний патрон (рис.4.39) використовується для

установки циліндричних зубчастих коліс для остаточного шліфування внутрішнього отвору.

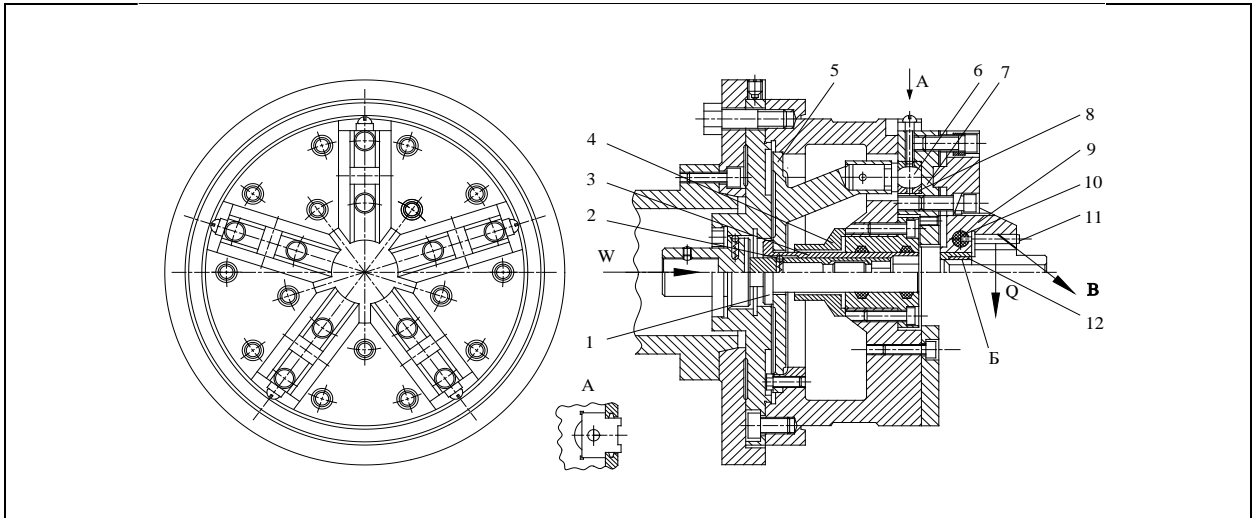


Рис. 4.39. Механізований мембранний патрон

Під дією сили W втулка 1 деформує мембрану 5. Ріжки мембрани сферичними опорами 6 переміщують основні кулачки 7 і закріплені на них змінні кулачки 9. Надмірній деформації мембрани запобігає втулка 4. В отворах змінних кулачків встановлені гумові стрижні 10, в які вгвинчені ролики 11, що вільно розміщуються в западинах між зубцями колеса. При переміщенні втулки 1 вліво, мембрана 5 пружно деформується, а сферичні опори 6 через шайби 8 і кулачки, тиснуть на ролики 11, центруючи та затискуючи заготовку.

При заміні кулачків 9 необхідно шліфувати поверхні в робочому положенні, тому між ними по поверхні Б закріплюється кільце 12. Величина переміщення кулачків регулюється осьовим положенням втулки 1, що фіксується кулькою 2 і гвинтом 3.

4.2.5 Особливості оброблення деталей малої жорсткості

Для реалізації процесів токарного оброблення довгих заготовок з забезпеченням високих характеристик якості робочих поверхонь використовують схему установки в центрах та використанням додаткових опор-люнетів. За такої схеми установки, крутний момент від шпинделя

верстату до заготовки передають повідкові патрони, а за конструктивними особливостями та технологічними завданням, що вирішуються, люнети поділяють на нерухомі та рухомі. На рис.4.40. наведені схеми установки рухомого та нерухомого люнетів на токарному верстаті.

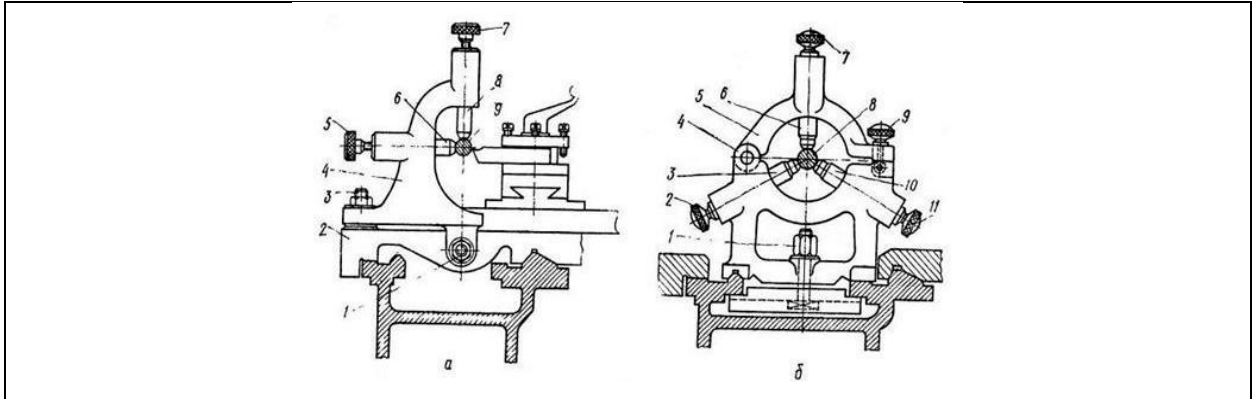


Рис.4.40. Схеми установки рухомого та нерухомого люнетів на токарному верстаті

Рухомий люнет встановлюється на супорті токарного верстату та переміщується впродовж оброблюваної поверхні разом з різцетримачем (рис.4.40а)). Нерухомий люнет закріплюється на станині верстату і є нерухомим при переміщенні супорту разом з інструментом (рис.4.40 б)).

Нерухомі люнети традиційної конструкції мають рознімну конструкцію. Верхня частина люнету 5 для відкриття зони розміщення валу обертається навколо осі 4 і забезпечує установку заготовки та подальше закриття та фіксацію люнету поворотним болтом 9. Заготовка базується на три опори з роликами 3, 6, 10, що обертаються. Положення заготовки 8 в люнеті послідовно регулюється гвинтами 4, 7, 11 і забезпечується суміщення осі шпинделя та заготовки.

Рухомий люнет має тільки два опорних ролики 6, 8, які налагоджуються гвинтами 5, 7. Завданням рухомого люнету є створення протидій радіальній складовій силі різання P_y , яка найбільше впливає на деформацію заготовки малої жорсткості. Технологічною проблемою застосування рухомого люнету є необхідність незмінного діаметра поверхні для його базування та оброблення, що обмежує його застосування при обробленні ступінчастих

поверхонь. Загальний вид конструкцій рухомого та нерухомого люнетів наведені на рис.4.41.

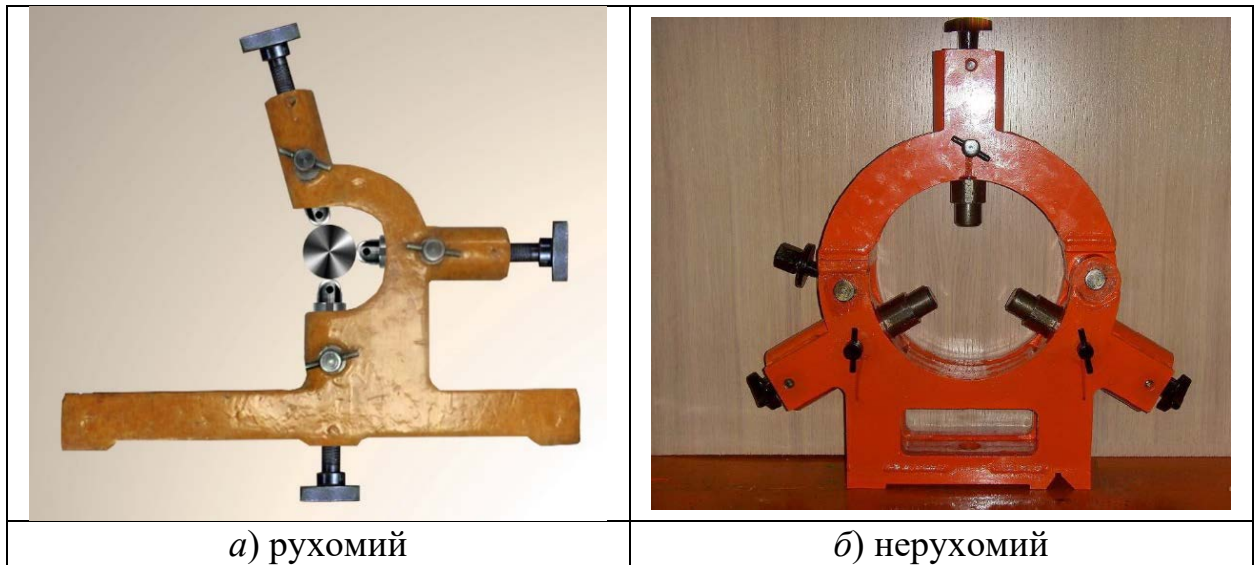


Рис.4.41. Конструкції токарних люнетів

Недоліком конструкції наведених люнетів (рис.4.41) є складність налагодження та значні витрати часу, тому є очевидним, що такі конструкції люнетів непридатні для оброблення на верстатах з ЧПУ.

Приклад установки рухомого люнету на токарному верстаті з ЧПУ наведено на рис.4.42.



Рис.4.42. Схема установки заготовки з рухомим люнетом на верстатах з ЧПУ

Сучасні провідні світові фірми розробили та вивели на ринок конструкції самоцентрувальних люнетів, які входять складовими в конструкції верстатів з ЧПУ. Конструкції самоцентрувальних люнетів для верстатів з ЧПУ

пропонують фірми SAMCHULLY (Південна Корея) рис.4.43.а), ATLING (Швеція) рис.4.43.б) .

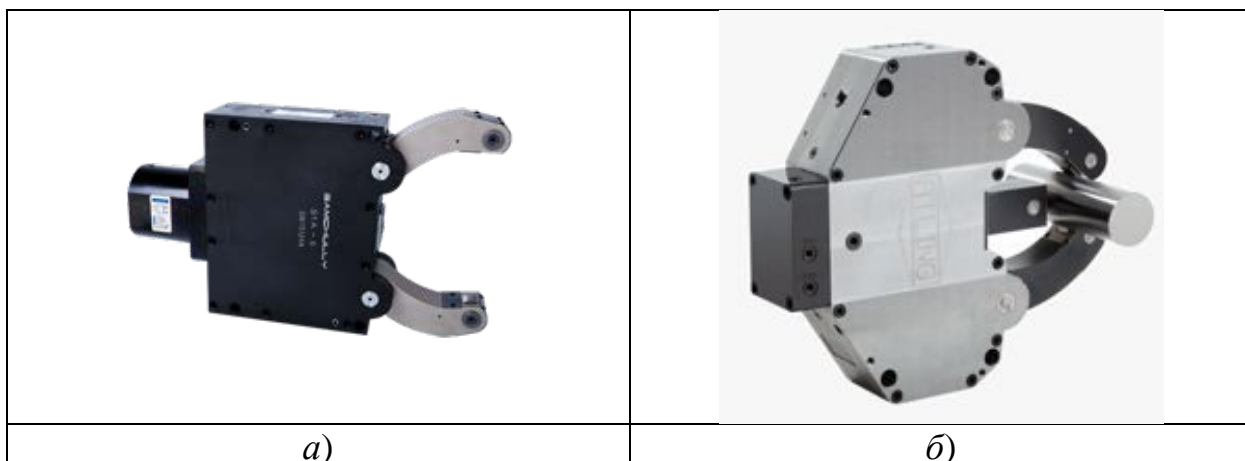


Рис.4.43. Загальний вигляд самоцентрувальних люнетів

Найбільш широку гаму самоцентрувальних люнетів розроблено фірмою Schunk, які охоплюють діапазон діаметрів оброблюваних поверхонь від $\varnothing(4-630)$ мм (рис.4.44).

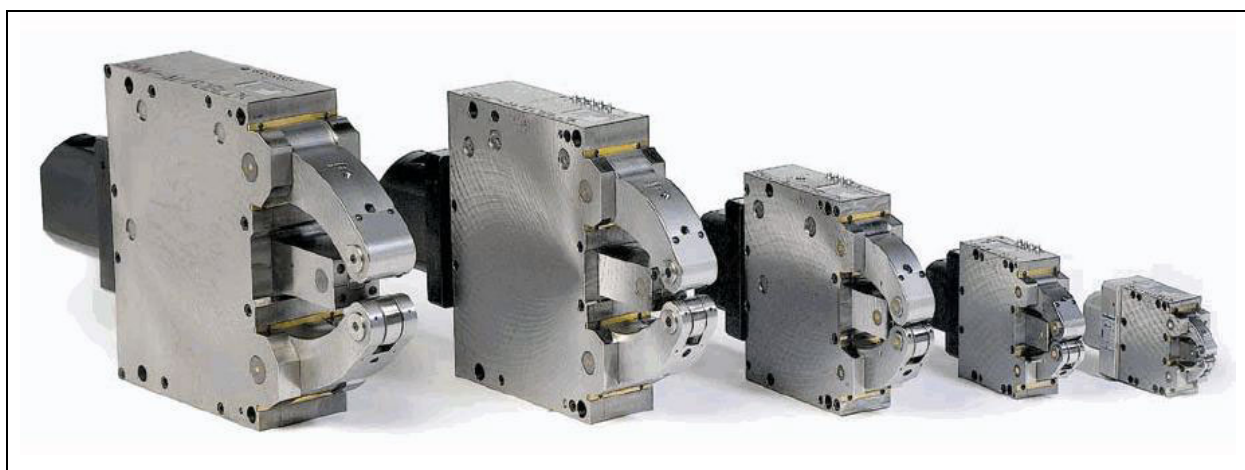


Рис.4.44. Конструкції самоцентрувальних люнетів фірми Schunk

Приклади застосування сучасних самоцентрувальних люнетів на верстатах з ЧПУ наведено на рис.4.45 та рис.4.46.

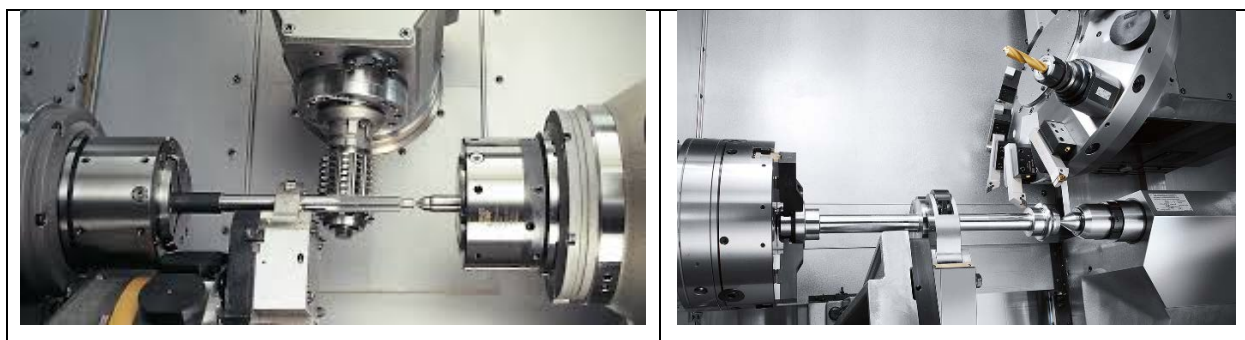


Рис.4.45. Самоцентрувальний люнет в конструкції верстату з ЧПУ

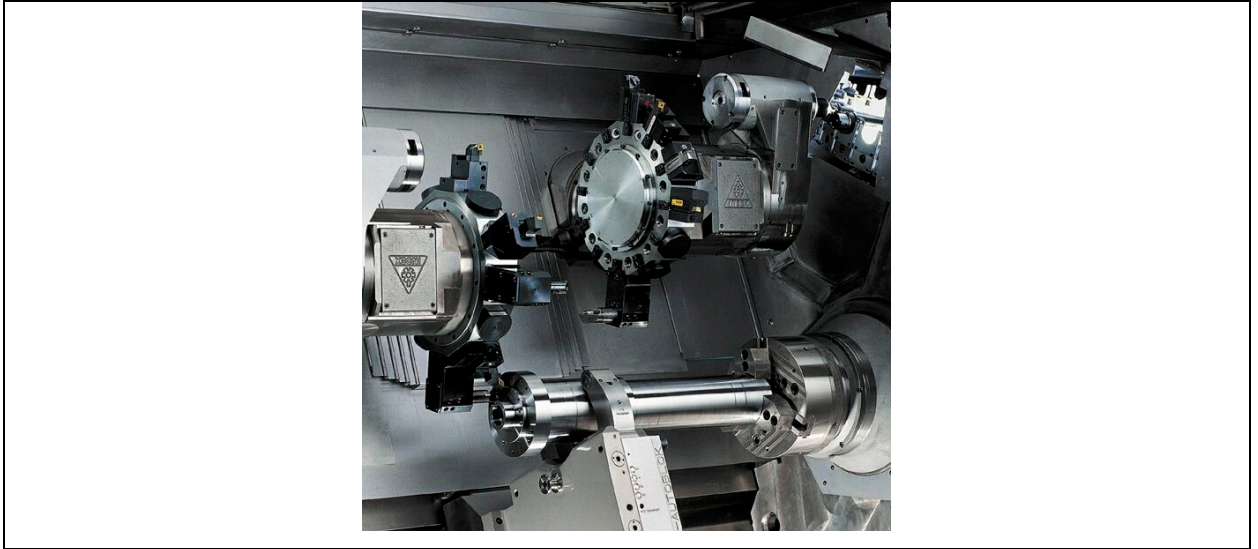


Рис.4.46. Самоцентрувальний люнет в конструкції верстату з ЧПУ

Принцип роботи самоцентрувальних люнетів фірми Schunk наведено на рис.4.47.

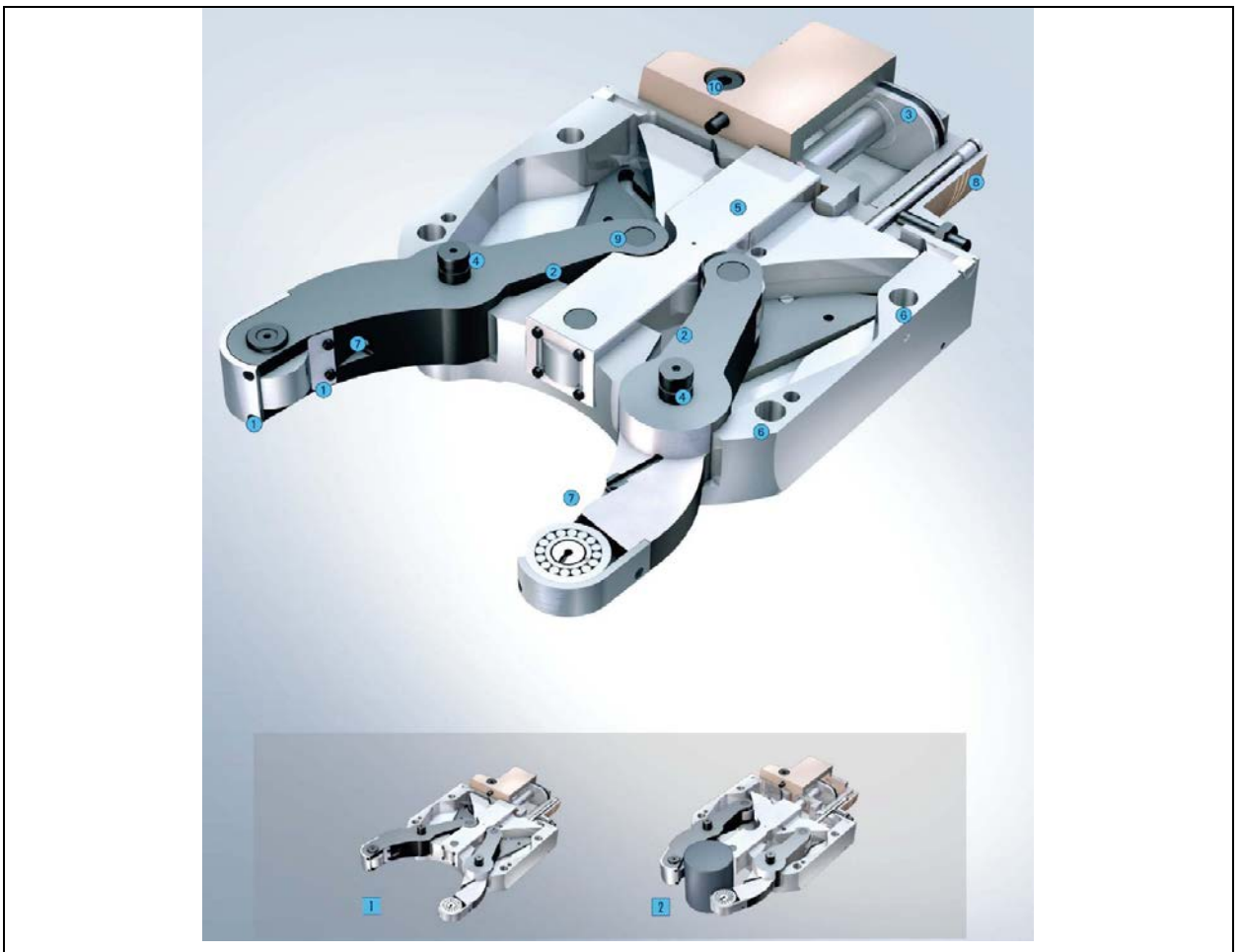


Рис.4.47. Конструктивна схема самоцентрувального люнету фірми Schunk: 1-люнет відкритий; 2-люнет закритий

4.2.6. Встановлення заготовок у центрах

При обробленні валів, циліндрів та інших деталей тіл обертання часто застосовують їх встановлення на конічні поверхні-центрові отвори або фаски. Схема установки заготовок по двох центрових отворах дозволяє: застосувати прості пристрої, усунути похибки встановлення для діаметральних розмірів, а також забезпечити дотримання принципу сталості (незмінності) баз при обробленні заготовки на різних операціях. Для встановлення заготовок з центровими отворами застосовують нерухомі (упорні) центри і напівцентри та центри, що обертаються із заготовкою.

Конструктивні параметри упорних верстатних центрів визначає стандарт ГОСТ 13214-79 (рис.4.48):

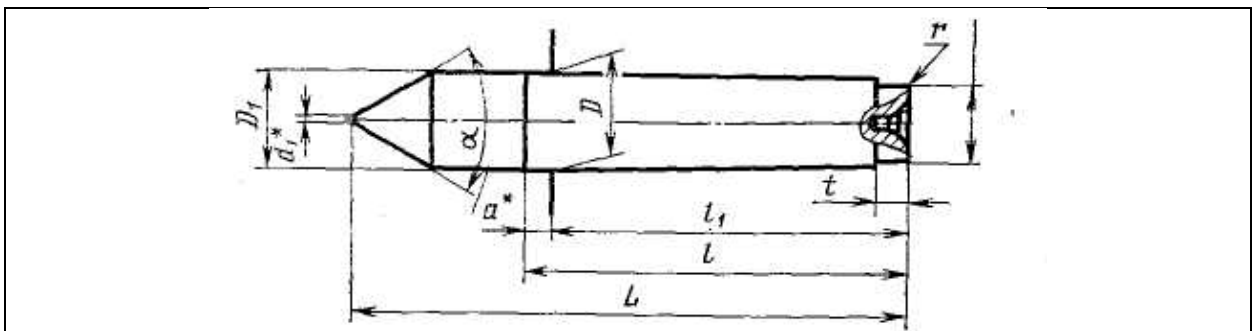


Рис.4.48. Конструктивні параметри упорного центру, які нормуються стандартом ГОСТ 13214-79

Приклади конструкцій упорних верстатних центрів та напівцентрів наведені на рис.4.49.

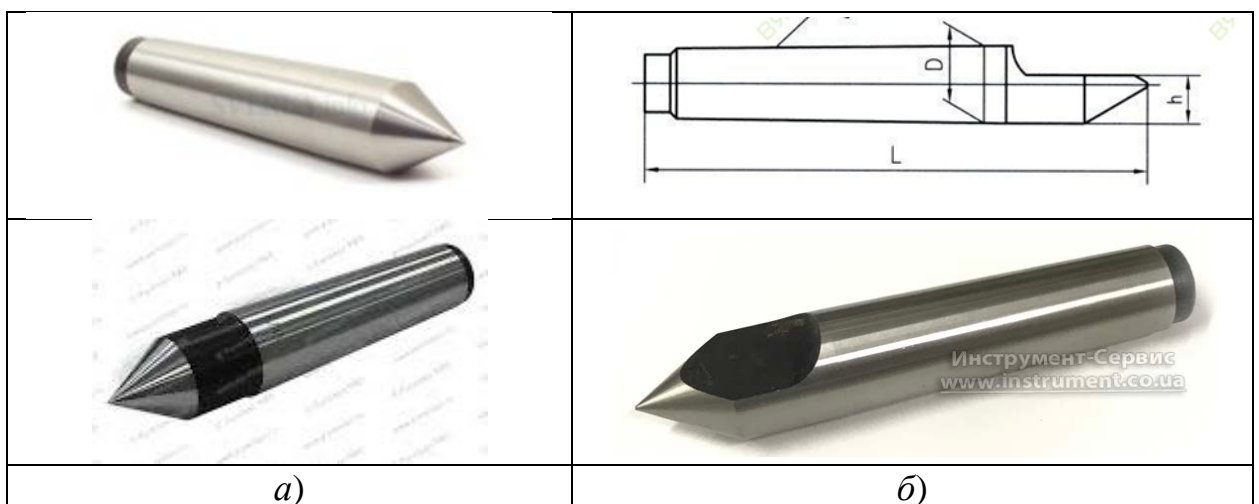


Рис. 4.48. Упорні верстатні центри: а) упорні нерухомі центри; б) упорні нерухомі напівцентри

Упорні верстатні центри (рис.4.48, *a*) застосовуються для установлення заготовок, що обертаються або повертаються в процесі оброблення навколо своєї поздовжньої осі. Упорний центр використовується, наприклад, в якості другої точки опори для заготовки, встановленої в патроні токарного верстата.

Напівцентр (рис.4.48, *б*) є різновидом упорного, тобто, нерухомого верстатного центру, конструктивні параметри яких визначає стандарт ГОСТ 2576-79. Поряд з іншими типами центрів, він використовується для закріплення і центрування заготовок, що обертаються наприклад, при токарному обробленні та шліфуванні.

У тому випадку, коли заготовка установлюється на фаски використовуються нестандартні центри (рис.4.49).

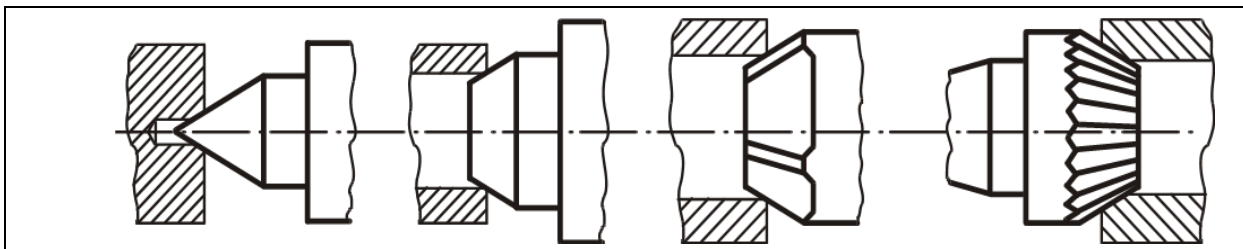


Рис.4.49. Схеми використання різних видів упорних центрів

Встановлення заготовок на жорсткі передні центри обумовлює несуміщення технологічних і вимірювальних баз та виникнення похибок базування для забезпечення точності лінійних розмірів, заданих від торцевої поверхні вала (вимірювальна база), положення якої в системі координат верстата буде коливатись, внаслідок розсіювання розмірних параметрів центрових отворів.

Для усунення похибки базування на лінійні розміри необхідно використовувати сучасні конструкції передніх плаваючих центрів (рис.4.50), які забезпечують сталість положення опорної технологічної бази (торця вала) навіть при наявності розсіювання розмірних параметрів центрових отворів (довжини та кута конічної поверхні). При закріпленні заготовок класу «вали» та «втулки» використовують повідкові центри (рис.4.50,*a*) і патрони (рис.4.51), в конструкціях яких використовуються плаваючі центри, але у таких випадках через більші коливання глибини проникнення повідкових

штирів у поверхню торця (опорна ТБ), похибки лінійних розмірів будуть більшими ніж при використанні плаваючих центрів (рис.4.50,б) .

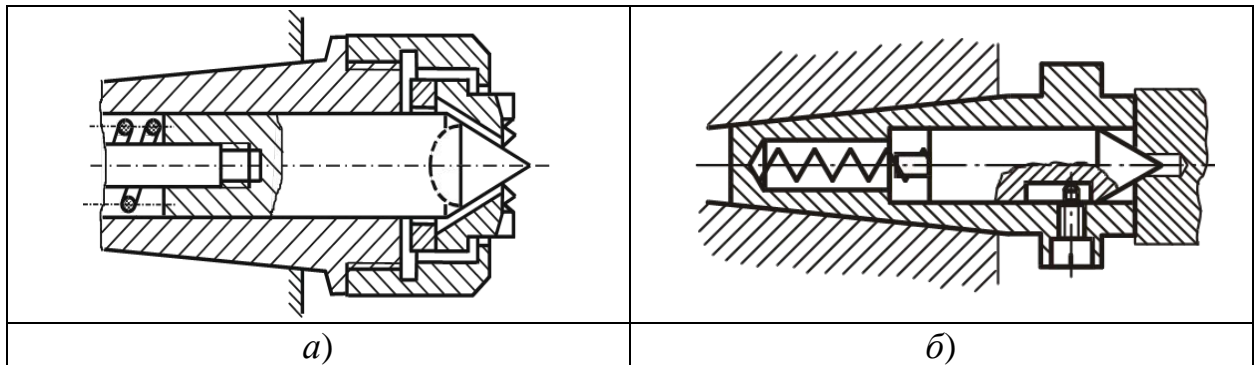


Рис.4.50. Центри: *a)* плаваючий повідковий, *б)* плаваючий.

В повідковий патрон (рис.4.51), заготовка встановлюється на плаваючий (підпружинений) центр 7, притискається торцевою поверхнею до втулки, встановленої на корпусі патрона та зафіксованої пружинним кільцем, і обертається за допомогою поводків 10.

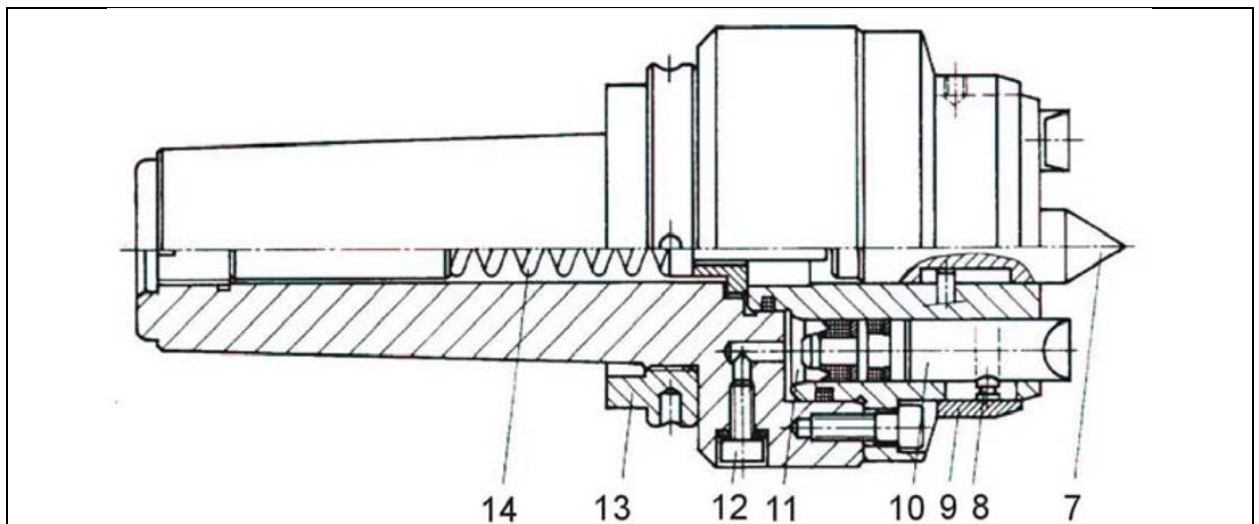


Рис. 4.51. Повідковий патрон з плаваючим центром і торцевими штирями для передачі крутного моменту

При встановленні заготовки в патроні та задньому центрі або в центрах важливим є застосування обертових задніх центрів, які є додатковою опорою заготовки та розміщуються в пінолі задньої бабки (рис.4.52). Вони повинні без значних деформацій протидіяти силам різання та забезпечувати задані швидкості різання. В практиці машинобудівного виробництва відома достатньо велика кількість конструкцій обертових задніх центрів.

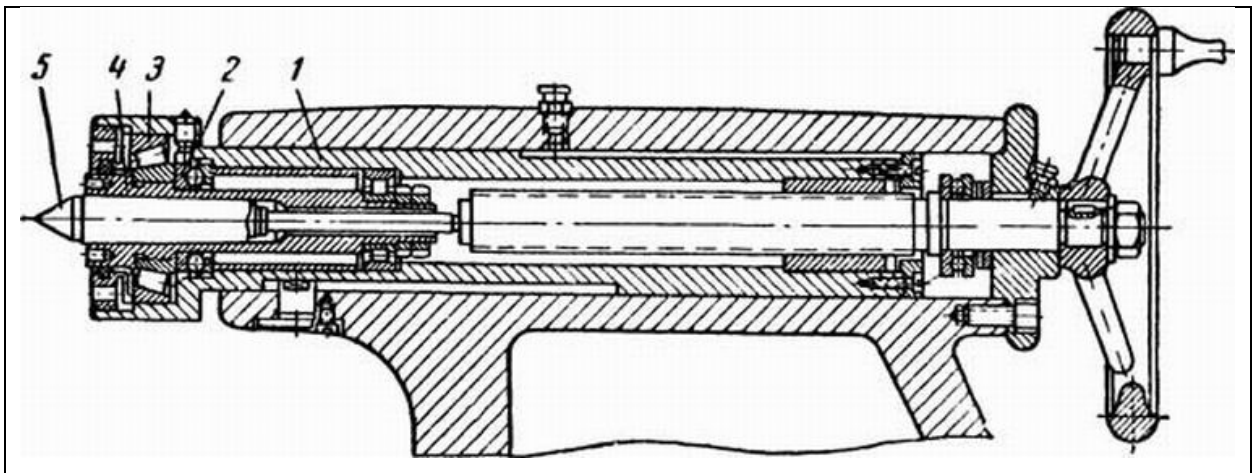


Рис.4.52. Установка оборотового заднього центру в пінолі задньої бабки

Приклади конструкцій оборотних задніх центрів, які застосовуються для реалізації схеми базування валів по центрових отворах наведено на рис.4.52.

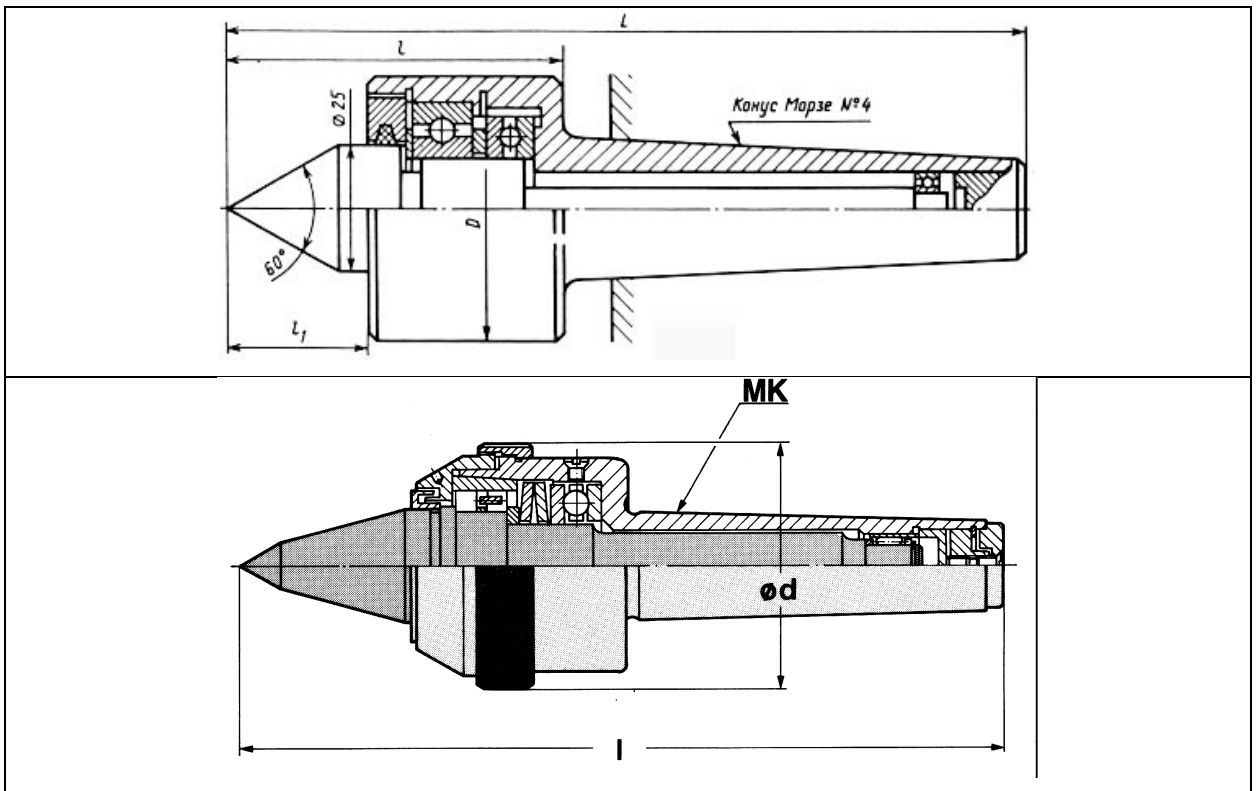


Рис.4.52. Конструкції оборотних задніх центрів

Технічні характеристики задніх центрів необхідно приймати до уваги при розрахунках режимів різання для визначення сили різання, яка допускається конструкцією заднього оборотного центру за умов установки заготовки в патроні та центрі або в центрах.

Загальний вигляд традиційних конструкцій обертових задніх центрів наведено на рис. 4.53.

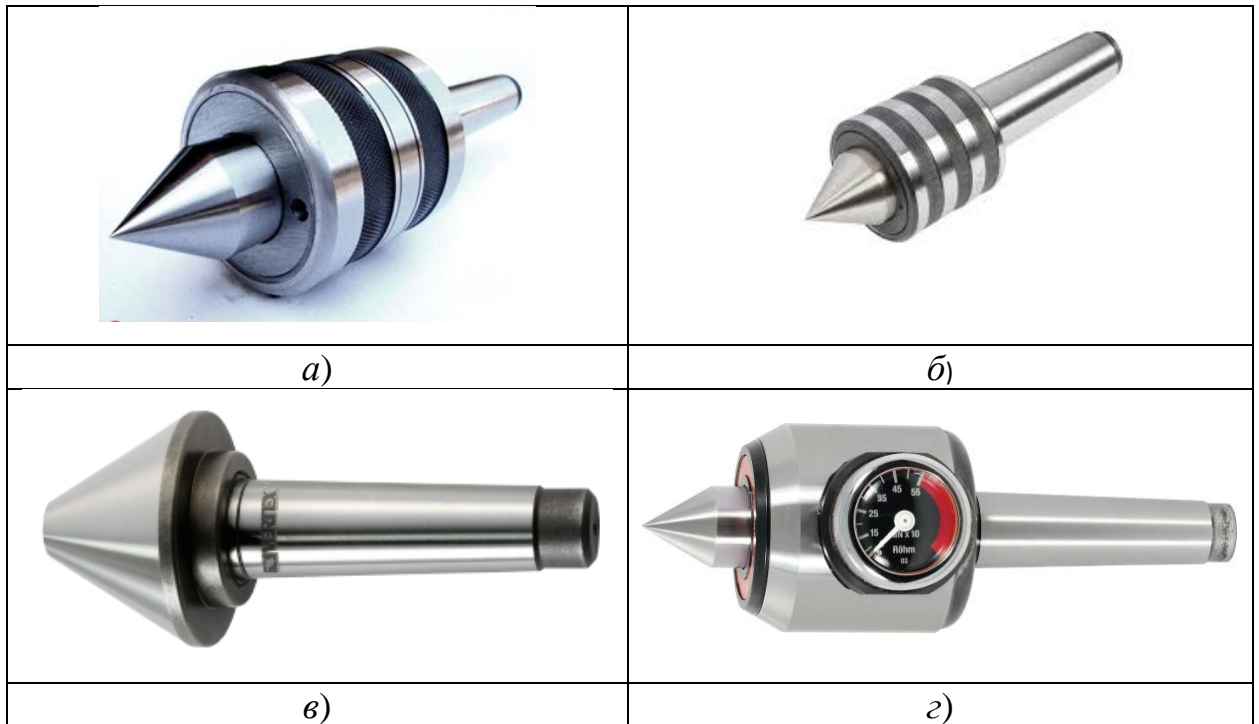


Рис. 4.53. Загальний вигляд обертових задніх центрів: *а)* та *б)*-центри традиційних конструкцій для базування по конічним поверхням центрових отворів; *в)* центри для базування по внутрішніх отворах валу; *г)*-обертовий центр з визначенням реального навантаження на механізм центру.

Конструкція обертового заднього центру з контролем навантаження наведена на рис. 4.54.

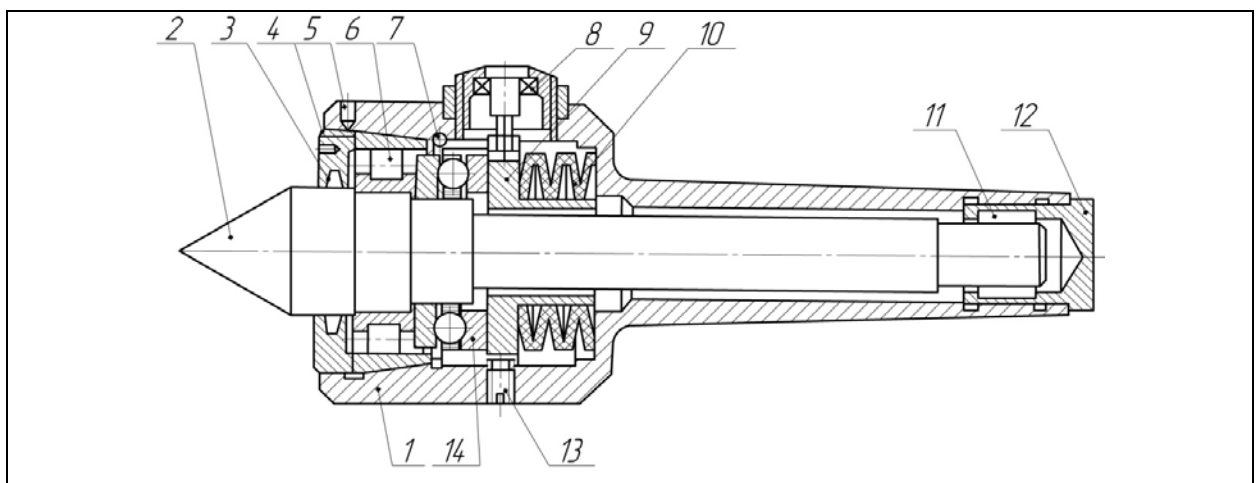


Рис.4.54. Обертовий задній центр з показником осьового зусилля:
 1-корпус; 2-центр; 3-ущільнювач; 4-гайка; 5,13-гвинти; 6-підшипник роликовий; 7-кільце; 8-показник осьового зусилля; 9-фланець; 10-тарілчасті пружини; 11-підшипник голчастий; 12-заглушка; 14-пішипник упорний кульковий.

Обертовий центр для установки порожнистих протяжних деталей, які необхідно обробляти з застосуванням обертового заднього центру наведено на рис.4.55.

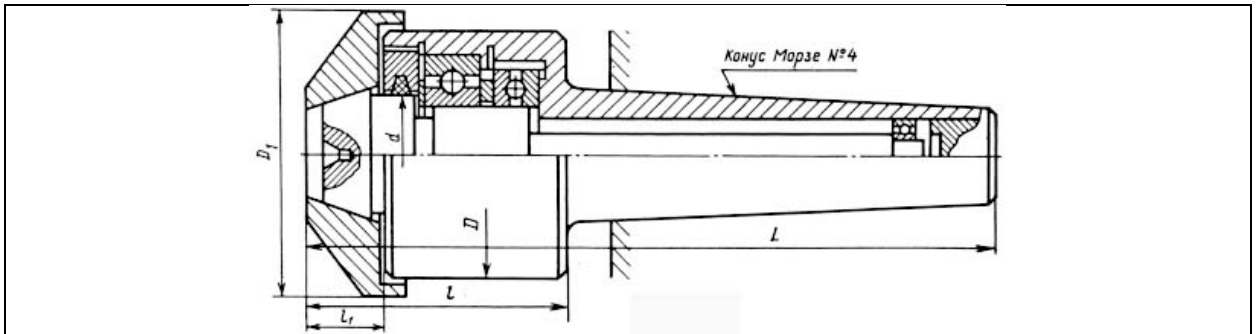


Рис.4.55. Обертовий центр для базування порожнистих деталей

4.2.7. Розрахунок сил затиску та оцінка точності оброблення при встановленні заготовок на оправках

Розрахунок величини сили затиску заготовки, встановленої на оправці методологічно подібний до розрахунку такої сили для випадку встановлення заготовки в патроні приведеному вище в п. 4.2.2.

При встановленні заготовок на оправках, у процесі оброблення під дією складових сили різання та моменту різання не допускається осьове переміщення заготовки, її провертання навколо власної осі відносно контактуючих поверхонь чи елементів оправки (кулачків, плунжерів, центрів і т. ін.) та пошкодження базових поверхонь.

Величини сил затиску визначаються з урахуванням: схеми сил, що діють на заготовку при обробленні; форми та стану контактної поверхні; конструкції елементів, що контактують із заготовкою.

У більшості випадків, при обробленні заготовок, встановлених на оправках, сила затиску заготовки (Q) визначається за умови, що вона служить для запобігання провертання заготовки під дією моменту різання [1].

Надійне закріплення заготовки на оправці, що виключає її поворот навколо осі, визначається умовою, що момент тертя, який діятиме на заготовку

внаслідок дії сили затиску (Q), буде більшим ніж момент сили різання з урахуванням коефіцієнту запасу.

$$M_{\text{тр}} > M_{\text{різ}} \quad (4.52)$$

де $M_{\text{тр}}$ -момент тертя поверхні заготовки з поверхнями оправки; $M_{\text{різ}}$ -момент різання, що діє на заготовку в процесі оброблення.

Виконаємо розрахунок величини сили затиску Q при установленні заготовки на жорсткій циліндричній оправці з гарантованим зазором.

Особливістю закріплення заготовки на такій оправці є те, що, на відміну від установлення в патроні, момент тертя створюється на торцевих поверхнях заготовки, що контактують з буртом оправки і з шайбою і які мають кільцеву форму. Сила затиску Q діє по нормалі до поверхні контакту та створюється гвинтовим механізмом або механізованим приводом, розрахункова схема для виконання розрахунків наведена на рис.4.56.

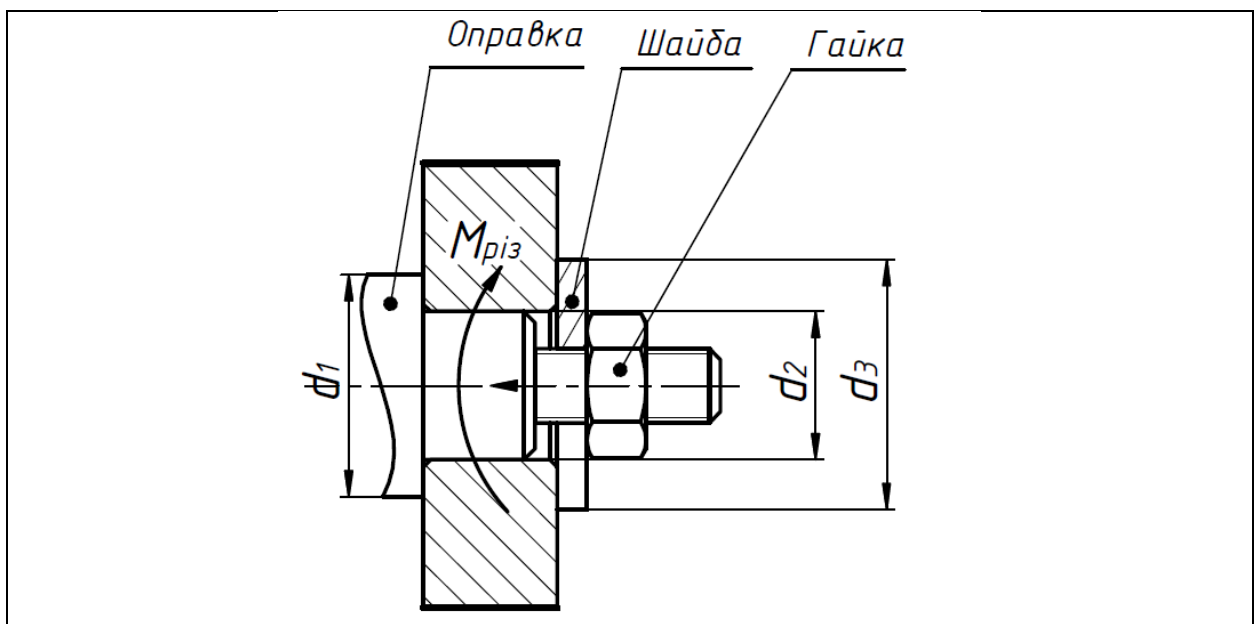


Рис.4.56. Схема оброблення заготовки, яка встановлена на жорстку шпіндельну оправку

Сила затиску Q служить для запобігання можливому повороту заготовки, встановленої на циліндричній оправці під дією сили різання в процесі її оброблення. З достатньою для практики точністю будемо враховувати сили тертя між шайбою і заготовкою та між буртом і заготовкою.

Умова рівноваги заготовки: $\sum M_A = 0$, або в розгорнутому вигляді

$$k \cdot M_{\text{різ}} = M_{\text{тр1}} + M_{\text{тр2}} \quad (4.53)$$

де $M_{\text{тр1}}$ -момент тертя на поверхні контакту заготовки з буртом оправки;

$M_{\text{тр2}}$ - момент тертя на поверхні контакту заготовки з шайбою.

Момент тертя на кільцевій поверхні розраховується за формулою:

$$M_{\text{тр1}} = \frac{1}{3} \cdot Q \cdot f \cdot \frac{d_1^3 - d_2^3}{d_1^2 - d_2^2} = a_1 \cdot Q \cdot f \quad (4.54)$$

$$\frac{1}{3} \cdot \frac{d_1^3 - d_2^3}{d_1^2 - d_2^2} = a_1 \text{-плече сили тертя } F_{\text{тр1}}; \quad (4.55)$$

Момент тертя на поверхні контакту заготовки з шайбою визначається за аналогічною формулою:

$$M_{\text{тр2}} = \frac{1}{3} \cdot Q \cdot f \cdot \frac{d_3^3 - d_2^3}{d_3^2 - d_2^2} = a_2 \cdot Q \cdot f \quad (4.56)$$

Остаточно, величина сили затиску заготовки, що встановлена на жорстку шпіндельну оправку, буде розраховуватись за формулою:

$$Q = \frac{k \cdot M_{\text{різ}}}{(a_1 \cdot f + a_2 \cdot f)} \quad (4.57)$$

Розрахунок сили затиску для кулачкових оправок проводиться аналогічно, як при встановленні в патронах, розрахунки для цангових, мембранних, гідропластових та інших оправок можна виконати згідно з даними та алгоритмами, приведеними в [1,5] та інших джерелах.

Завданням технологічних процесів оброблення різанням є формування поверхні із заданими характеристиками якості тому для обґрунтованого вибору верстатних пристроїв доцільно виконувати розрахунки характеристик якості, які можуть бути досягнуті при реалізації певного етапу технологічного процесу оброблення.

В якості прикладу, розглянемо вплив пристрою- шпіндельної жорсткої оправки на параметри точності при обробленні зовнішньої поверхні заготовки Ø125мм із застосуванням базування заготовки по внутрішній поверхні Ø65 (рис.4.56) Циліндрична базова поверхня оправки виконана з

точністю $\varnothing 65_{-0,06}^{-0,03}$. За результатами контролю характеристик якості робочих поверхонь оправки встановлено, що базова поверхня оправки має радіальне биття $\varepsilon_r=0,02$ мм відносно конічної поверхні, яка забезпечує базування оправки в шпинделі та шпиндель верстату має радіальне биття $\varepsilon_r=0,01$ мм відносно осі обертання шпинделя. Середнє статистичне поле розсіювання розмірів при обробленні на такому токарному верстаті становить $\omega=0,05$ мм. За наведеними умовами оброблення заготовок необхідно визначити досяжну точність оброблення зовнішньої поверхні $\varnothing 125$ мм та відхилення від співвісності внутрішньої та зовнішньої поверхонь оброблюваної заготовки.

Вирішення завдання. З аналізу заданих умов оброблення можна стверджувати, що при обробленні зовнішньої поверхні $\varnothing 125$ мм похибка установки заготовки практично не впливатиме на точність розміру $\varnothing 125$ мм, а матиме вплив тільки на величину відхилення від співвісності внутрішньої та зовнішньої поверхонь оброблюваної заготовки. Отже величина технологічного допуску на розмір $\varnothing 125$ мм буде дорівнювати величині поля розсіювання розмірів:

$$T_d = \omega \quad (4.58)$$

де ω -середнє статистичне поле розсіювання розмірів при обробленні на даному токарному верстаті.

Похибка установки для заданих умов оброблення буде визначатись за формулою:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{пр}^2} \quad (4.59)$$

де ε_6 -похибка базування заготовки на циліндричній поверхні оправки, мм; ε_3 -похибка закріплення заготовки на оправці, мм; $\varepsilon_{пр}$ -похибка шпиндельної жорсткої оправки, яка визначається радіальним биттям базової циліндричної поверхні відносно конічної поверхні, якою оправка базується в шпинделі верстату та радіальним биттям шпинделя відносно осі його обертання, мм.

Похибка базування заготовки на базовій поверхні оправки буде визначатись допусками на виготовлення поверхні оправки та базової поверхні

заготовки. З аналізу відхилень на розміри цих поверхонь є очевидним, що за всіх умов оброблення партії заготовок вони будуть базуватись на поверхні оправки з зазором. Відповідно, найбільша похибка базування, при двосторонньому виборі зазору, буде визначатись найбільшим можливим зазором в такому з'єднанні і визначається за формулою:

$$S_{max} = D_{max} - d_{min} = 65,035 - 64,94 = 0,095 \text{ (мм)} \quad (4.60)$$

де D_{max} -найбільший граничний розмір базової поверхні заготовки, мм;
 d_{min} -найменший граничний розмір поверхні оправки, мм.

При горизонтальному розташуванні оправки в шпинделі токарного верстата, під дією сили тяжіння буде мати місце односторонній вибір зазору, з урахуванням чого, величина похибки базування буде дорівнювати:

$$\varepsilon_6 = S_{max}/2 = 0,048 \text{ мм.} \quad (4.61)$$

Похибка закріплення заготовки виникає за рахунок змінних фізико-механічних властивостей торцевої поверхні та коливання сили закріплення. Сила закріплення заготовки діє вздовж осі оправки і не впливає на діаметральні розміри оброблюваної поверхні, а буде формувати похибку тільки на осьові розміри заготовки. Відповідно, отримали: $\varepsilon_3 = 0$.

Оскільки ці похибки є випадковими і незалежними між собою то і їх відносне кутове положення є випадковою величиною і визначається за формулою:

$$\varepsilon_{пр} = \sqrt{\varepsilon_{опр}^2 + \varepsilon_{шп}^2} = \sqrt{0,02^2 + 0,01^2} = 0,0224 \text{ (мм)} \quad (4.62)$$

Загальна похибка установки заготовки на жорсткій шпиндельній оправці буде дорівнювати:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{пр}^2} = \sqrt{0,048^2 + 0 + 0,0224^2} = 0,053 \text{ (мм)} \quad (4.63)$$

Загальна похибка оброблення зовнішньої поверхні заготовки $\varnothing 125$ мм буде дорівнювати:

$$T_d = \omega = 0,05 = 0,05 \text{ (мм)} \quad (4.64)$$

Така підсумкова похибка оброблення $\varnothing 125$ знаходиться в межах допуску IT8 (0,063 мм) для діапазону номінальних розмірів ($120 < \varnothing \leq 180$) мм. Отже

за таких умов оброблення із застосуванням шпindelної жорсткої оправки та базуванням заготовки з зазором точність діаметрального розміру буде визначатись точністю виду (методу) оброблення.

Величину відхилення від співвісності внутрішньої та зовнішньої поверхонь оброблюваної заготовки буде не меншою ніж $\varepsilon_{\text{спів}} = 0,053\text{мм}$. Аналіз складових похибки установки свідчить, що найбільшою складовою є похибка базування $\varepsilon_6 = 0,048\text{мм}$, якраз саме вона формує відхилення від співвісності зовнішньої оброблюваної поверхні відносно внутрішньої базової поверхні заготовки.

Для підвищення точності взаємного розташування поверхонь доцільно змінити установку заготовки і замість оправки з зазором використати для установки оправку з гарантованим натягом, яка забезпечить вищу точність центрування (0,02-0,03мм), або використати установку на розтискні оправки-цангові, з гідравлічною пластмасою та інші. При установленні заготовки на розтискній оправці та зі збереженням похибки радіального биття базової поверхні $\varepsilon_{\text{опр}} = 0,02\text{мм}$ та биття шпинделя $\varepsilon_{\text{шп}} = 0,01\text{мм}$ отримаємо: похибка базування $\varepsilon_6 = 0\text{мм}$, похибка закріплення $\varepsilon_3 = 0\text{мм}$, похибка пристрою $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,0224\text{мм}$., яка і визначатиме підсумкову точність розташування поверхонь.

Таким чином, при проектуванні технологічних операцій токарного оброблення доцільно виконувати попередні розрахунки для визначення досяжної точності оброблення для запобігання виникнення браку, що особливо важливо для виготовлення виробів високої вартості.

Питання для самопідготовки

1. Якими параметрами характеризується точність верстатів?
2. Показники продуктивності оброблення на верстатах
3. Види похибок верстатів та їх вплив на параметри якості оброблення
4. Основні вимоги до пристроїв, що застосовуються на верстатах з ЧПУ

5. Основні схеми установлення заготовок-тіл обертання, що застосовуються при обробленні на токарних верстатах
6. Вимоги, яким повинні відповідати конструкції токарних патронів
7. Види токарних патронів в залежності від силових механізмів, що застосовуються в їх конструкціях
8. Особливості застосування різних видів кулачкових патронів
9. Види приводів, що застосовуються у верстатах для механізації затиску заготовок в патронах, їх конструктивна реалізація
10. Приведіть схему сил і моментів, що діють на заготовку, встановлену в трикулачковому патроні, та знайдіть залежність для розрахунку величини сили затиску Q
11. Приведіть схему сил і моментів, що діють на заготовку, встановлену в двокулачковому патроні з кулачками у формі призми, та знайдіть залежність для розрахунку величини сили затиску Q
12. Вплив величини частоти обертання шпинделя на величину сили затиску заготовки та особливості його врахування при розрахунках її величини Q
13. Обмеження, які повинні враховуватись при визначенні величини необхідної величини сили затиску Q , при встановленні заготовок по чисто оброблених або легкодеформованих поверхнях
14. Способи визначення головної складової сили різання P_z при точінні
15. Види та особливості застосування центрів при обробленні валів
16. Види повідкових патронів та завдання, що вирішуються їх застосуванням
17. Види та особливості застосування оправок при обробленні втулок
18. Особливості процесів та пристрої, що застосовуються при обробленні валів малої жорсткості

Література

1. Приходько В.П., Литвин О.В. Проектування оснащення верстатів, роботів і машин [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізації «Комп'ютерне проектування верстатів, роботів і машин» – Електронні

- текстові дані (1 файл: 37,71 Мбайт). Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. 212 с.
2. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин: Справочник. 4-е изд., перераб. и доп. Москва : Машиностроение, 1993. 640 с.
 3. Белоусов Ю.В. Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2017. Т. 18. № 1. С. 91-96.
 4. Справочник технолога - машиностроителя. В двух томах. Том 1. Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. Москва : «Издательство машиностроение-1», 2001. 910с.
 5. Справочник технолога - машиностроителя. В двух томах. Том 2. Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. Москва : «Издательство машиностроение-1», 2003. 929с.
 6. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др. Под общ. ред. А.А. Панова. Москва : Машиностроение, 2004. 782с.
 7. GARANT. Справочник по обработке резанием. URL: www.garant-tools.com (дата звернення 05.02.2019).
 8. ГОСТ 31.1066.04-97 «Приспособления к металлорежущим станкам. Оправки кулачковые. Общие технические условия»
 9. ГОСТ1435-90 Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали. Общие технические условия.
 - 10.ГОСТ5950-2000 Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия.
 11. ГОСТ 14959-2016Metalлопродукция из рессорно-пружинной нелегированной и легированной стали. Технические условия.

Додаток А. Індивідуальні завдання

50 (✓)

1. H14; h14; $\pm IT_{14}/2$
2. 29-34 HRC

A - A

B - B

0.025 | Γ | 0.005 | 0.005

Инд № подл	Инд № дата	Инд № докл	Инд № дубл	Инд № №	Взам унд №	Подп у дата

Инд № подл	Инд № дата	Инд № докл	Инд № дубл	Инд № №	Взам унд №	Подп у дата

Имя	Испол № докум	Подп	Дата

Имя	Испол	Масса	Масштаб
		4,64	1:1

Имя	Испол	Листов	Листов
		1	1

Сталь 45 ГОСТ 1050-88

Копиробал

Формат А3

Инд № подл

Инд № дата

Инд № докл

Инд № дубл

Инд № №

Взам унд №

Подп у дата

Имя

Испол № докум

Подп

Дата

Имя

Испол

Масса

Масштаб

Имя

Испол

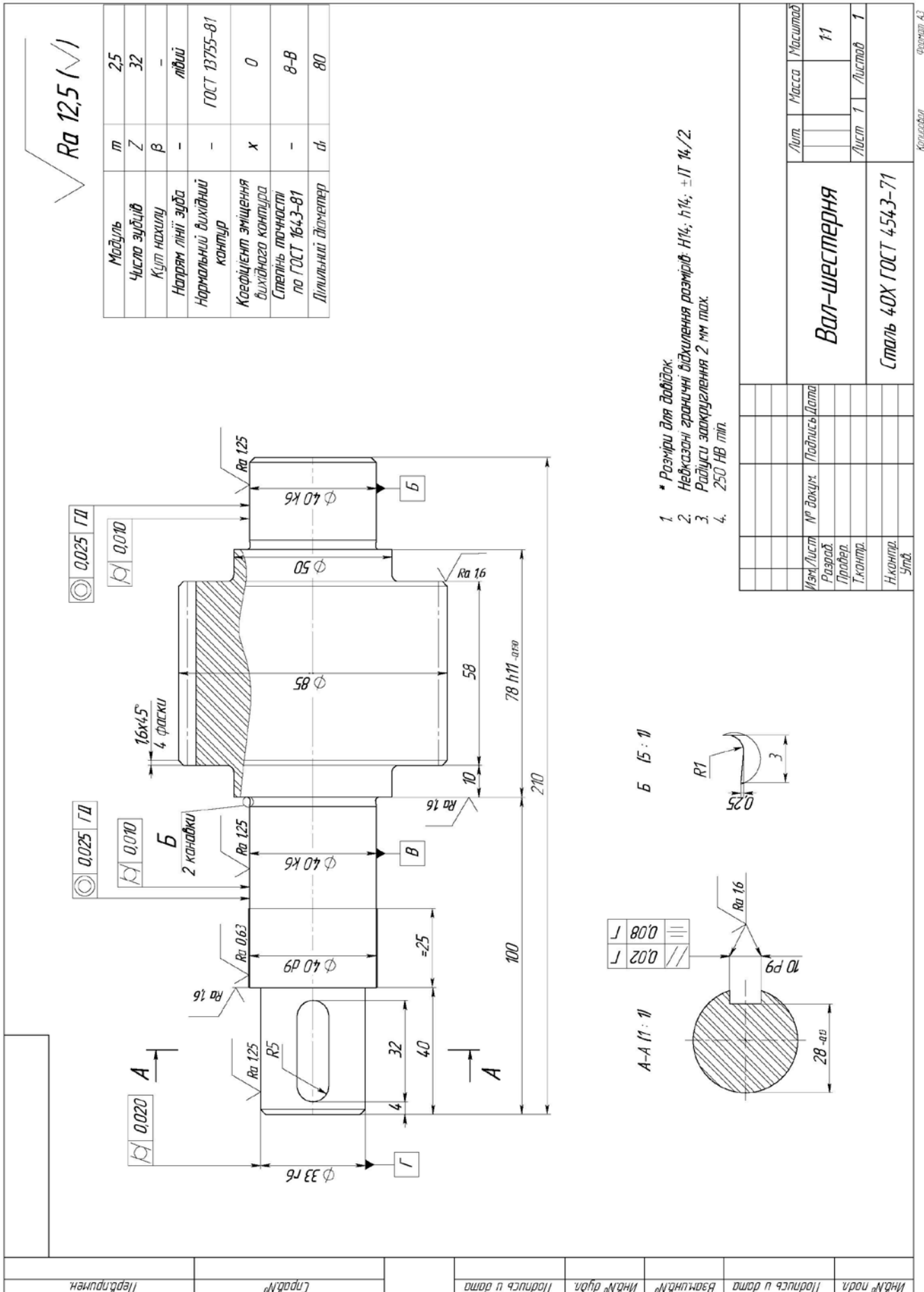
Листов

Листов

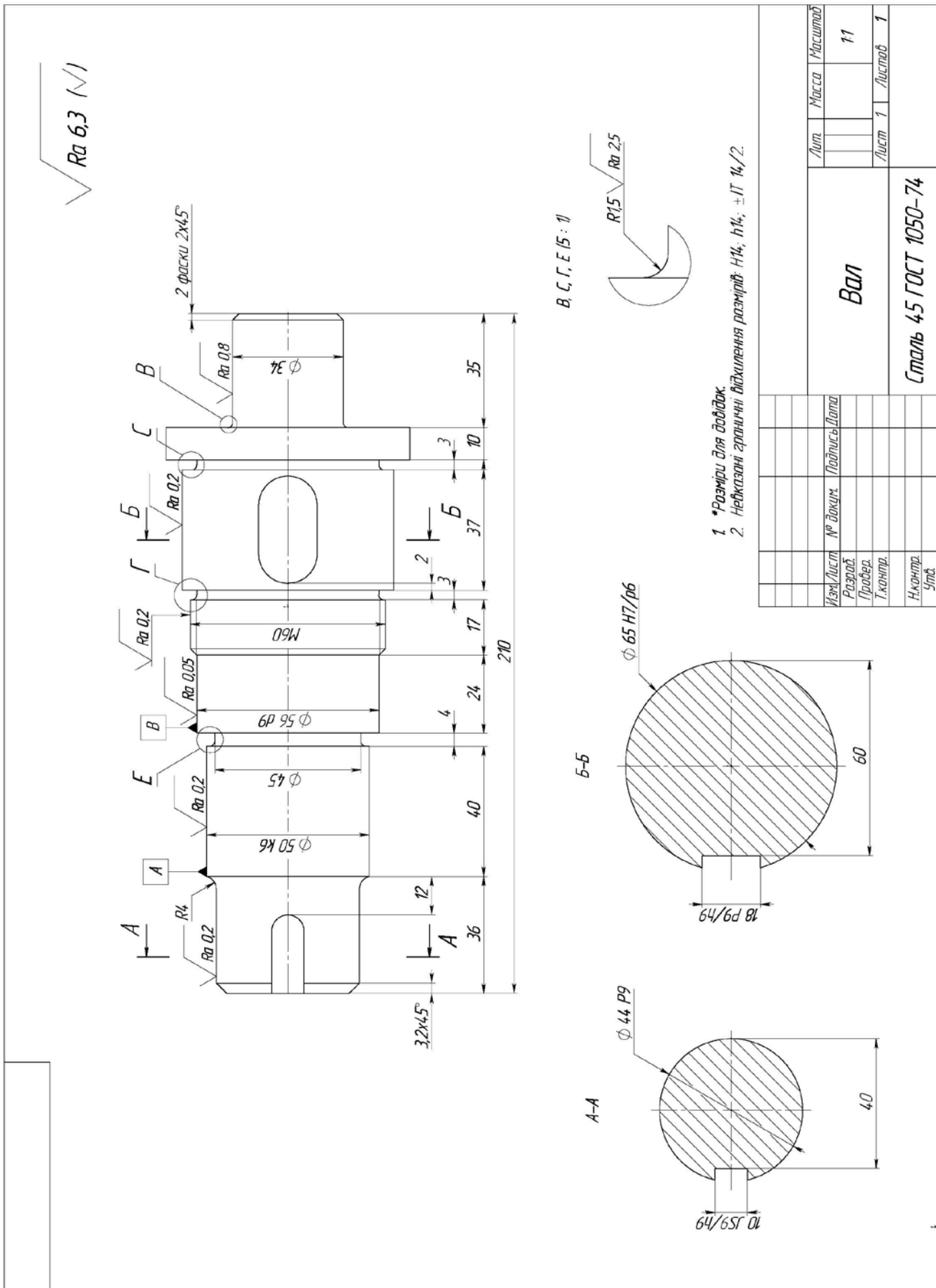
Сталь 45 ГОСТ 1050-88

Копиробал

Формат А3



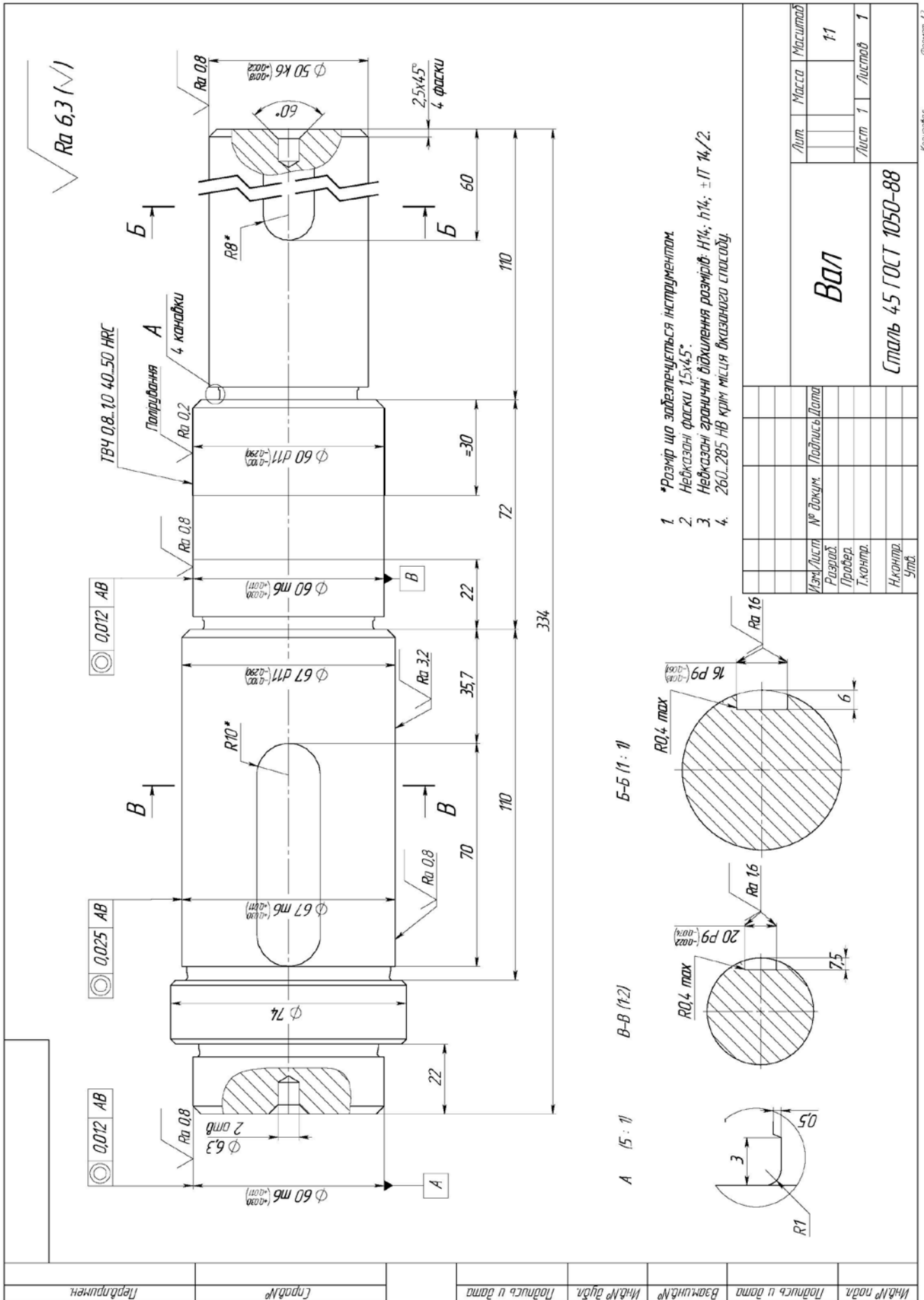
Инд.№ подл.	Подпись и дата	Взвешив.№	Инд.№ дил.	Подпись и дата	Справ.№	Нерисован.
-------------	----------------	-----------	------------	----------------	---------	------------



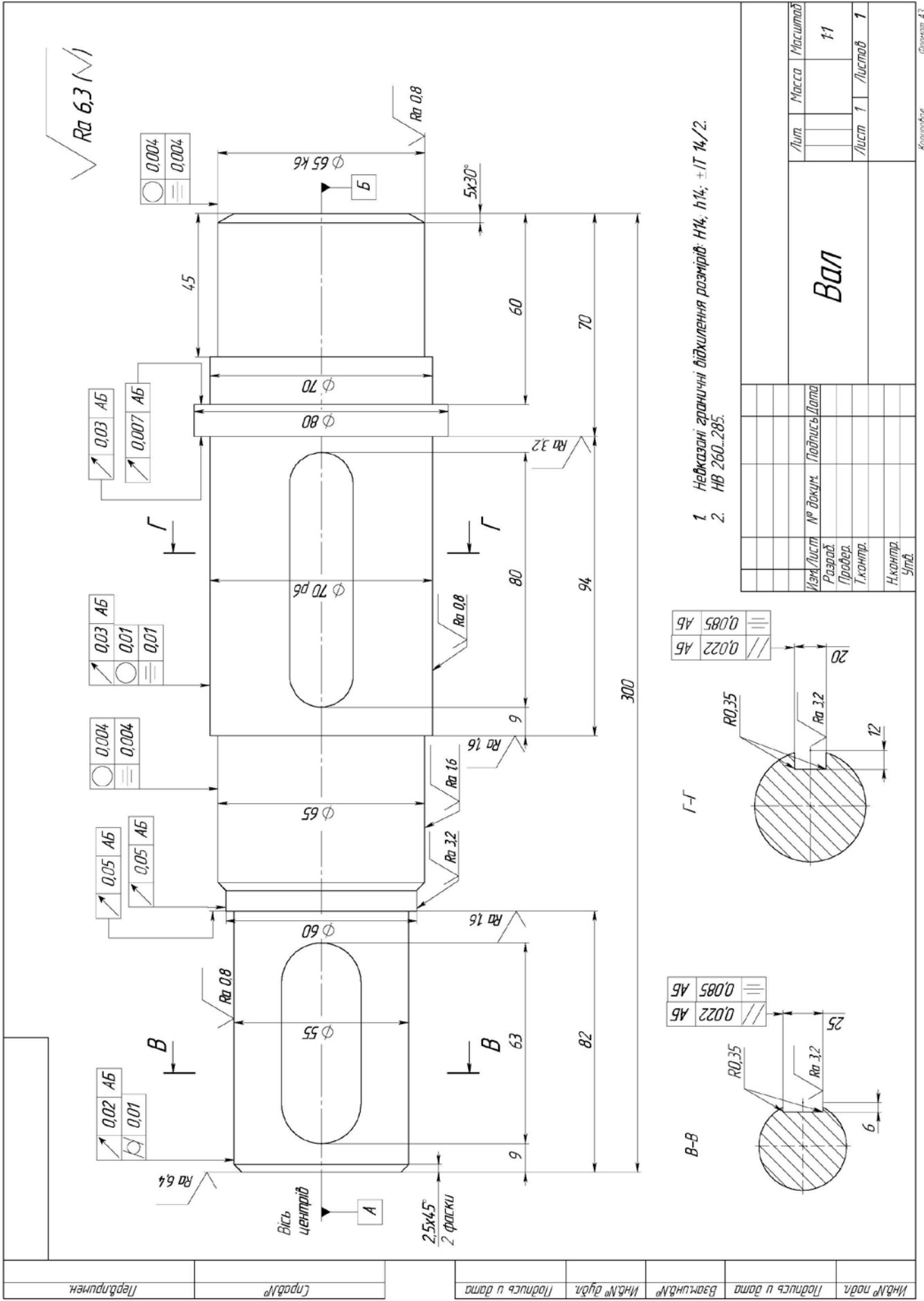
- *Размеры для доводки.
- Неблизкие граничные допускания: H14; h14; ±IT 14/2.

Изм./Лист	№ докум.	Подпись/Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разработ.					1:1
Провер.					
Т.контр.					Лист 1 / Листов 1
Н.контр.					
Умб.					
Вал			Сталь 45 ГОСТ 1050-74		

Копировал
Формат А3

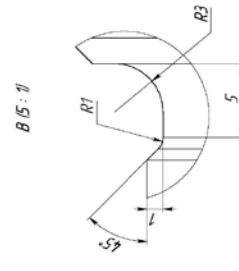
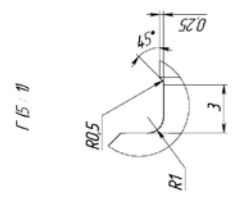
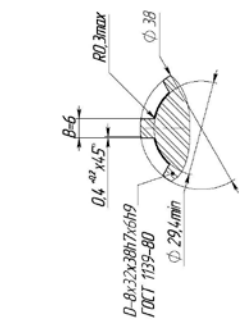
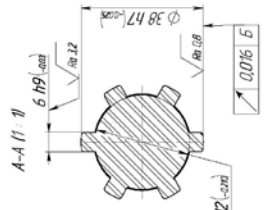
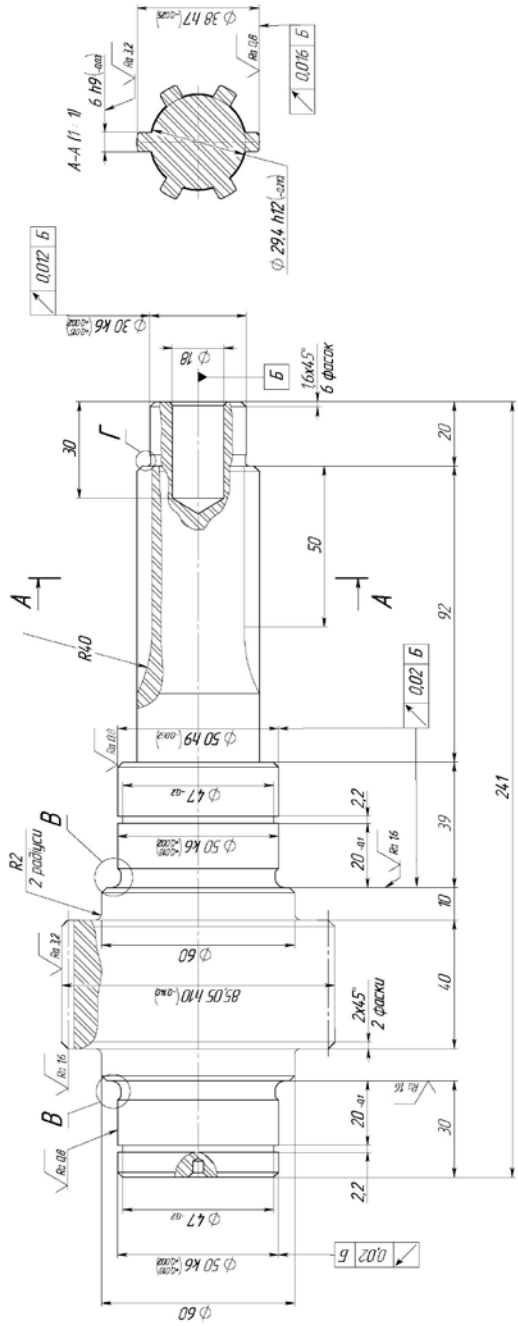


Лист	Масса	Масштаб
Лист 1		1:1
Лист 1		Листов 1
Вал		
Сталь 45 ГОСТ 1050-88		



$\sqrt{Ra\ 6.3\ (A)}$

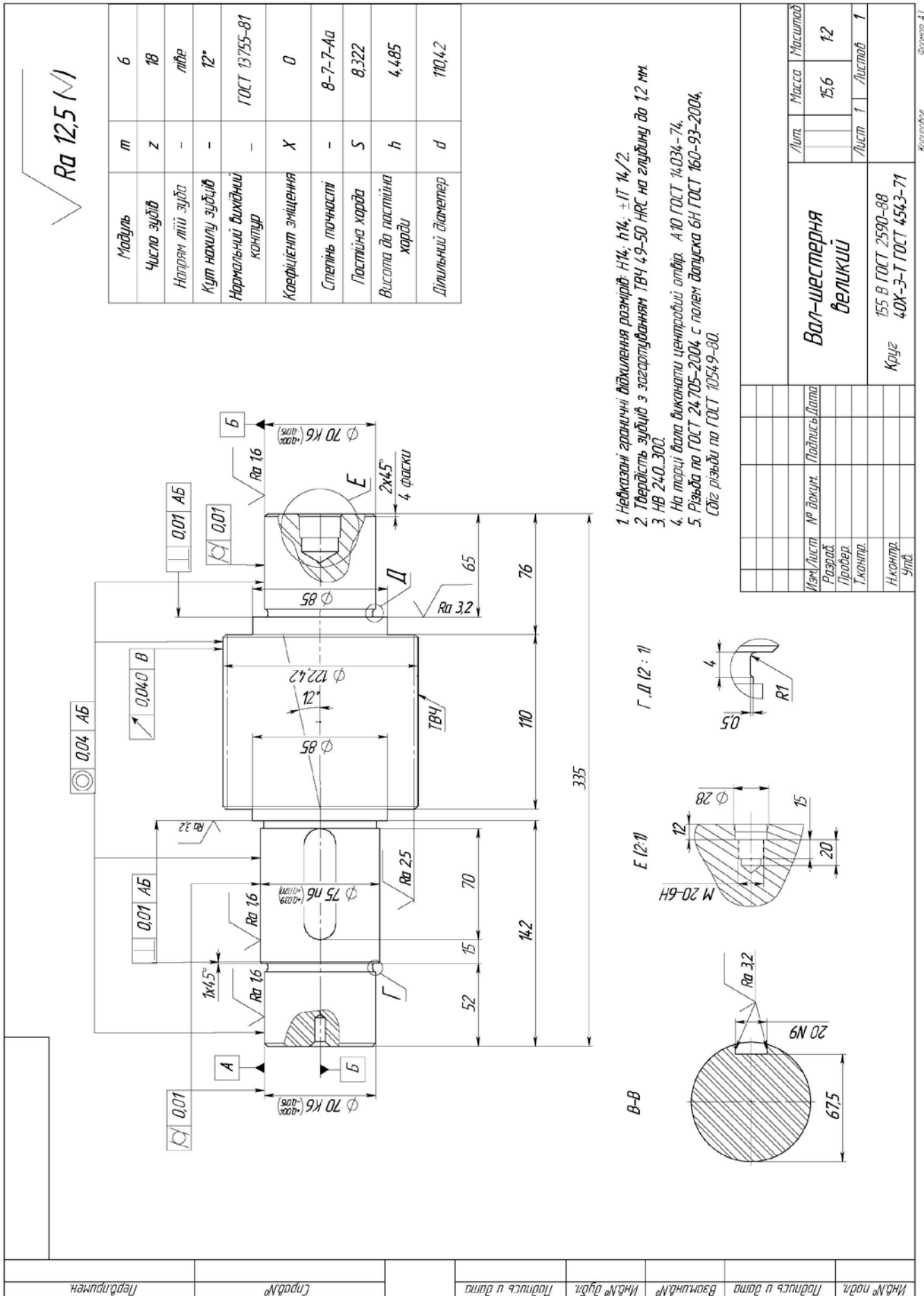
Модуль	m	3
Кількість зубів	z	26
Кут нахилу зуба	β	$9^{\circ} 22'$
Напрямок лінії зуба	-	Права
Вихідний контур	-	ГОСТ 13755-81
Коефіцієнт зміщення	x	0
Співвідношення по ГОСТ 1643-81	-	7-С
Довжина загальної норми	W	$23,276_{-0,005}^{+0,005}$
Допуск на радіальне відхилення зубчатого вінця	F1	0,036
Відвальний діаметр	d	79,054
Позначення креслення сполученого зубчастого колеса		

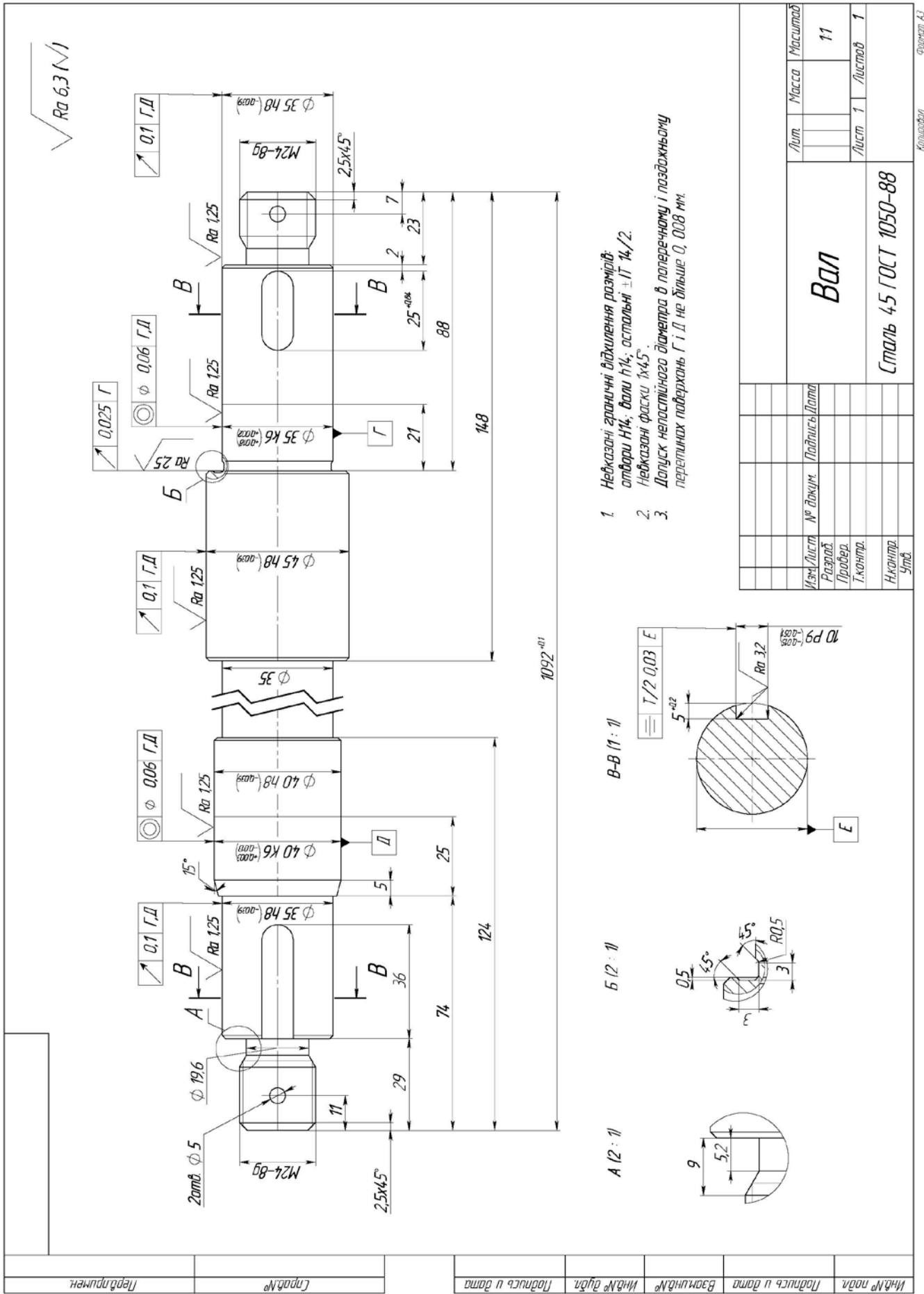


1. 28-32 HRC
2. Поверхня зубів і шийки ТВЧ 46-50 HRC
3. загальний допуск по ГОСТ 20893.2-тпс
4. отв. центр. А5 ГОСТ 14034-74.

Взам. Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб			
Пробир			
Інженер			
Узгод.			
Лист	1	Листів	1
Маса		Масштаб	
Вал-шестерня			
F1			

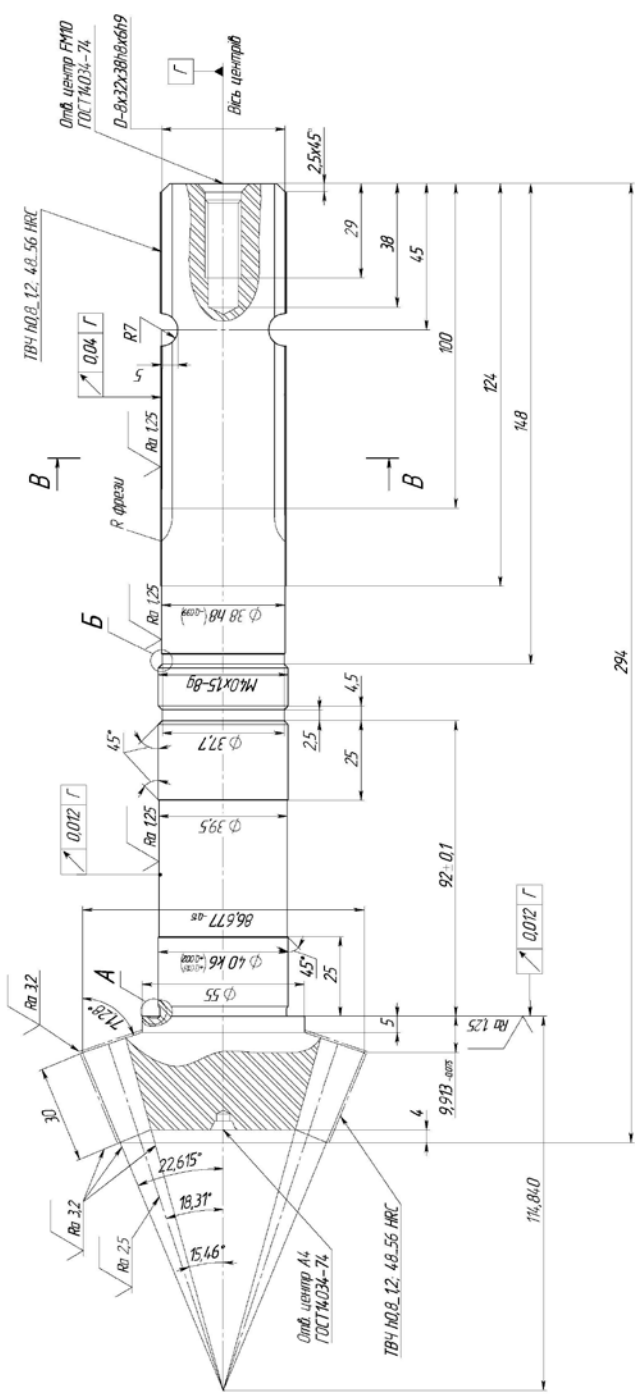
Лист	1	Листів	1
Маса		Масштаб	
Вал-шестерня			
F1			





✓ Ra 6.3 (N)

Задній/передній модуль	m_z	6
Кількість зубів	z	12
Тип зуба	Прямий	
Видний контур		ГОСТ 13754-81
Коррекція зміщення	X_d	+0.29
Корекція зміщення паціни зуба	X_i	0
Кут діаметричного конуса	δ	18° 3' 59"
Степень точності		9-C
Задній радіус хвостика зуба	S_x	9.441 мм
Висота да задньої/передньої постійної хвостика	h_x	6.022
Міжосевий кут передачі	Σ	60°
Середній діаметр модуль	d_m	5.205
Задній конусна відстань	R_z	113.261
Середня конусна відстань	R_m	98.261
Середній діаметр діаметр	d	62.464
Кут конуса задній	δ_1	15° 46' 23"
Задня діаметр зуба	f_z	13.2
Кут конусності зуба	δ	3° 41'
Позначення креслення стандартного з'єднання		РКПШ 10.202

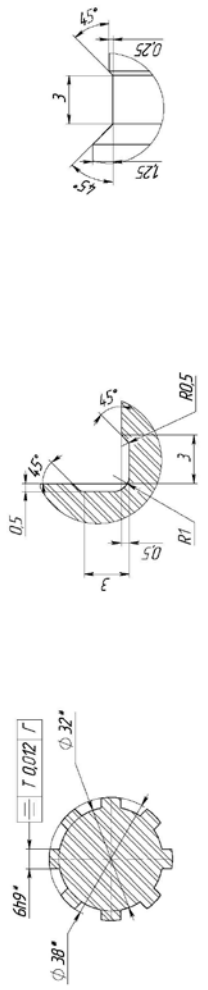


- * Розміри для довідки.
- Невказані фаски 16x45°.
- Невказані граничні відхилення розмірів: НК, ІК, ±ІТ 14/2.
- Допуск неспіввідношення діаметра в поперечному і подовжньому напрямках повинен бути не більше 0,008мм.

Б 15 : 11

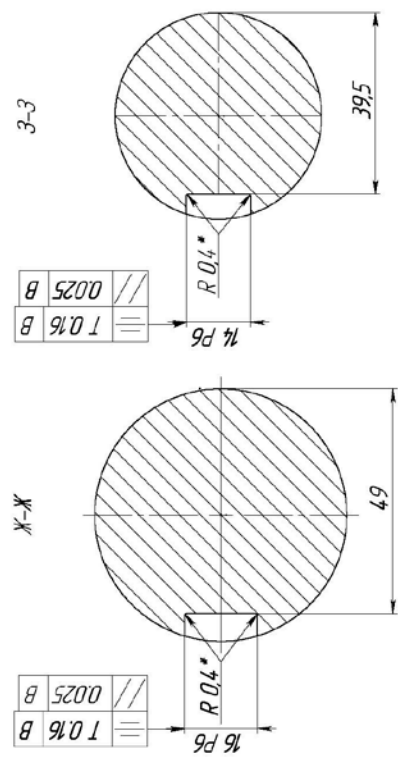
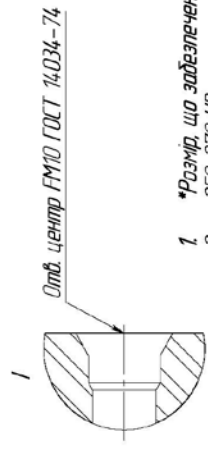
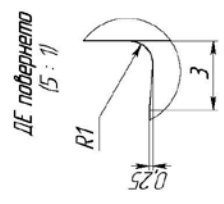
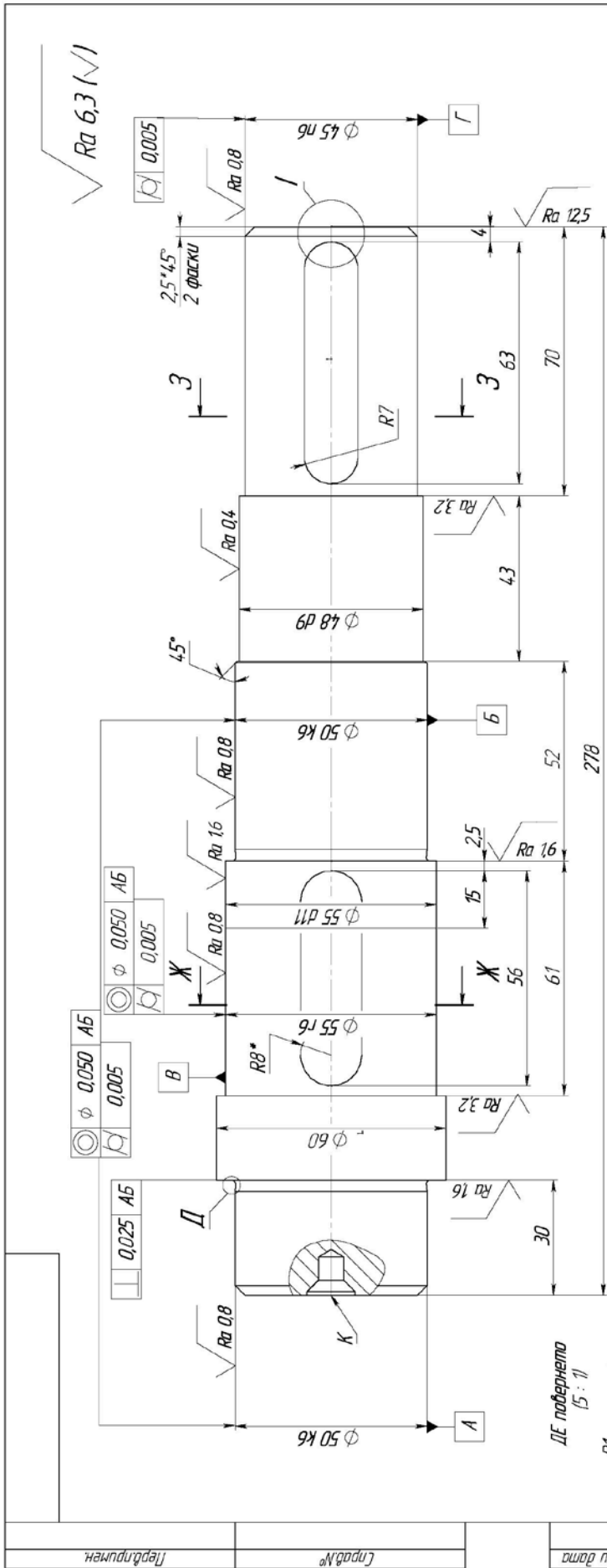
А 15 : 11

В-В 11 : 1



Мат. лист	№ докум.	Підпис (дата)	Лист	Маса	Масштаб
Рисувальник	Проверено	Т.Комп'ютер	Лист 1	25	1:1
Нормувальник	Затверд.		Лист 1	Листов 1	

Вал-шестерня
Сталь 45 ГОСТ 1050-88

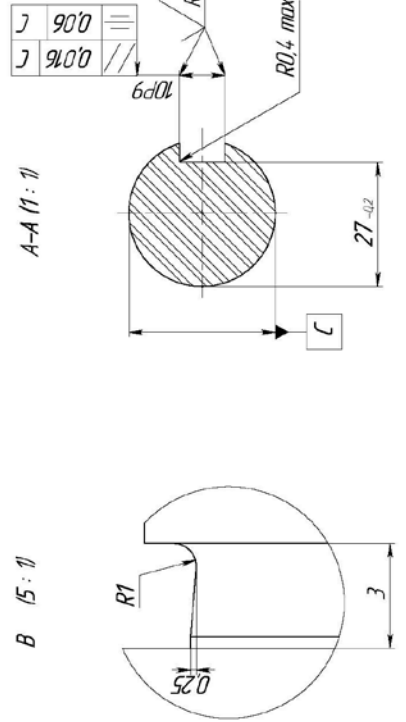
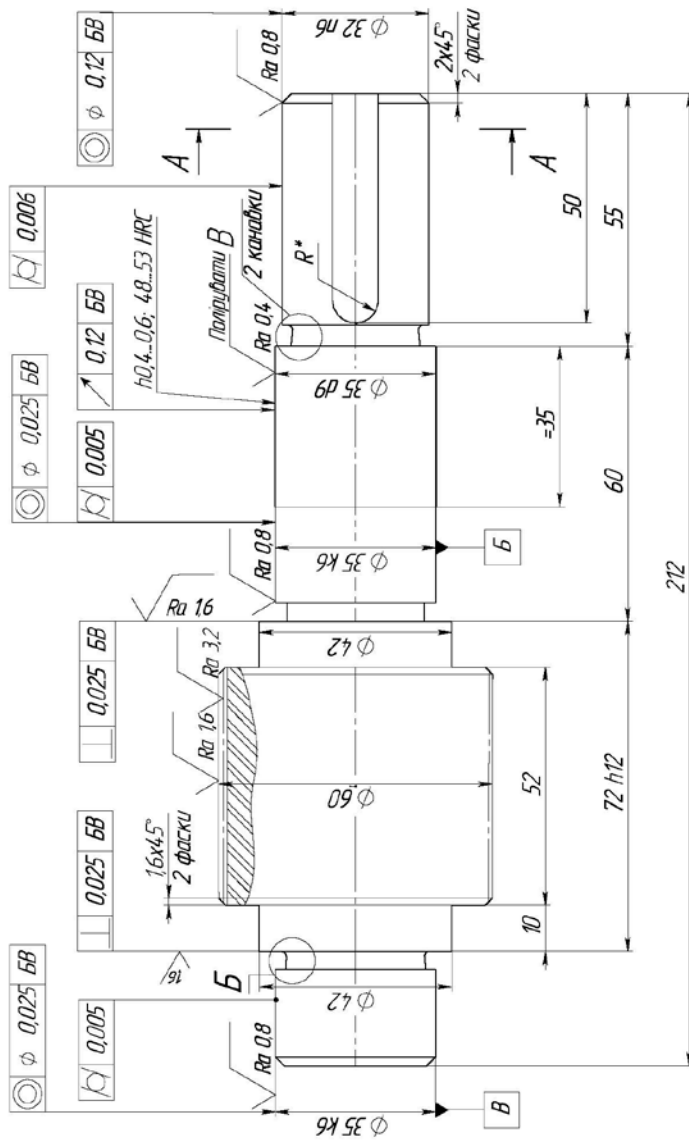


- 1 *Размёр, що забезпечений інструментом.
- 2 250...270 НВ.
- 3 Невказані граничні відхилення розмірів: Н14, н14; ±IT 14/2.
- 4 1 - отвір центральний А5 ГОСТ 14.034-74.

Лист	Масса	Масштаб	1:1
Лист 1	Листов 1	Вал відомий	

Модуль	m	2
Число зубців	Z	28
Кут нахилу	β	10° 26' 13"
Направлення ліній зубів	-	ліве
Нормальний вихідний контур		ГОСТ 13755-81
Коефіцієнт зміцнення вихідного контуру	x	0
Ступінь точності по ГОСТ 1643-81	-	9-B
Дільний діаметер	d _f	56
Позначення креслення ступучого зубчастого колеса		АВВГ 72348.079

$\sqrt{Ra\ 6,3\ (\sqrt{1})}$

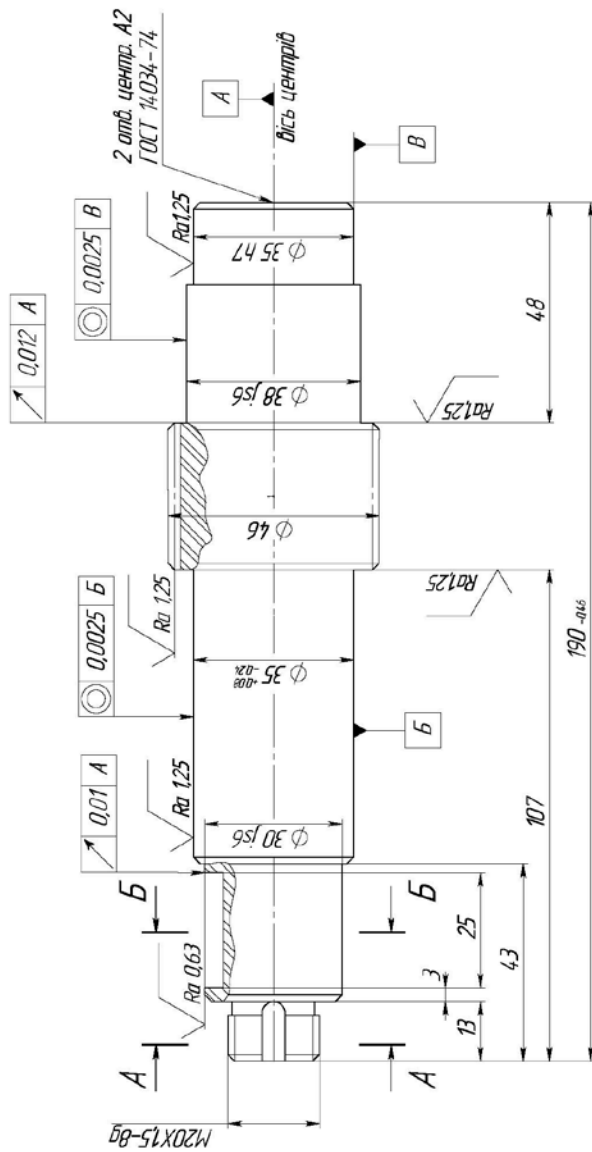


- *Разміри, що забезпечені інструментом.
- 220 НВ min.
- Радіуси заокруглень 2мм max.
- Небказані граничні відхилення розмірів: h14; h14; ±IT 14/2.

Інд.№ одл.	Підпис і дата	Інд.№ одл.	Підпис і дата
Взам.ін.№	Взам.ін.№	Інд.№ одл.	Підпис і дата
Лист	Лист	Лист	Лист

Вал-шестерня		Лист	Масса	Масштаб
Сталь 45 ГОСТ 1050-88		Лист 1	2,8	1:1

$\sqrt{Ra\ 6,3\ M}$	
Модуль	m
Кількість зубців	z
Кут нахилу	-
Напрямок лінії зуба	-
Нормальний вихідний контур	-
Коефіцієнт зміщення	x
Степінь точності по ГОСТ 1643-81	-
Дільний діаметер	d
Основний діаметер	d _б
Коефіцієнт осьового переkritтя	-
Длина загальної нормалі	W
	2
	20
	15
	ліве
	-
	ГОСТ 13755-81
	0
	7-E
	4.2
	39
	132
	15,379



1. Невказані граничні відхилення розмірів: H14, h14, ±IT 14/2.

2. Нормалізувати.

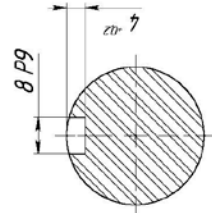
3. Невказані фаски 15x45°.

4. Зуб ТВЧ H4 мм, 46...51 HRC±.

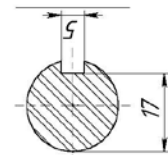
5. Дані для контролю по нормам точності ГОСТ 1643-81.

6. Допуск неопастійного діаметра в поперечному і поздовжньому перетинах побелюнь Б і В 0,008 мм.

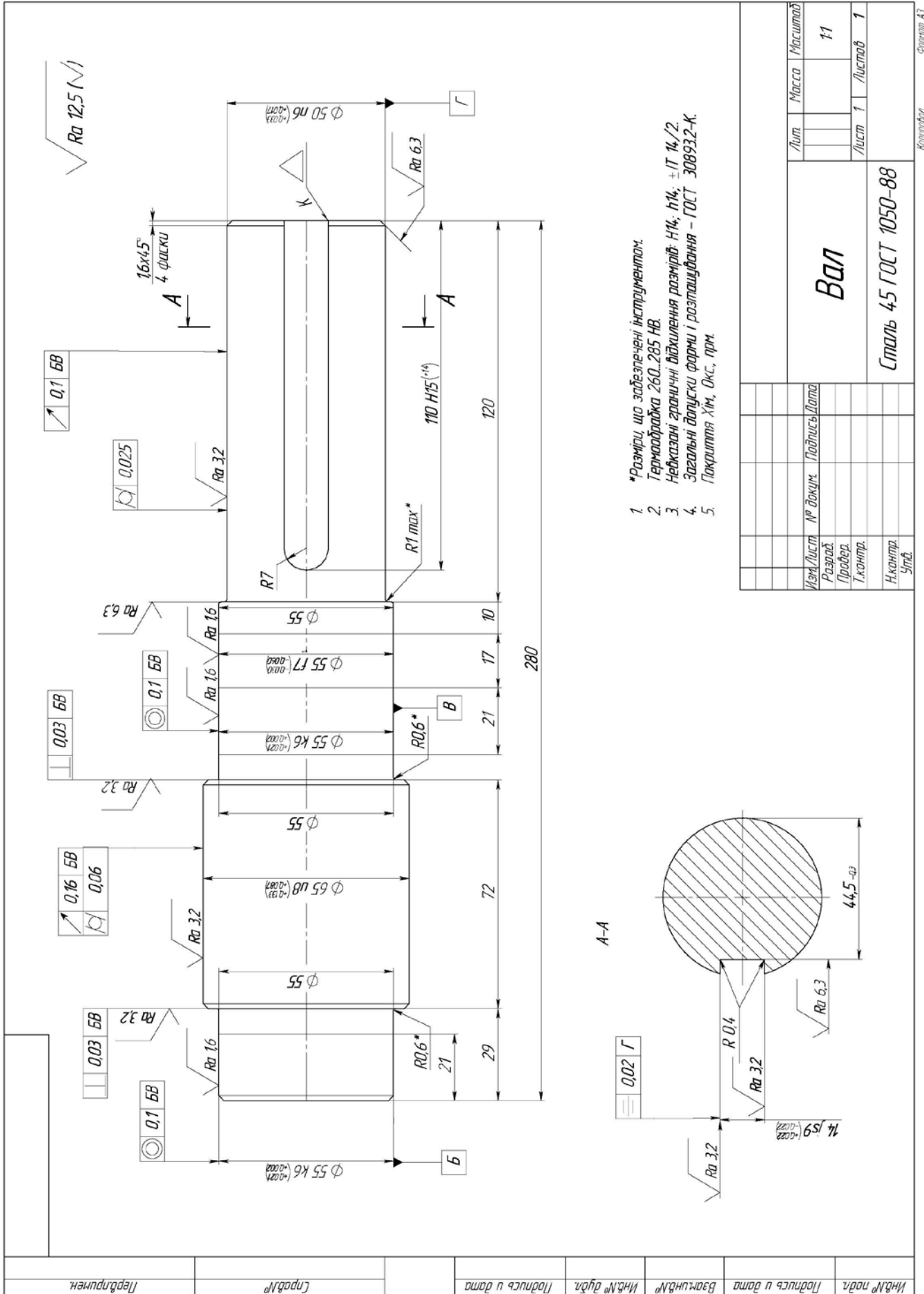
Б-Б (1:1)

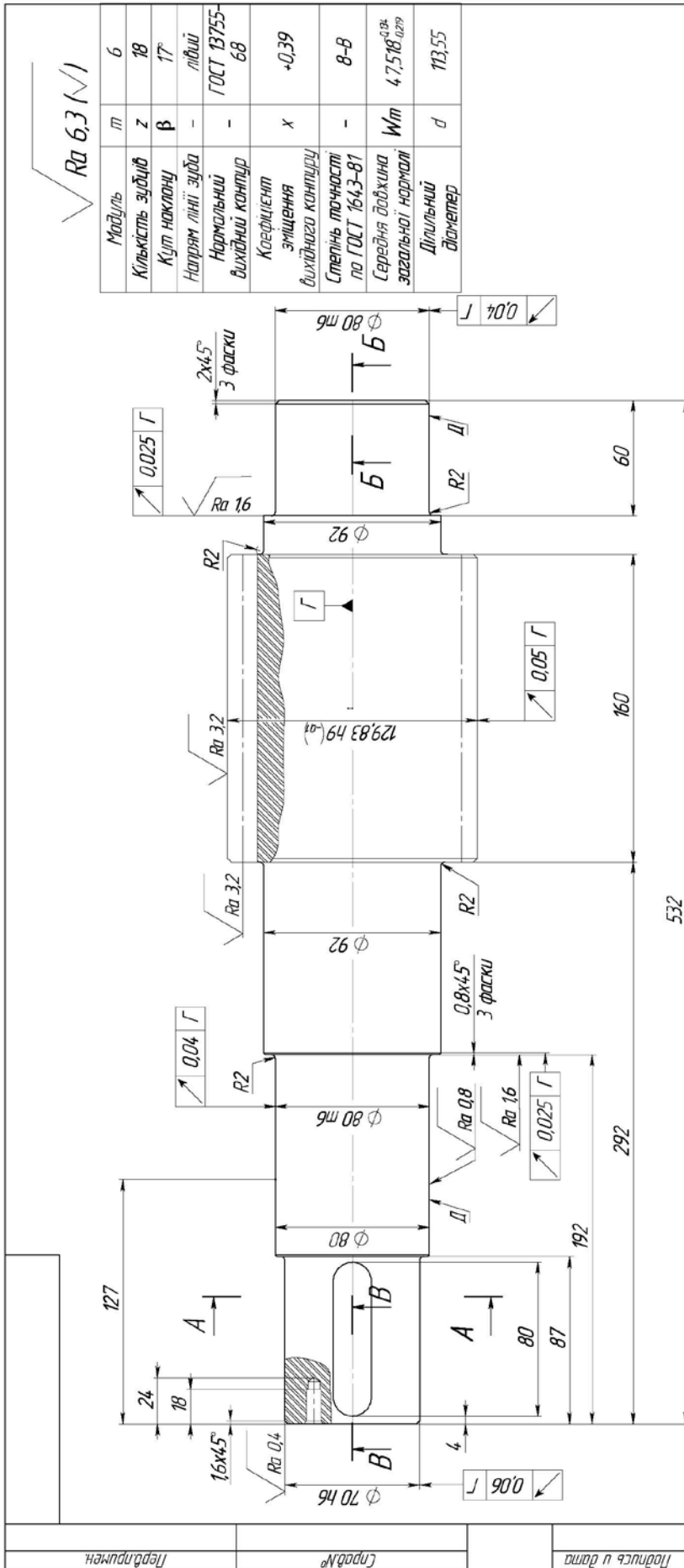


А-А (1:1)

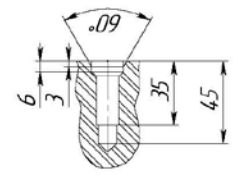
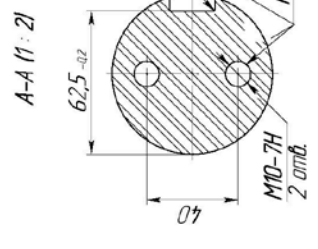
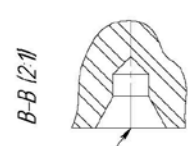


Лист	Масса	Масштаб
Лист 1	1,25	1:1
Вал-шестерня		
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71		





1. Неказані граничні відхилення розмірів: $H14$, $h14$, $\pm IT 14/2$.
2. Зуби ТВЧ h 12,2 мм 45...50HRC.
3. Перекіс шпоночного паза щодо діли "Т" не більше 0,045 мм.
4. 260...290 НВ.
5. Обвальність і конусоподібність поверхні "D" не більше 0,01 мм.
7. Інші технічні вимоги по ГОСТ 18242-72



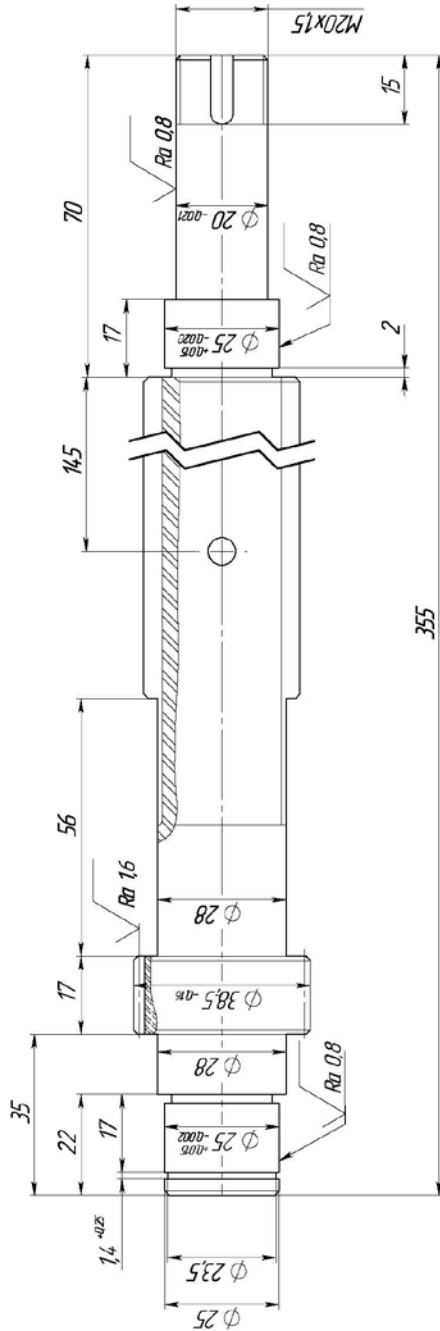
Лист	Масса	Масштаб
Лист 1	2,6	12
Листов 1	Листов 1	
Изд.№ подл.		
Подпись и дата		
Изд.№ подл.		
Подпись и дата		
Взам.Изд.№		
Изд.№ подл.		
Листов 1		
Листов 1		
Масса 2,6		
Масштаб 12		

Вал-шестерня
Сталь 40ХН ГОСТ4543-71

Інв.№ подл.	Розробив	Виконав	Інв.№ дудл.	Інв.№ дудл.	Інв.№ подл.	Лист 1	Листов 1	Маса	Масштаб
									1:1

✓ Ra 6,3 (M)

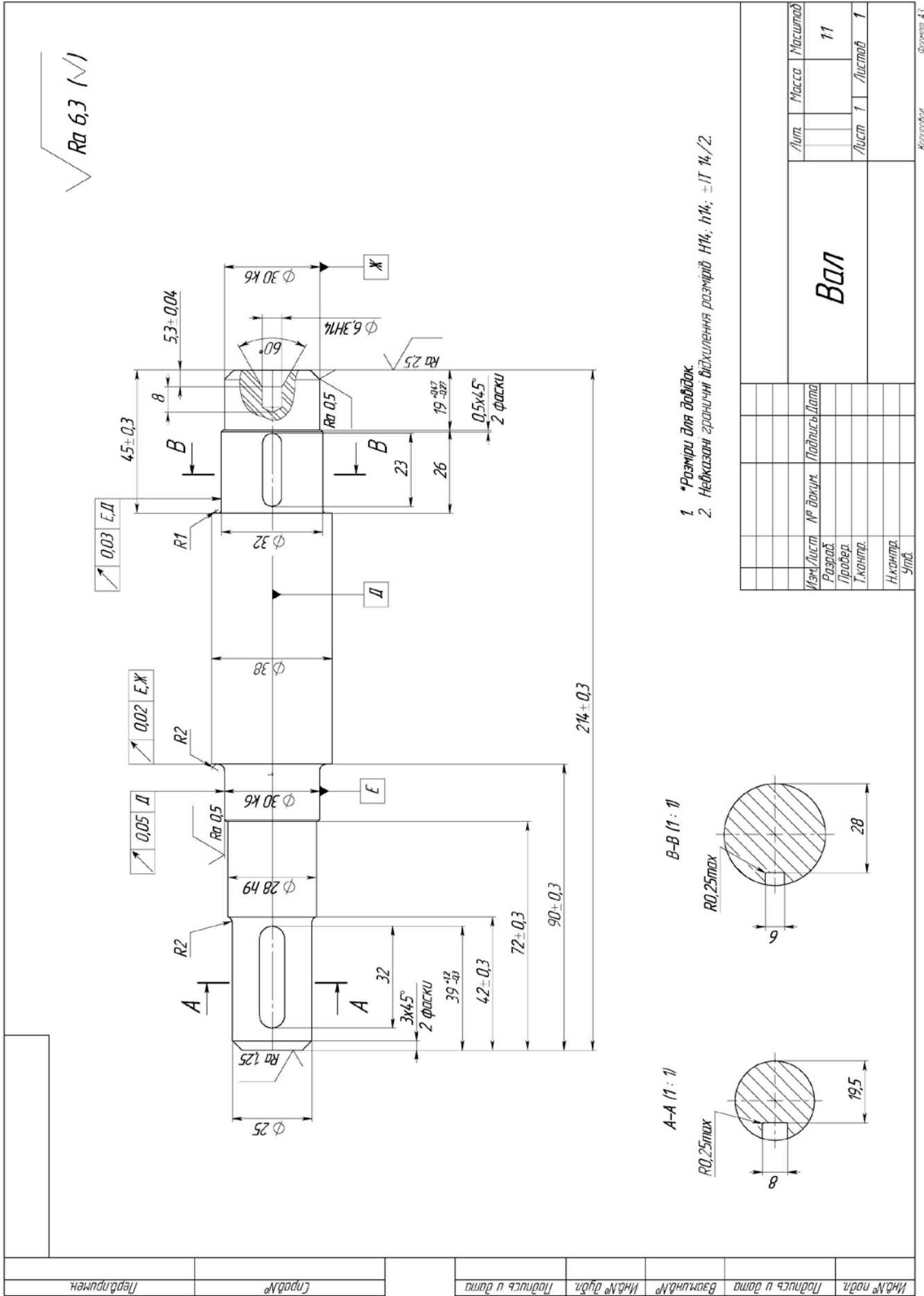
Модель	m	2.5
Число з'єдв.	Z	13
Вихідний контур	-	ГОСТ 3755-82
Коефіцієнт зменшення	x	+0.2
Степень точності по ГОСТ 1643-82	-	Ст8-7-7-x
Пастійна харда	Sc	3.789
Висота до пастійної харди	hc	0.402
Дільний діаметер	d _{лн}	32,5
Умова позначення вала по ГОСТ 1139-82		D-6x28x34,7x779
Число з'єдв	z	6



Лист 1	Листов 1	Маса	Масштаб
			1:1

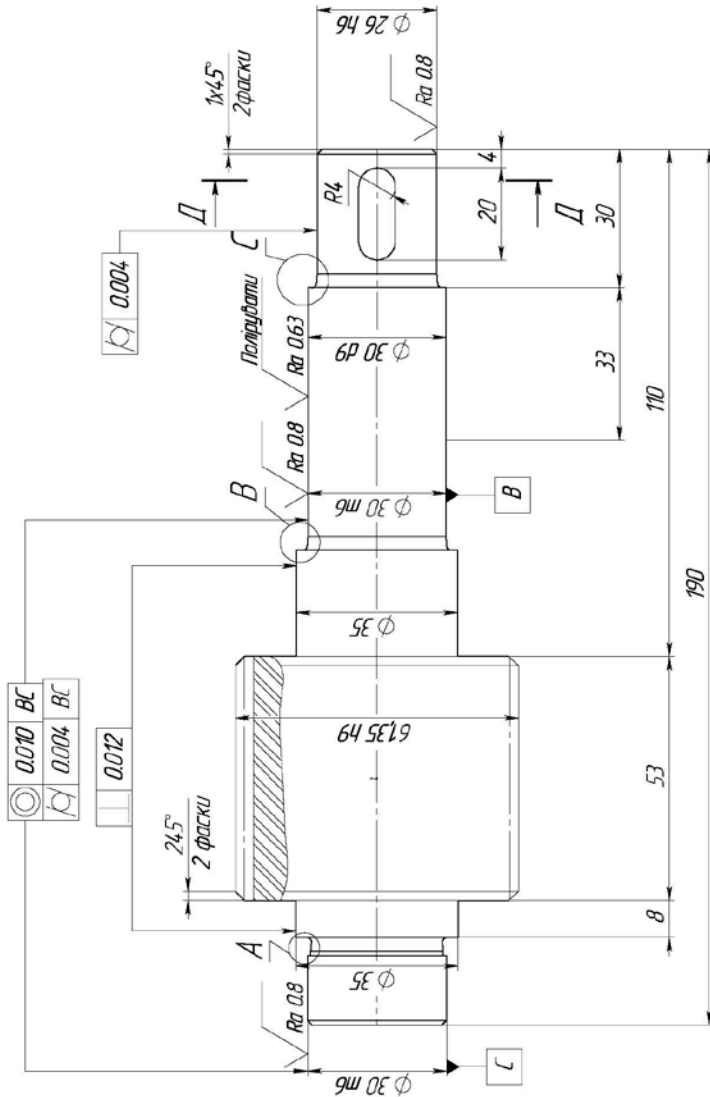
- Невказані граничні відхилення розмірів Н14, н14, ±IT 14/2.
- НРС 4.2.46.
- Отвір центрований: А4 ГОСТ 14034-82.

Вал-шестерня
Сталь ГОСТ 1050-88



Модуль	m	3
Число зубців	z	18
Кут нахилу зуба	β	$20^\circ 21'52''$
Напрямок лінії зуба	-	Права
Вихідний контур		ГОСТ 13755-81
Коефіцієнт вихідного контура	x	0
Степень точності по ГОСТ 1643-81	-	8-B
Позначення креслення сполученої деталі		РЦС-200.01.00.07
Дільний діаметер	d	57.61

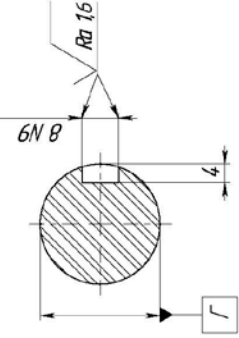
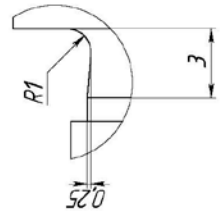
$\sqrt{Ra\ 12.5\ (1)}$



$\sqrt{Ra\ 12.5\ (1)}$	$\sqrt{Ra\ 1.6}$
$\sqrt{Ra\ 0.8}$	$\sqrt{Ra\ 0.8}$
$\sqrt{Ra\ 0.4}$	$\sqrt{Ra\ 0.4}$
$\sqrt{Ra\ 0.25}$	$\sqrt{Ra\ 0.25}$

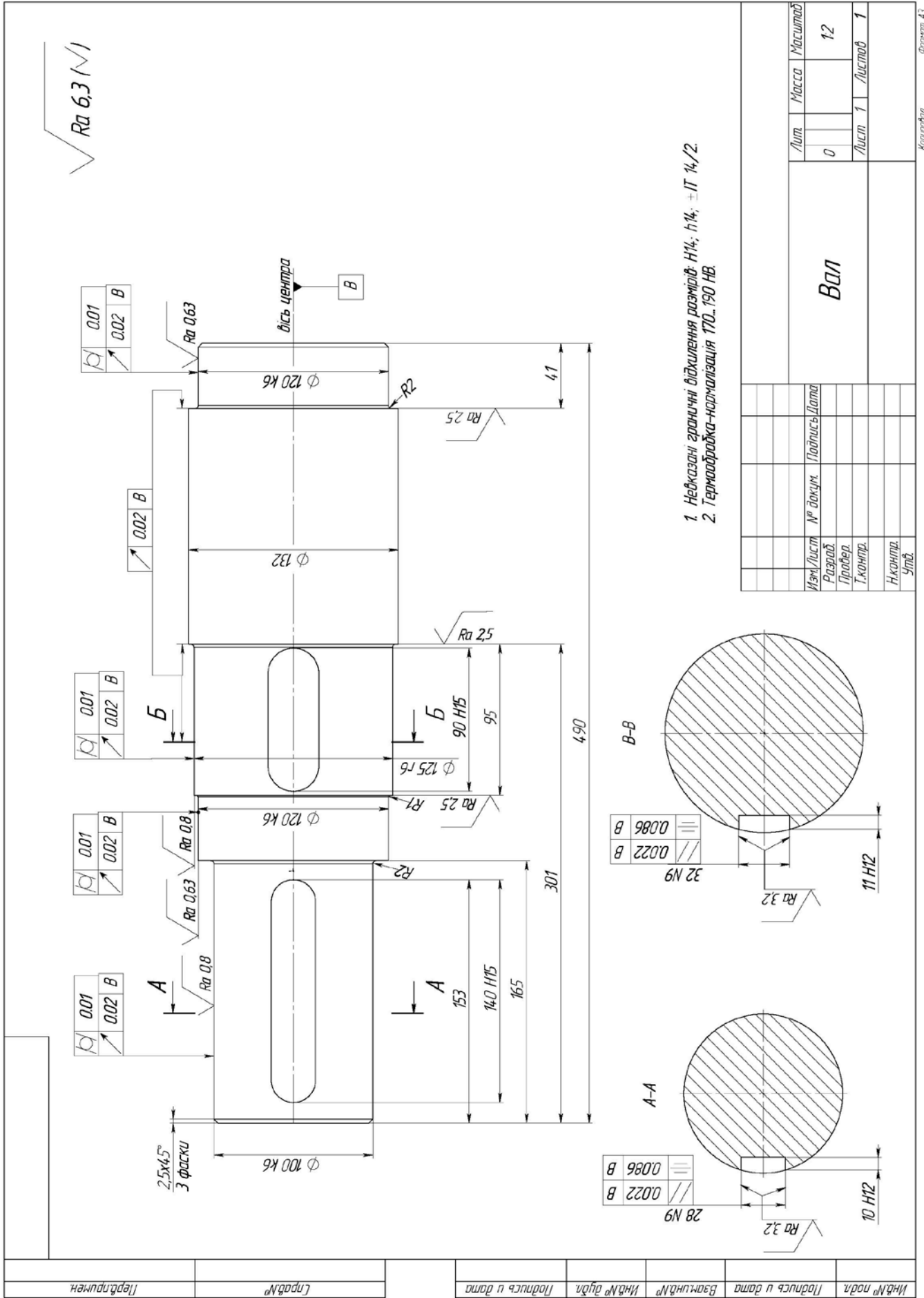
A, B, C (5:1)

D-D (1:1)



1. Термомодифікація гарпунів у воді і відпуск до твердості НРС 48-50.
2. Невказані граничні відхилення: Н14, н14, ±IT14/2.

Інв.№ подл.	Лист 1		Листов	1
Підпис і дата				
Взяк Инв.№				
Инв.№ дудл.				
Підпис і дата				
Лист	Маса		Масштаб	
Вал-шестерня				
Сталь 45 ГОСТ 1050-74				



✓ Ra 12.5 (M)

Модуль	m	2
Число зубців	z	15
Кут нахилу	β	1° 28' 42"
Напрямок зуба		Ліворуч
Вихідний контур		ГОСТ 13755-81
Коефіцієнт зміщення	x	0
Ступінь точності		8-Б ГОСТ 1643-81
Постійна хорда зуба	Sc	2774
Висота до постійної форми	hc	14.95
Дільний діаметер	d	30.612
Позначення креслення сполученої колеса		39100.00.29

A-A 12 : 1

**Δ 15 : 1
B 15 : 1**

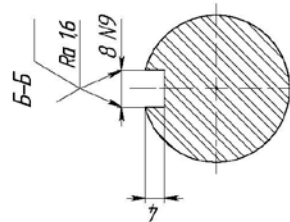
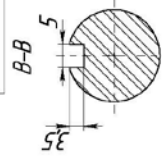
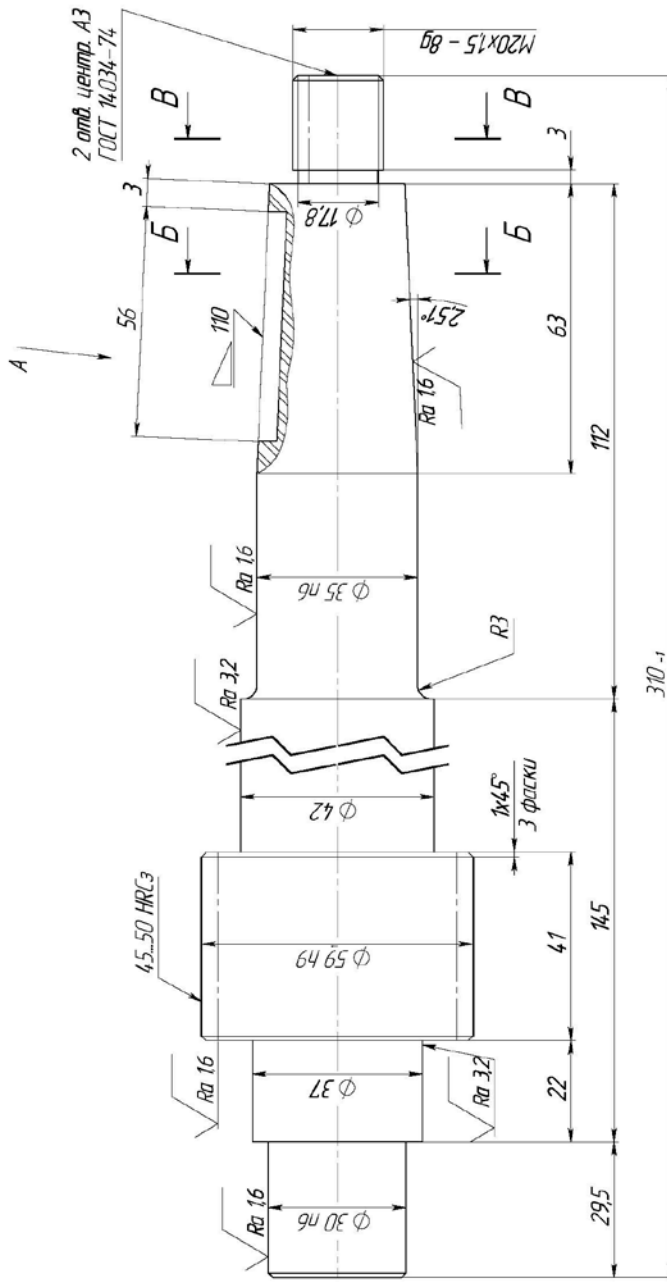
Вал-шестерня	
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	
Лист	1
Листов	1
Масса	
Масштаб	1:1

Изм./Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.			
Проект.			
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.			

1. Неказані граничні відхилення розмірів: H14; h14; ±IT 14/2.
2. Гострі кромки притупити радіусом 0.2 мм.
3. Відхилення від базової співвідносності для B і Γ не більше φ 0.016 мм.
4. Поверхнева твердість зуба 48-53 HRCз.

√ Ra 125 (N)

Модуль нормальний	mn	3
Число зубців	Z	16
Кут нахилу зубів	β	20° 36'35"
Напрямы зубів	-	Лівий
Вихідний контур	-	ГОСТ 13755-81
Коефіцієнт зміцнення вихідного контура	x	0,26
Степень точності по ГОСТ 1643-81	-	7-C
Діаметер ділительної окружності	d _в	51,282
Довжина загальної нормалі	W	23,49 ^{+0,08} _{-0,12}
Колірняні довжини загальної нормалі	F _н	0,022
Радіальне ділення зубчастого вінця	F _т	0,036
Відхилення осногоного кроку	f _{af}	± 0,014
Похибка напрямку зуба	F _β	0,016



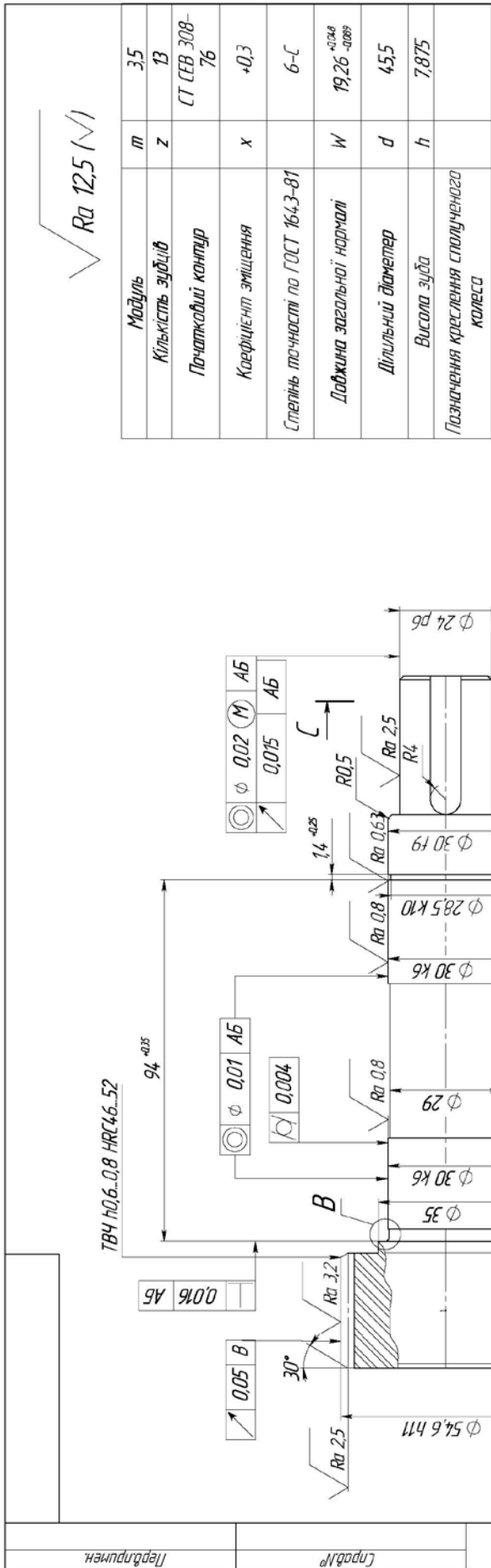
- *Розміри для додвоку.
- Невказані граничні відхилення розмірів: h14; h14; ±IT 14/2.

Лист №	Відомості	Дата	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
--------	-----------	------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Вал-шестерня
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71

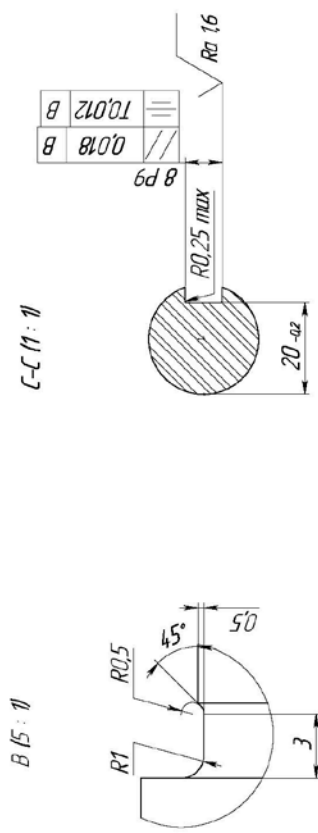
Лист	Масса	Масштаб
1	2,9	1:1
Лист	1	Листов
		1

Коллекция
Формат А3



ТВЧ h0.6-0.8 HRC46-52

- 1. Небазові граничні відхилення розмірів H14; h14; ±IT 14/2.
- 2. 269-293 НВ
- 3. Базовий торцеві - I.
- 4. Комплекс показників точності встановлений виробником по ГОСТ 1643-81



С-С (1:1)

В 5:1

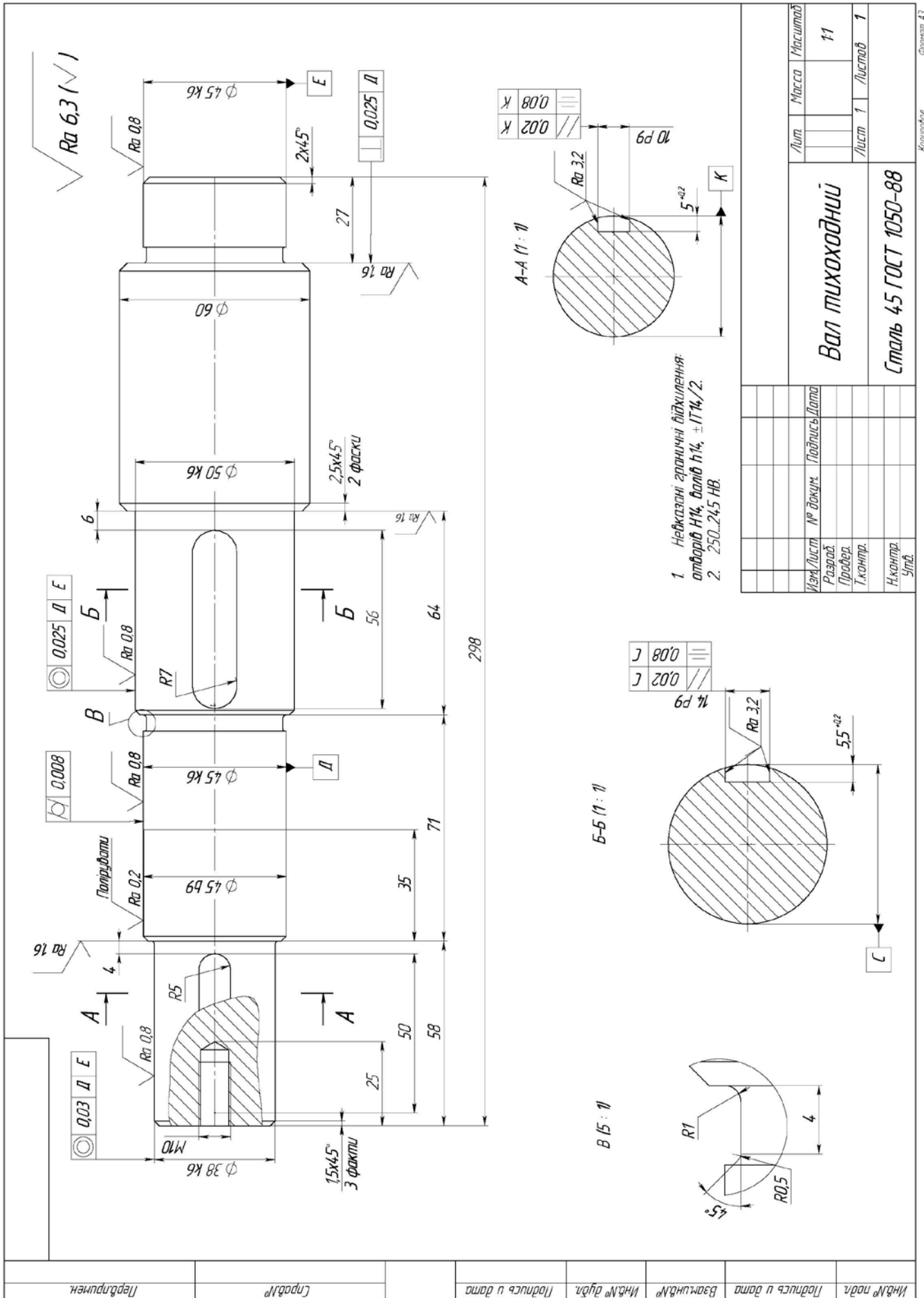
Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Лист 1			

Инд№ подл.	Подпись и дата
Взам.Инд№	
Инд№ дудл.	Подпись и дата
Спробл№	
Лерблимен.	

Лит	Масса	Листов
	1.326	11
Лит	Лист	Листов
	1	1

Вал-шестерня

Сталь 45 ГОСТ 4543-71*



Інв.№ подл.	Подпись і дата	Взам.інв.№	Інв.№ дудл.	Подпись і дата	Інв.№	Лист	Масса	Масштаб
						1		1:1

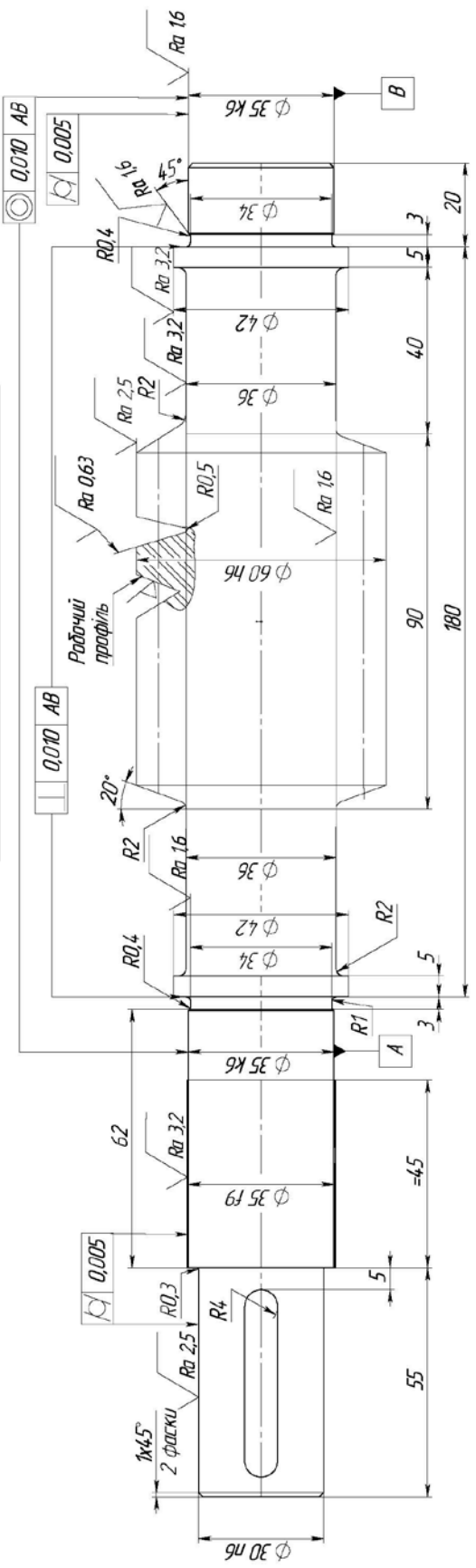
Лист	Масса	Масштаб
1		1:1

Інв.№ подл.	Подпись і дата	Взам.інв.№	Інв.№ дудл.	Подпись і дата	Інв.№	Лист	Масса	Масштаб
						1		1:1

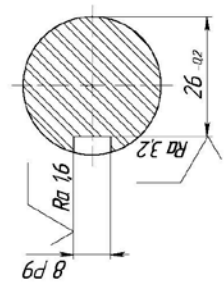
Модуль	m	5
Кількість вилків червяка	Z1	2
Вид червяка	-	zA
Дільний кут підлому	γ	11° 19'
Напряж вилка	-	Правий
Степень точності по ГОСТ 3675-81		7-С
Дільний кут червяка	d1	50
Ход вилка	Pz	31,4
Кут профілю		20°
Висота вилка	h1	11

Модуль	m	5
Кількість вилків червяка	Z1	2
Вид червяка	-	zA
Дільний кут підлому	γ	11° 19'
Напряж вилка	-	Правий
Степень точності по ГОСТ 3675-81		7-С
Дільний кут червяка	d1	50
Ход вилка	Pz	31,4
Кут профілю		20°
Висота вилка	h1	11

Ra 6,3 (N)



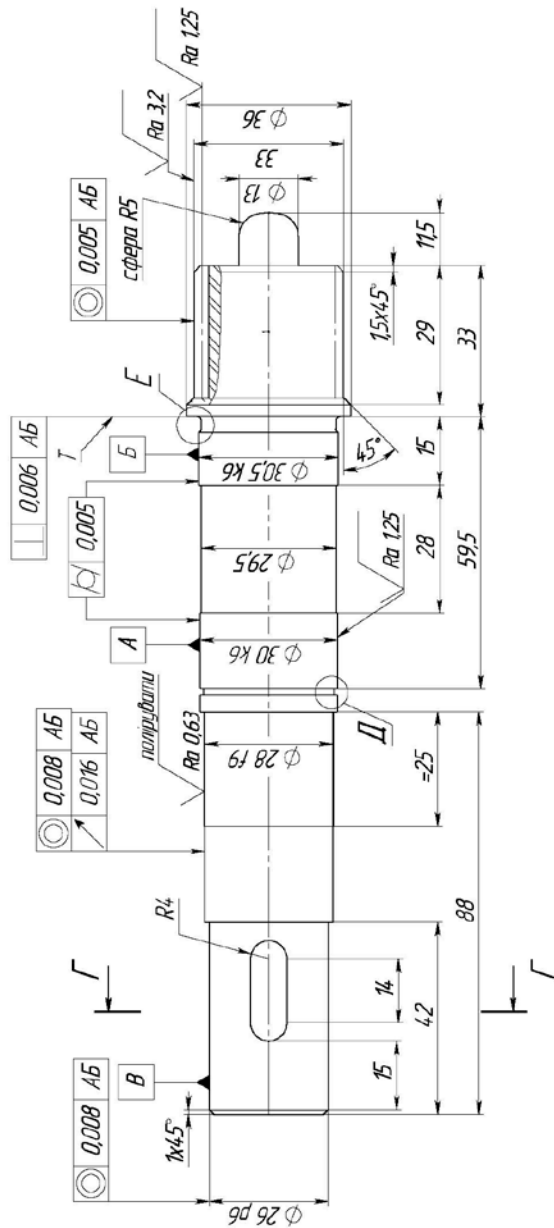
Б-5 (1 : 1)



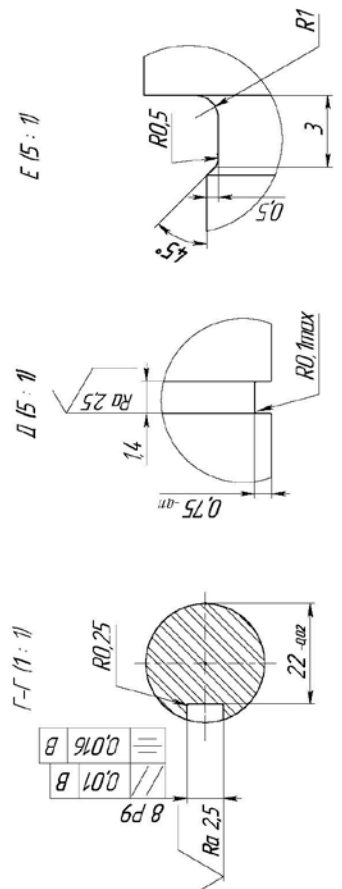
- Недовказні граничні відхилення розмірів: H14; h14; ±IT 14/2.
- Термообробка- вилки загартувати ТВЧ МКС 45...з.
- Гострі краї затулити R=0,3.

$\sqrt{Ra\ 6,3\ (M)}$

Модуль	m	1,5
Число зубців	z	20
Вихідний контур	-	СТ СЕВ 308-76
Коефіцієнт зміщення	x	0
Ступінь точності по ГОСТ 1643-81	-	7-С
Довжина загальної нормалі	W	11,49 ^{-0,044} _{-0,083}
Дільний діаметер	d	30
Висота зуба	h	3,375
Позначення креслення сполученого зубчастого колеса		КП.0154.100.30



1. Невказані граничні відхилення розмірів: H14; h14; ±IT 14/2.
2. Базовий торцевий.
3. Цементувати h 0,2-0,6; 56...61 HRC, серцевина 269-302 HB.
4. Комплекс показників точності استاندارد виробником по ГОСТ 1643-81.

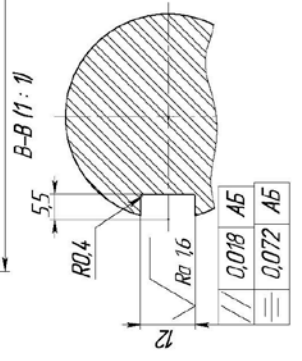
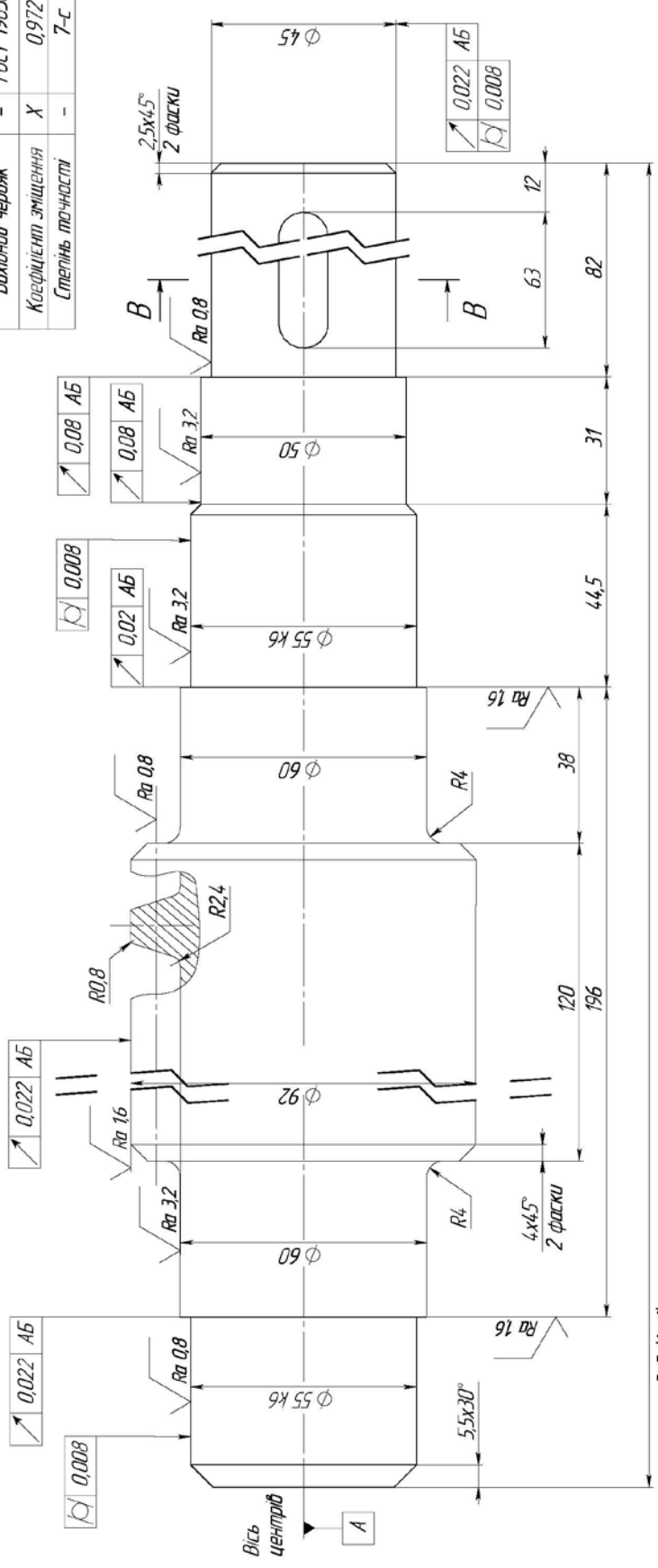


Інд№ подл.	Подпись і дата	Взамінді№	Інд№ відл.	Подпись і дата	Спроб№	Перлпримен.
------------	----------------	-----------	------------	----------------	--------	-------------

Лист	Масса	Масштаб
Лист 1		1:1
Вал-шестерня		
Сталь 12ХН2 ГОСТ 4543-71		

$\sqrt{Ra\ 6.3\ M}$

Модуль	т	6.3
Число витків	Z	1
Дільний кут підлому	γ	4° 34' 26"
Напрямок ліній витків	-	ліній
Вихідний черв'як	-	ГОСТ 19036-81
Коефіцієнт зміщення	X	0.972
Степень точності	-	7-с



- Невказані граничні відхилення розмірів:
H14, h14; ±IT 14/2
- HВ 260...285;
- Витки черв'яка h 0.8...1.2, 56...52 НРС.

Черв'як

Лист	Маса	Масштаб
Лист 1		1:1
Лист 1	Листов 1	Листов 1
Ізм./Лист	№ док-м.	Підпись/Дата
Розроб.		
Пробер.		
І.контр.		
Н.контр.		
Зуб.		