

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії
Кафедра машинобудування та прикладної механіки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: Розробка технологічного процесу виготовлення деталі
«Вал шліцьовий» коробки швидкостей металорізального верстат

Студента IV курсу групи ПМЕ-17д

спеціальності: 131 Прикладна механіка

Скорик В. С.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник роботи

к.т.н. Шумакова Т.О.

*(вчене звання, науковий ступінь,
прізвище та ініціали)*

(підпис)

Завідувач кафедри

проф., д.т.н. Соколов В.І.

*(вчене звання, науковий ступінь,
прізвище та ініціали)*

(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії

Кафедра машинобудування та прикладної механіки

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., проф. Соколов В.І.

« _____ » _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА
студенту

Скорику Владиславу Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка технологічного процесу виготовлення деталі
«Вал шліцьовий» коробки швидкостей металорізального верстат

керівник роботи Шумакова Тетяна Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2021 року _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані Креслення деталі. Матеріал деталі. Річна програма випуску
роботи деталі

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

Реферат. Вступ. Опис технологічного обладнання. Проектно-конструкторський розрахунок деталей технологічного обладнання. Розробка технологічного процесу деталі «Вал шліцьовий». Висновки. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Вал шліцьовий. 2. Робоче креслення заготовки деталі. 3. Наладка інструментальна.

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «__» _____ 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Згідно з календарним планом – графіком, затвердженим кафедрою машинобудування та прикладної механіки, що до виконання бакалаврських робіт		

Студент

.....
(підпис)

Скорик В.С.

.....
(прізвище та ініціали)

Керівник бакалаврської роботи

.....
(підпис)

Шумакова Т.О.

.....
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра виконана на кафедрі машинобудування та прикладної механіки Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

Робота містить у собі графічну і текстову частину. Пояснювальна записка складається з: 53 сторінок тексту , таблиць - 6, рисунків - 10 , список літератури з 34 джерел.

**ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНИЙ ВЕРСТАТ, КОРОБКА ШВИДКОСТЕЙ,
ВАЛ ШЛІЦЬОВИЙ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, СОБІВАРТІСТЬ.**

У роботі розроблено конструкцію валу шліцьового приводу головного руху токарно-гвинторізного верстата моделі 1А62.

Наведено розріз приводу головного руху, спроектовано вал-шліцьовий цього приводу, заготовку деталі та технологічний процес її виготовлення.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРСТАТА.....	8
1.1. Призначення верстата.....	8
1.2. Основні рухи верстата.....	9
1.3. Основні вузли верстата.....	11
1.4 Органи управління верстатом.....	14
1.5 Принцип роботи та особливості верстата.....	15
1.6 Технічні характеристики верстата.....	16
2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	20
2.1. Загальні положення.....	20
2.2. Проектно-конструкторські розрахунки.....	22
2.3. Розробка 3D-моделі деталі «Вал шліцьовий» та кресленика головного виду деталі.....	26
3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «ВАЛ ШЛІЦЬОВИЙ».....	29
3.1. Аналіз технологічності конструкцій деталі.....	29
3.2. Визначення типу виробництва.....	32
3.3. Техніко-економічне дослідження методів отримання заготовки.....	34
3.3.1. Розрахунок вартості заготовки з прокату.....	35
3.3.2. Розрахунок вартості заготовки, отриманої методом гарячого об'ємного штампування на ГKM.....	35
3.4. Проектування технологічного процесу механічної обробки деталей.....	37
3.5. Обґрунтування вибору технологічних баз.....	40
3.6. Розрахунок припусків на механічну обробку.....	41
3.7. Розрахунок режимів різання аналітичним методом.....	44
3.8 Проектування карт технологічних налагодок.....	46
Висновки.....	48
Рекомендована література.....	50

Вступ

Машинобудування є основою науково-технічного прогресу в різних галузях промисловості. Непереривне удосконалення та розвиток машинобудування зв'язане з прогресом верстатобудування, оскільки метало ріжучі станки з деякими іншими видами технологічних машин забезпечують виготовлення будь яких нових видів обладнання.

Сучасні металоріжучі верстати забезпечують високу точність оброблюваних деталей. Відповідальні поверхні найбільш важливих деталей машин та приборів оброблюють на верстатах з похибкою в долі мікрометрів, а шорсткість поверхонь при алмазному точінні не перевищує сотих долей мікрометра.

Спеціалісти в області технології машинобудування, метало ріжучих верстатів та інструментів знаходяться на одному з найвідповідальніших місць усього науково-технологічного процесу. Завдання в тому, щоб в результаті конкретного удосконалення технології обробки, утворення нових метало ріжучих верстатів з мікропроцесорним управлінням, верстатних модулів для гнучких виробничих систем забезпечити технічне та організаційне переобладнання усіх галузей машинобудування і на цій основі забезпечити значне підвищення ефективності праці. Для успішної творчої діяльності інженери-верстатники повинні бути фундаментально підготовлені в області математики, фізики, обчислювальної техніки, мати фундаментальні знання і навички по загальним інженерним дисциплінам і добре знати свою майбутню спеціальність. Необхідно ясно представляти загальні найважливіші властивості, що визначають технічний рівень метало ріжучих верстатів, для того, щоб створити кращі зразки та нові моделі верстатів.

В найближчому майбутньому потрібно буде створення нових моделей верстатів, верстатних модулів, гнучких виробничих систем, тому майбутні спеціалісти верстатники повинні володіти основами конструювання верстатів і їх найважливіших вузлів.

В даній бакалаврській роботі передбачається розробка технологічного процесу виготовлення шліцьового валу та інструменту для його обробки.

Пропоновані в проекті організаційні технологічні та конструкторські рішення підвищать продуктивність праці а також якість продукції, що випускається.

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРСТАТА

1.1 Призначення верстата

На машинобудівних підприємствах основним обладнанням є металорізальні верстати. Для подальшого підвищення ефективності виробництва та якості продукції необхідно застосовувати сучасні високопродуктивні верстати з найбільш повним використанням їх технологічних можливостей.

Сучасне металорізальне обладнання – це високо розвинені машини, що включають велику кількість механізмів і використовують механічні, електричні, електронні, гідравличні, пневматичні та інші методи здійснення рухів та керування циклом. За конструкцією та призначенням важко знайти більш різноманітні машини ніж металорізальні верстати. На них оброблюють різноманітні деталі – від найдрібніших елементів годинників і приладів до деталей, розміри яких сягають декількох десятків метрів (наприклад, деталі турбін, кораблів).

На металорізальних верстатах обробляються різноманітні форми поверхней деталей з високими вимогами до їх точності і якості. Деталі, що оброблюються можуть бути з різноманітних матеріалів: сталей, чавунів, кольорових металів і сплавів, пластмас, деревини та інших. Високу продуктивність процесу обробки сучасні верстати забезпечують за рахунок високої швидкості, потужності і широкої автоматизації циклу обробки. Конструкції верстатів постійно удосконалюються з урахуванням всезростаючих вимог до їх точності, продуктивності та іншим характеристикам.

Широко застосовуваним класом металорізального устаткування є верстати токарної групи, до яких відноситься і проєктований у випускній роботі верстат. За ДСТ18097-88 токарні і токарно-гвинторізні верстати

проектуються і виготовляються з максимальним діаметром обробки від 125 до 2500 мм. По цьому параметрі проєктований верстат з $D_{\max}=400$ мм відноситься до верстатів середнього типорозміру.

У випускній роботі бакалавра в якості технологічного обладнання виступає токарно-гвинторізний верстат моделі 1А62. На рис. 1 представлено загальний вигляд та кінематичну схему верстату моделі 1А62.

Верстат моделі 1А62 призначено для токарної обробки тіл обертання з канавками, фасками і поверхні з криволінійними утвореннями. На верстаті можна нарізати різьби метричні, дюймові, модульні та пітчеві. Обробка виконується за один або декілька робочих ходів в замкнутому напівавтоматичному циклі.

Позначення верстата 1А62:

1 – токарний;

А – удосконалений;

6 – тип токарних і лобових верстатів;

2 – типорозмір (в залежності від максимального діаметру оброблюваної деталі), верстат нормальної точності (шифр точності відсутній).

1.2 Основні рухи верстата

Рух різання – обертання шпинделя з деталлю що обробляється. Рух подачі – прямолінійне, поступальне переміщення супорта з різцем в повздовжньому і поперечному напрямках від рухомих гвинтів. Рух утворення гвинтової поверхні – прямолінійний повздовжній рух супорта, каретки і пінолі задньої бабки і поворот чотирьохпозиційного різцетримача.

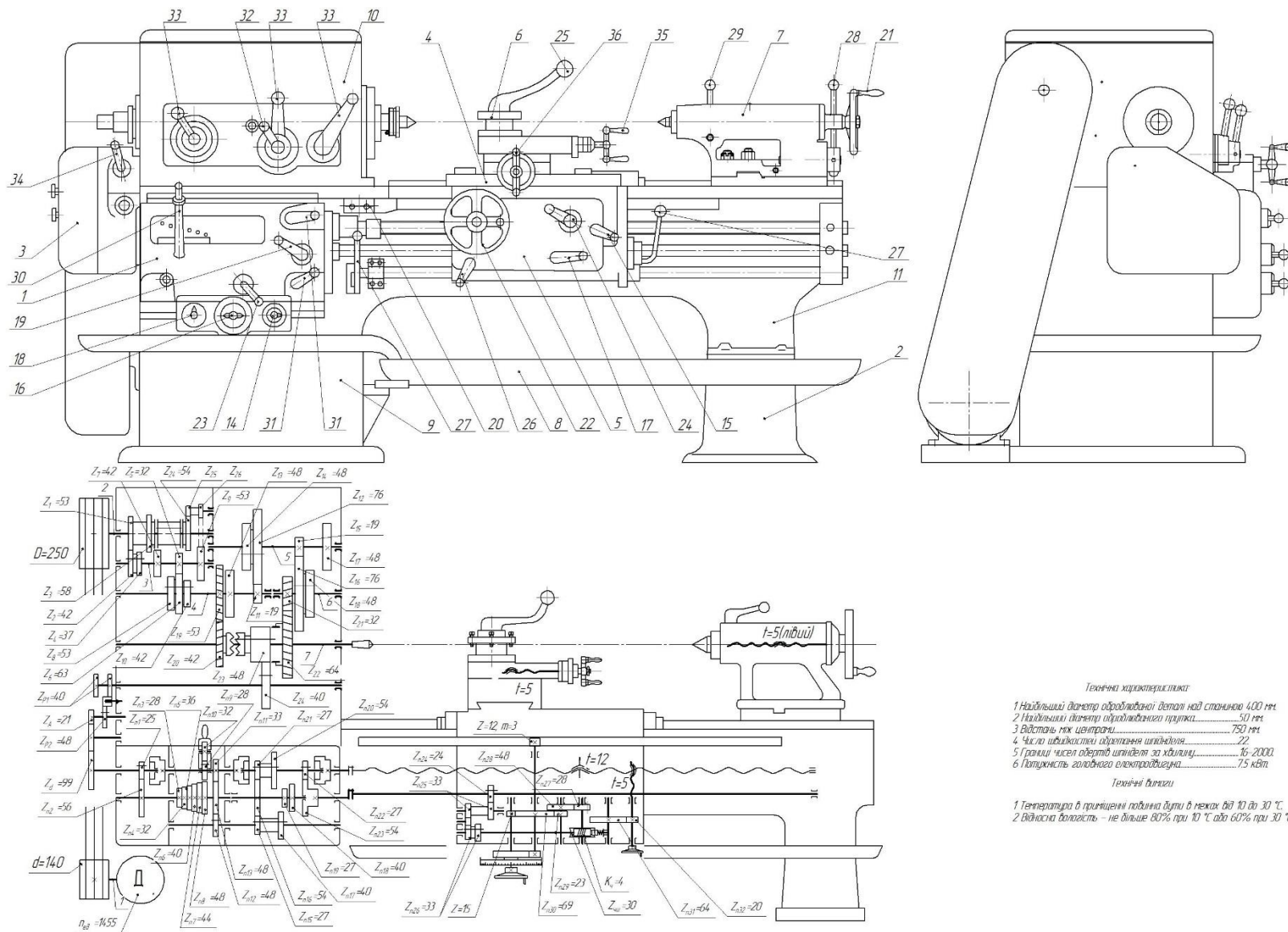


Рис. 1 – Загальний вигляд і кінематична схема верстата 1А62

1.3 Основні вузли верстата

Токарний-гвинторізний верстат дозволяє обточувати різні зовнішні і внутрішні поверхні заготовок з будь-яких машинобудівних конструкційних матеріалів (площини торців, конуси, циліндри, різьбові поверхні). Крім того, на верстатах можна свердлити, зенкувати і розгортати отвори, розрізати заготовки і т. д., тобто верстати мають широкі технологічні можливості.

Верстат, що розглядається в бакалаврській роботі складається з наступних основних вузлів:

А – передня бабка;

Б – коробка швидкостей;

В – фартук з механізмом подач;

Г – супорт з швидкодіючим чотирьохпозиційним різцетримачем;

Д – каретка;

Е – захисний кожух;

Ж – задня бабка;

З – станина;

И – шафа з електрообладнанням та гідростанцією;

К – задня тумба;

Л – система охолодження;

М – піддон для збору охолоджуючої рідини та стружки;

Н – передня тумба;

П – привід подач.

Розглянемо основні вузли токарного верстата 1А62, призначеного для роботи в різних галузях промисловості. Станина 1 з направляючими 7 знаходиться на двох тумбах. На верстаті зліва знаходиться бабка шпинделя (передня) 3, що несе шпиндель, який здійснює головний робочий рух, вали коробки швидкостей і важелі управління нею. За передньою бабкою розташований електрошкаф 4. З правого боку розташована задня бабка 6, що

підтримує заготовку при обробці за допомогою заднього центру. По направляючим станини між обома бабками переміщається супорт (від латинського *supporto* - підтримую) із закріпленим в різцевій головці інструментом. Супорт має нижню каретку з подовжнім переміщенням *Sprod*, середні поперечні салазки з поперечним переміщенням, верхні різцеві салазки з переміщенням в горизонтальній площині під будь-яким кутом. Таке поєднання можливих переміщень дозволяє отримати рух різця по будь-якій твірній поверхні обертання.

Переміщення супорта здійснюється через механізми фартука 5, отримуючого рух від коробки подач 2 через ходовий гвинт або ходовий вал. На шків рух передається від електродвигуна. На валу разом зі шківом вільно сидять подвійний блок зубчатих коліс і ще одне колесо. Між ними знаходиться муфта, що реверсує рух. У лівому положенні муфти передається пряме обертання на вал з подвійним і потрійним блоками зубчатих коліс. Цей же вал обертатиметься в протилежну сторону, якщо муфту включити управо. Тоді через верхній подвійний блок рух повідомиться правому колесу потрійного блоку.

Дві частоти обертання з валу "знімаються" потрійним блоком, що ковзає по шліцьовому валу, який матиме вже шість частот обертання. Верхній блок зубчатих коліс на валу може зачіплятися з одним з коліс лівого подвійного блоку на валу. Від валу через широке зубчате колесо рух передається на подвійний блок короткого валу, а з нього - на шпindel. Блок з двох коліс рукояткою на валу може зміщуватися на шпindelі по шліцах вліво і входити в зачеплення з одним з коліс подвійного блоку на валу. Так забезпечуються 24 прямих і 12 зворотних частот обертання шпindelя верстата, а перемикання коліс забезпечується (при прямому обертанні) чотирма положеннями рукоятки і шістьма положеннями рукоятки.

Рукоятка служить для установки нарізання нормального або збільшеного кроку різьблення і положення при діленні багатьох західних різьб, а рукоятка - для реверсування подачі при нарізуванні лівих і правих різьб.

Розгортка бабки шпинделя і її розрізи дають уявлення про конструктивне оформлення зубчатих коліс і блоків, валів, підшипників, муфт, важелів, корпусу бабки і інших елементів. Задня бабка верстата в своєму корпусі несе піноль, що висувається обертанням гвинта за допомогою маховичка з рукояткою. Задній центр, що обертається або жорсткий, вставляється в кінчне розточування пінолі. Рукояткою піноль затискається під час обточування заготівки.

Переміщення задньої бабки по направляючих станинах здійснюється після опускання затискної планки за допомогою рукоятки. Настроювання верстата на обточування в центрах конічних поверхонь проводиться гвинтами, що переміщують корпус бабки відносно підставки. Для створення повітряної подушки між бабкою і станиною служить спеціальна пневматична система, що працює від заводської мережі; вона полегшує переміщення задньої бабки по направляючих станини, одночасно очищаючи їх від стружки. Коробка подач складається з ряду валів із зубчатими колесами, системи важелів для перемикання муфт блоків коліс і т.д. Рух коробки подач передається від змінного зубчатого колеса гітари подач і "видається" на ходовий вал при обточуванні або на ходовий гвинт при нарізуванні різьблення. Коли нарізаються високоточні різьблення, той рух з гітари може передаватися безпосередньо на ходовий гвинт. Для цього блок пересувається управо і вінцем з внутрішнім зачепленням з'єднується з колесом; так само з'єднується блок із зубчатим колесом – при холостому прискореному обертанні ходового валу від електродвигуна рух від колеса.

Управління коробкою передач здійснюється рукоятками, якими встановлюється величина подачі або кроки різьблення і відключається коробка передач при нарізуванні різьблення безпосередньо (від гітари до ходового гвинта).

Дві поперечні стінки розділяють порожнину коробки подач на три відсіки. У середньому відсіку можуть мати місце чотири варіанти перемикання, в лівому – шість, тобто всього 24 частоти обертання без

урахування перемикань в бабки шпинделя ланки збільшення кроку.

Супорт дозволяє переміщати різець, закріплений в різцевій головці в декількох напрямках: у подовжньому напрямі - рухом каретки по направляючих станини, в поперечному напрямі - переміщенням салазок по направляючих каретки типу хвоста ластівки і похило - переміщенням різцевих салазок по направляючих поворотній частині, розташованій між обома салазками. На поперечних салазках може розміщуватися додатковий задній різцетримач, використовуваний головним чином для відрізки. Різцеві салазки можна переміщати вручну або додатковим пристроєм.

Різцетримач можна повертати точно на прямий кут щодо вертикальної осі і фіксувати рукояткою або закріплювати в будь-якому проміжному положенні, але без точки фіксації. Станина має направляючі для переміщення задньої бабки і направляючі для переміщення супорта. У кронштейні справа і в коробці передач зліва встановлений ходовий гвинт для нарізування різьблення, ходовий вал для передачі руху через фартук верстата до супорта і вал для управління фрикційною муфтою, що вимикає і включає пряме і зворотне обертання шпинделя. Ходовий гвинт і ходовий вал захищають щитками. Прискорене обертання ходового валу забезпечується електродвигуном через клиноріменну передачу і шків. До станини ж прикручена рейка для переміщення супорта уздовж станини.

У конічне розточування порожнистого шпинделя вставлений передній центр, а на передньому кінці з конічним поясочком закріплена планшайба. У корито 8 звальюється стружка і зливається охолоджуюча рідина.

1.4 Органи управління верстатом

- 1 і 2 – рукоятки управління коробкою швидкостей;
- 3 – ричав закріплення корпусу задньої бабки на направляючих станини;
- 4 – маховичок ручного переміщення пінолі задньої бабки;
- 5 – рукоятка закріплення пінолі задньої бабки;

- 6 – маховичок ручного поперечного переміщення супорта;
- 7 – кнопка ввімкнення та вимкнення головного електродвигуна;
- 8,9 – кнопки ввімкнення і вимкнення допоміжних електродвигунів;
- 10 – кнопочка станція;
- 11 – пульт управління поперечної і прокольної подачі;
- 12 – рукоятка встановлення типу різьби та подачі;
- 13 – рукоятка встановлення кроку різьби чи величини подачі.

1.5 Принцип роботи та особливості верстата

Деталь що обробляється встановлюється в центрах або закріплюється в патроні. В різцетримачі супорта можуть бути закріплені чотири різці. Інструменти для обробки отворів встановлюються в корпус пінолі задньої бабки. Поєднанням обертального руху заготовки з поступальним рухом різця на верстаті можна обробляти циліндричні, конічні, гвинтові та торцеві поверхні. Управління здійснюється від програмного носія, на який в закодованому вигляді занесена і технологічна і розмірна інформація. Пристрій ЧПУ забезпечує рух формоутворення, зміну значень подачі і частоти обертання шпинделя, індексацію різцевої головки і в більшості випадків нарізання різьб по програмі. Кількість управляючих координат дорівнює двом, з них одночасно управляючих дві.

Верстат з ЧПУ повинен забезпечувати високу продуктивність і точність обробки потрібних переміщень, що задані програмою (5-10 мкм.). Це можливо тільки у випадку високої точності виготовлення і жорсткості верстата, що перевищує жорсткість звичайного верстата в декілька раз. Підвищенню статичної і динамічної жорсткості сприяє зменшення довжини кінематичних ланок. З цією метою для усіх робочих органів утворюють автономні приводи, а механічні передачі замінюють електричними, електронними та гідравлічними. Такі приводи забезпечують високу швидкодію.

У верстаті моделі 1А62 застосовано роздільний привід руху різання. Привідний шків встановлено на шпинделі між його опорами, але конструкція задньої опори шпинделя допускає заміну клинових пасів без демонтажу шпинделя. Гальмування приводу станка здійснюється шляхом підключення постійного струму в обмотку статора електродвигуна.

1.6 Технічні характеристики верстата

Висота центрів, мм.....	165
Клас точності верстата по ГОСТ 8-82, (Н, П, В, А, С).....	Н
Найбільший діаметр оброблюваної деталі, мм:	
Над станиною.....	400
над суппортом.....	210
Довжина оброблюваної деталі, мм	710
Межі частот обертання шпинделя об./мин.....	16-2000
Види різьб що нарізаються:	
метрична, крок в мм.....	0,5-48
дюймова, кількість ниток на 1".....	0,5-48
модульна, модуль в мм.....	0,5-48
Потужність двигуна головного руху, кВт.....	4,5
Габаритні розміри верстата	
Довжина, мм.....	3380
Ширина, мм.....	1780
Висота, мм.....	1900
Маса верстата, кг.....	2000

По заданих межах частот обертання шпинделя $n_1=16$, $n_z=2000$ об/хв і знаменнику ряду $\phi=1.26$ визначаємо число ступіней швидкості обертання шпинделя і вибираємо стандартні значення частот обертання. Число ступіней швидкості визначається по формулі:

$$Z = 1 + \lg(nz/n1) / \lg(\varphi)$$

Підставляючи значення параметрів, одержуємо

$$Z = 1 + \lg(2000 / 16) / \lg(1.26) = 1 + 20.97 = 22$$

По таблиці стандартних чисел [16] зі знаменником ряду $\varphi=1.26$ вибираємо 22 значення швидкостей: $n_j=16,20,25,31.5,40,50,63,80,100,125,160,200,250,315,400,500,630,800,1000,1250,1600,2000$ об/хв.

Двигун верстата – асинхронний коротко-замкнений 4A132S4Y3 виконання на лапах M100 потужністю $N_{np}=7,5$ кВт. Синхронна частота обертання його ротора дорівнює 1500 об/хв, а асинхронна, по якій будуть розраховуватися частоти обертання шпинделя $n_{\text{эд}}=1455$ об/хв. Діаметр ведучого валу двигуна, на якому встановлюється шків пасової передачі, дорівнює 38 мм, а довжина – 80 мм. Потужність електродвигуна $N_{\text{эд}} = 7,5$ кВт цілком достатня для проектованого верстата.

Основні розміри електродвигуна:

- діаметр валу $d=38$ мм, довжина валу $l=80$ мм, шпонка $b=10 \times 8$ мм;
- кріпильні отвори у лапах: кількість – 4, діаметр – 12 мм, відстань між ними у провздовжному напрямі – 140 мм, у поперечному – 216 мм;
- загальні габарити: довжина $L=480$, максимальна вишина $H=350$ мм.

Привідний вал II коробки швидкостей з'єднаний з електродвигуном потужністю 7,5 кВт клинопасовою передачею 120-188.

На рис. 2 приведена повна кінематична схема приводу.

Від двигуна до коробки швидкостей рух передається клінопасовою передачею d/D . Включення і реверсування обертання шпинделю виконується 2-х сторонньою фрікційною муфтою, яка буде з'єднувати з 2-м валом або ведучі колеса першого подвійного блоку Z_1, Z_3 (при прямому обертанні), або колесо Z_{24} , яке передає рух на 3-й вал через паразитні колеса Z_{25}, Z_{26} (при зворотному обертанні). На 2-му валі колеса Z_1, Z_3 і Z_{24} будуть встановлюватись на підшипниках, тому їх діаметр повинен бути достатньо

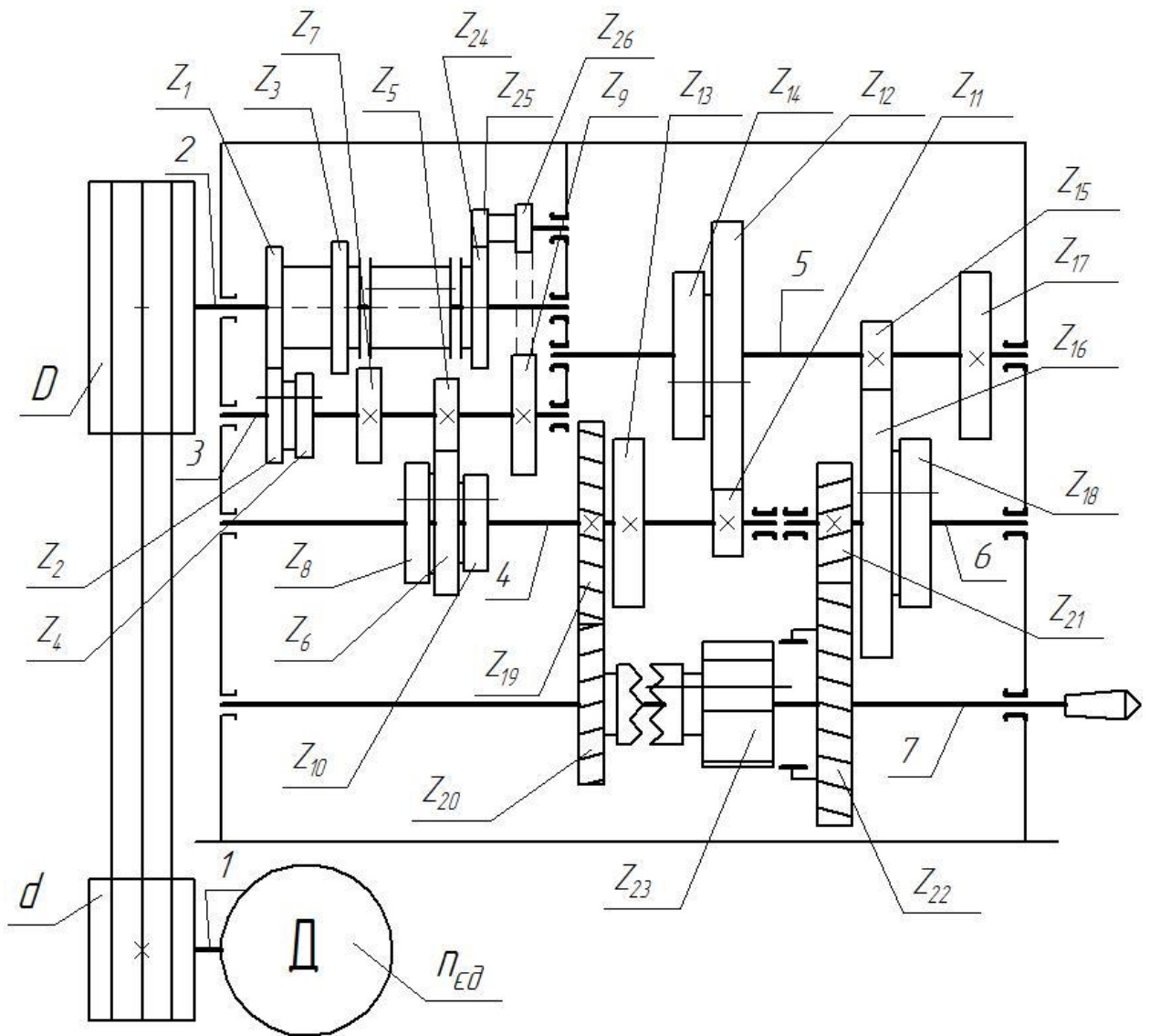


Рис. 2 – Кінематична схема привода головного руху верстату 1А62

великим. 4-й і 6-й вали коробки швидкостей робимо співвісними для спрощення корпусу (буде менше розточувальних отворів).

Передача руху на шпиндель по короткому і довгому кінематичному ланцюгу буде виконуватись косозубими ціліндрічними зубчастими передачами, які будуть з'єднуватись із шпинделем 2-х сторонньою кулачково-зубчастою муфтою. Передача з короткого ланцюга включатиметься кулачковою муфтою (вліво, колесо Z_{20}), а з довгого ланцюга (вправо, колесо Z_{22}) – зубчастою Z_{23} . Верстат має 22 різних швидкостей руху.

Поздовжня та поперечна компоновка коробки швидкостей верстата моделі 1А62 наведено на рис. 3, 4.

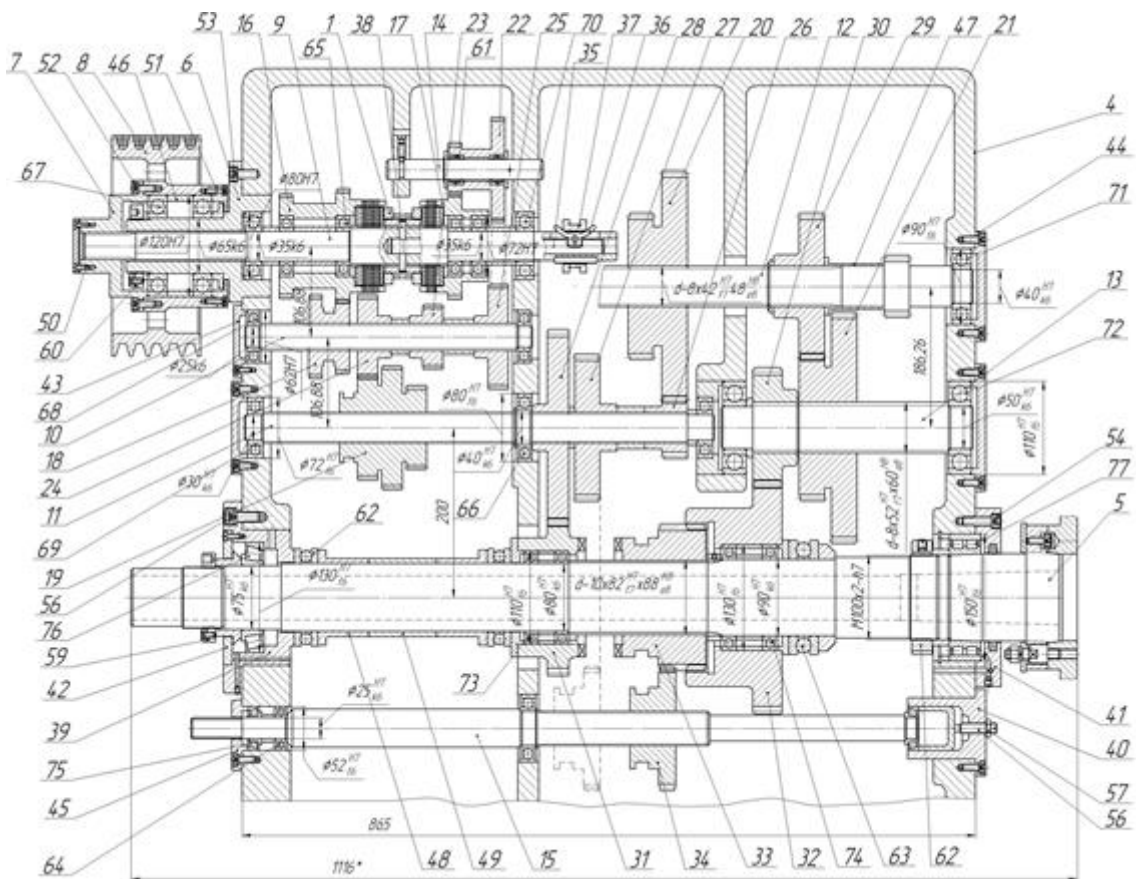


Рис. 3 – Поздовжня компоновка коробки швидкостей токарно-гвинторізного верстату 1А62

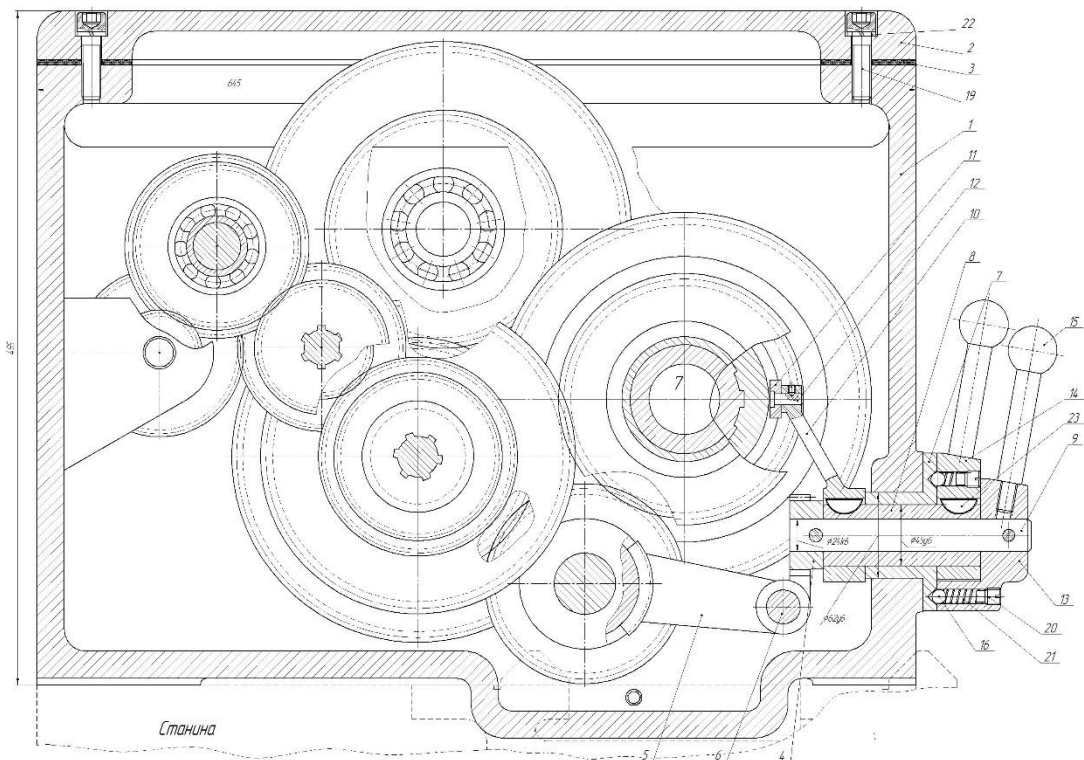


Рис. 4 – Поперечна компоновка коробки швидкостей токарно-гвинторізного верстату 1А62

2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1. Загальні положення

Вали широко використовуються у вузлах та механізмах для передачі обертового руху. В загальному машинобудуванні зустрічаються вали безступінчасті та ступінчасті, суцільні та пустотілі, гладкі та шліцові, вали-шестерні, а також комбіновані у різноманітному сполученні. За формою геометричної осі вали можуть бути прямими, колінчастими, кривошипними та ексцентриковими (кулачковими). Вали різноманітні за службовим призначенням, конструктивній формі, розмірам та матеріалам. Не дивлячись на це, технологу при розробці технологічного процесу виготовлення валів доводиться вирішувати багато однотипних задач. Тому є доцільним користуватися типовими процесами, що розроблені на базі класифікації.

Класифікація ступінчастих валів. Найбільш поширені в машинобудуванні, у тому числі у верстатобудуванні, різноманітні ступінчасті вали середніх розмірів, серед яких мають перевагу гладкі. Більш 85 % загальної кількості типорозмірів ступінчастих валів в машинобудуванні складають вали довжиною 150-1000 мм. Класифікація ступінчастих валів середніх розмірів, що використовується в машинобудуванні, наведена у табл. 1.

Матеріали та способи отримання заготовок для ступінчастих валів. Вали в основному виготовляють з конструкційних та легованих сталей. Ці сталі повинні мати високу міцність, добру оброблюваність, малу чутливість до концентрації напруг, а для підвищення зносостійкості повинні підлягати термічній обробці. Таким вимогам найбільш повно відповідають конструкційні сталі 35, 40, 45, 40Х, 50Х, 40Г2, азотовані 38ХМЮА і цементовані 12Х2Н4А, 12ХН3А та інші. Леговані сталі в порівнянні з конструкційними використовують не так часто через те, що вони більш коштовні, а також мають підвищену чутливість до концентрації напруг.

Таблиця 1 – Класифікація ступінчастих валів діаметром 30 - 80 мм,
довжиною 150 - 1000 мм

Тип		Група		
Найменування	Позначення	Найменування	Позначення валів довжиною, мм	
			150 - 500	500 - 1000
Вал без центрального отвору	1	Вал без шліців та зубчастих коліс (гладкий вал)	1-1-1	1-11-1
		Вал зі шліцами	1-1-2	1-11-2
		Вал-шестерня без шліців	1-1-3	1-11-3
		Вал-шестерня циліндричний зі шліцами	1-1-4	1-11-4
		Вал-шестерня конічний зі шліцами	1-1-5	1-11-5
Вал з центральним отвором	2	Вал без шліців та зубчастих коліс	2-1-1	2-11-1
		Вал зі шліцами	2-1-2	2-11-2
		Вал-шестерня зі шліцами	2-1-3	-
		Вал-рейка	-	2-11-3

Продуктивність механічної обробки валів залежить від виду матеріалу, розмірів та конфігурації заготовки, а також характеру виробництва.

Заготовки отримують відрізанням від гарячекатаних або холоднокатаних прутків та відразу ж піддають механічній обробці. Заготовки такого типу використовують у дрібносерійному та одиничному виробництві, а також при виготовленні валів з невеликою кількістю ступенів і незначною різницею їх діаметрів. У виробництві з великою програмою випуску, а також при виготовленні валів більш складних за конфігурацією зі ступенями з великою різницею діаметрів заготовки доцільно отримувати методами

пластичного деформування: куванням, штампуванням, періодичним прокатуванням, стискуванням на ротаційно-кувальних машинах, електровисадкою. Ці методи дозволяють отримати заготовки за формою та розмірами найбільш близькі до готової деталі, що значно підвищує продуктивність механічної обробки, значно зменшує металомісткість.

Вибір способу отримання заготовки визначається з урахуванням технікоекономічної доцільності.

При механічній обробці валів на настроєних та автоматизованих верстатах пред'являються підвищені вимоги до точності заготовки. Для отримання таких заготовок використовують перспективний та високопродуктивний метод обробки ступінчастих валів – поперечно-гвинтова прокатка на тривалкових станах. Робота тривалкових станів легко піддається автоматизації, включаючи рух подачі заготовки, її нагрівання, прокатку, розрізування на мірні заготовки, охолодження прокату, укладання та упакування. Існує також метод радіального стиснення. Отримані цим методом заготовки мають малі припуски, високу точність ($\pm 0,02 - 0,2$ мм), та шорсткість поверхні $Ra 0,63 - 0,32$ мкм.

2.2 Проектно-конструкторські розрахунки

Вхідні дані для проектно-конструкторського розрахунку це - кінематична схема коробки швидкостей (рис. 2), графік частот обертання коробки швидкостей токарно-гвинторізного верстата моделі 1А62 (рис. 5) та розрахункова схема валу шліцьового (рис. 6).

Вхідні дані для розрахунку наступні:

- межі частот обертання шпинделю $n_1=16 - 2000$ об/хв;
- тип електродвигуна – асинхронний з короткозамкненим ротором 4А132S4У3;
- потужність електродвигуна, що передається $7,5$ N, кВт;
- номінальна частота обертання електродвигуна, 1455 n, $хв^{-1}$;

У приводах головного руху верстатів розрахункові навантаження (крутні моменти) для силових і міцностних розрахунків валів і механізмів визначаються по потужності приводного двигуна і частоті обертання валів:

$$T = \frac{N \cdot \eta}{n_i} \cdot 9550 = \frac{7,5 \cdot 0,95}{500} \cdot 9550 = 136 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

де N – потужність електродвигуна, кВт;

n_i – мінімальна частота обертання валу II, хв.⁻¹;

η – коефіцієнт утрат потужності від валу двигуна до механізму;

Розраховуємо діаметри першої та третьої ступені валу, на якій розташовані опори у вигляді підшипників за формулою:

$$d = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_i}{0,2 \cdot [\tau]_{кр}}}, \text{ мм}.$$

$$d = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{136}{0,2 \cdot 25}} = 30 \text{ мм}.$$

де T – крутний момент на вхідному валу, Н*М

$\tau_{кр}$ – допустима напруга на кручення, МПа, для вихідного кінця валу приймаю $[\tau_{кр}] = 25$ МПа. Приймаємо, що $d_1 = 30$ мм.

Вибір підшипників.

В якості опор обираю підшипники шарикові радіальні однорядні легкої серії, згідно ГОСТ 8338-75 [12] діаметру валу $d_2 = 30$ мм відповідають підшипники марки 306, вантажопідйомністю $C = 28100$ Н, $C_0 = 14600$ Н. Номінальний діаметр зовнішньої циліндричної поверхні підшипника $D = 72$ мм, ширина $B = 19$ мм, координата монтажно́ї фаски $r = 2$ мм.

Довжина другої ступені валу під підшипник дорівнює ширині підшипника $l_2 = B = 19$ мм. Отримане значення довжини другої ступені перевіряю за ГОСТ 6636-69 [11]. Призначаємо розмір $l_1 = 20$ мм.

Розраховуємо діаметри другої ступені валу шліцьового за формулою:

$$d_2 = d_1 + 2 * t = 30 + 2 * 4 = 38 \text{ мм},$$

де t – перехід діаметра валу по відношенню до попереднього діаметра. Значення величини буртику t в залежності від діаметру ступені валу під шліци для мого випадку дорівнює 4 мм.

Розрахункове значення діаметру другої ступені валу округлюємо до найближчого стандартного значення $d=100$ мм. Вибираємо параметри зубчастого шліцьового прямобочного з'єднання легкої серії по ГОСТ 1139-58 [20] для внутрішнього діаметру $d_3 = 32$ мм; число зубів $z = 8$; зовнішній діаметр $D = 38$ мм; ширина зуба $b = 6$ мм. Довжина другої ступені валу розраховуємо залежно від габаритів корпусу коробки швидкостей токарно-гвинторізного верстата. Призначаємо рівною 188 мм.

Матеріал валу. Для валів приводу головного руху верстатів зазвичай застосовують сталі марок 20Х, 45, 50, 20Х, 40Х, що пройшли термічну обробку поліпшенням (загартування з наступним високим відпуском).

При виконанні кваліфікаційної роботи бакалавра приймаємо, що матеріалом валу є Сталь 12ХН3А ГОСТ 4543-71 ($\tau_{кр} = 25$ МПа).

Зведені розміри ступенів валу приведені в табл. 5

Таблиця 2 – Зведені розміри ступенів валу

Розмір	Ступінь валу		
	I	II	III
d , мм	30	38	30
l мм	20	188	20

До валу шліцьового проміжного, пред'являються наступні технічних вимог:

1. Радіальне биття циліндричних поверхонь деталі відносно її осі обертання призначаємо з таблиці 5 ГОСТ 24643-81 [22].

2. Призначаємо допуск круглості та допуск профілю поздовжнього перерізу за ГОСТ 24642-81 [23]. Для діаметрів 30 мм та 38 мм допуски

круглості та допуски профілю поздовжнього перерізу призначають в діапазоні 0,8...3,5 мкм [2, с. 166, табл.97].

3. Шорсткість поверхонь деталі Вал шліцьовий має бути:

Rz 40 – внутрішні діаметри шліців;

Rz 2,5 – торцеві поверхні під підшипники;

Ra 2,5 – канавки і радіусів заокруглення;

Ra 1,25 – зовнішні діаметри шліців;

Ra 0,8 – посадочні поверхні – 5 квалітету під зубчасті колеса.

2.3 Розробка 3D-моделі деталі «Вал шліцьовий» та кресленика головного виду деталі

Вал шліцьовий проміжний коробки швидкостей токарно-гвинторізного верстата 1А62, є по суті, за винятком 8 шліцьових пазів, тіло обертання. Побудови тривимірної моделі деталі виконувалася в системі КОМПАС-3D шляхом використання команд:

1. Побудова ескізу половини поздовжнього перетину валу з наступним застосуванням операції обертання;

2. Побудова ескізу шліцьового пазу в площині, що перпендикулярна осі валу з наступним вирізанням восьми прямобочних шліців.

Результати побудови 3D-моделі деталі «Вал шліцьовий» представлено на рис. 7.

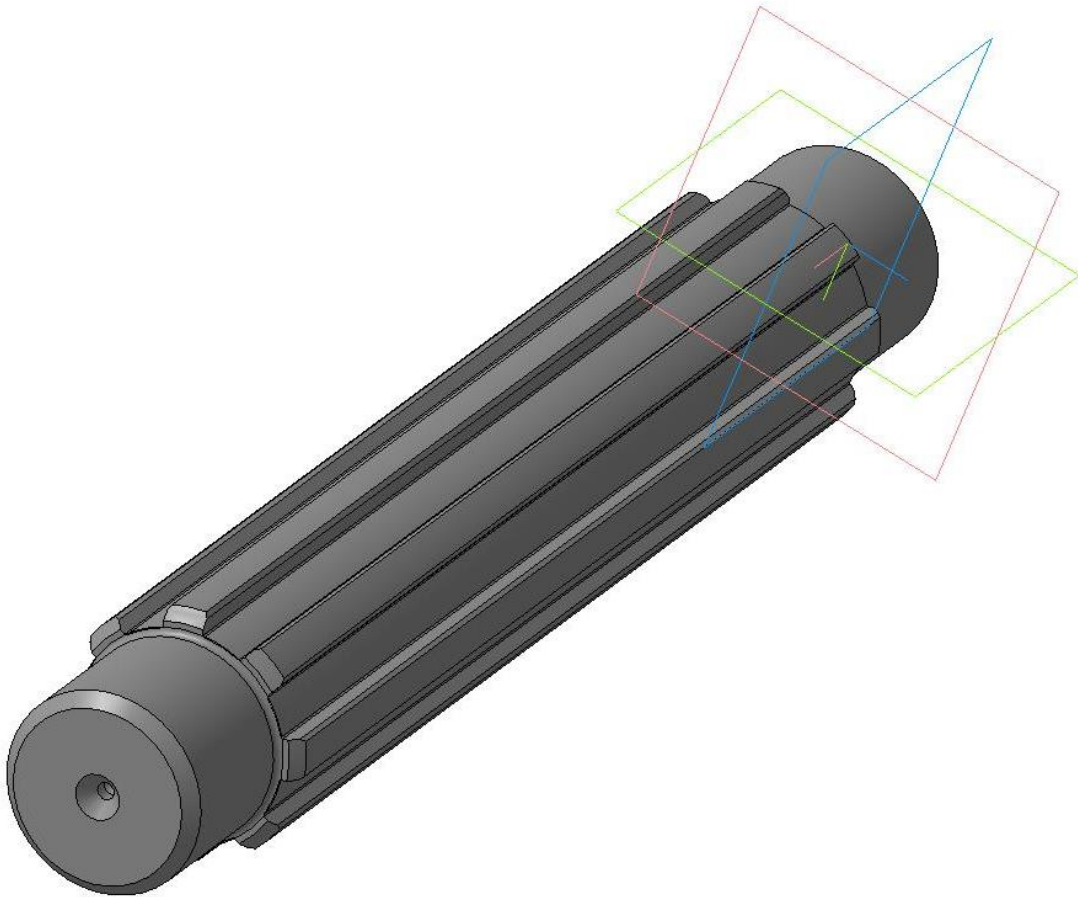


Рис. 7 – Зовнішній вигляд 3D-моделі деталі «Вал шліцьовий» коробки швидкостей токарно-гвинторізного верстата 1А62

Після побудови твердотільної тривимірної моделі деталі вал проміжний шліцьовий за допомогою команди «Новий кресленик з моделі» генеруємо робочий кресленик головного виду валу, розрізи та виносні види. Після цього проставляємо геометричні розміри, відхилення форми поверхні та відхилення взаємного розташування поверхонь та технічні вимоги. Робочий кресленик деталі «Вал шліцьовий» коробки швидкостей токарно-гвинторізного верстата моделі 1А62 зображено на рис. 8.

3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «ВАЛ ШЛІЦЬОВИЙ»

3.1. Аналіз технологічності конструкцій деталі

У сучасному машинобудуванні обробка зняттям стружок навіть у дуже розвинених галузях досягає 30 ... 40% від загальної трудомісткості виробництва машин. Тому технологічність деталі, що піддаються механічній обробці, має велике значення: кожна деталь має бути виготовлена з мінімальними трудовими та матеріальними витратами. Ці витрати можна скоротити в значній мірі від правильного вибору варіантів технологічного процесу, його оснащення, механізації та автоматизації, застосування оптимальних режимів обробки та правильної підготовки виробництва. Чим менша трудомісткість і собівартість виготовлення деталей, тим вона технологічна. На трудомісткість виготовлення деталі надають особливий вплив її конструкція і технічні вимоги на виготовлення.

Деталь, що досліджується відноситься до класу валів.

В цілому деталь технологічна:

- 1) є зручні бази;
- 2) конструкція деталі допускає обробку більшості зовнішніх поверхонь з однієї сторони при одному встановленні;
- 3) безкоштовний доступ до оброблюваних поверхонь ріжучого та вимірювального інструменту;
- 4) простота форм деталі, що забезпечує можливість вибору раціонального методу виготовлення заготівлі, який забезпечує найвищий коефіцієнт використання матеріалу; (в даному випадку прокат на горизонтально-кувальних машинах, або скорочено ГКМ)
- 5) можливість застосування типових технологічних процесів для обробки деталей;
- 6) конструкція деталі допускає одночасну обробку декількох поверхонь.

Однак є і відхилення від технологічності:

- 1) деталь має шліцьові поверхні;
- 2) мають кільцеві радіальні виточки, розташовані на шліцьових ділянках;
- 3) деякі поверхні мають високу точність, зокрема ступені $\text{Ø}85^{+0.025}_{+0.003}$ мм, а отже, трудомісткі у виготовленні і дорогі;
- 4) виконання шліцьовій поверхні, що збільшує трудомісткість її виготовлення.

Залежно від якості матеріалу може подаватися обробка різання по-різному - важче або легше.

Здатність матеріалів піддаватися різанню прийнято називати їх оброблюваністю. Оброблюваність матеріалу тим краще, чим вище швидкість різання, тим менше сил різання і чистіша поверхня, що оброблюється. У більшості випадків за критерієм обробки приймають швидкість різання, що забезпечує деяку найбільш цілеспрямовану в даних умовах стійкість інструменту.

Обробка матеріалу має велику вплив на продуктивність і собівартість готової деталі, а значить, є критерієм оцінки технологічності.

Оброблюваність сталі залежать в основному від структури, вмісту вуглецю та легуючих компонентів. Інтенсивність зносу інструменту збільшується залежно від структури в такій послідовності: ферит, перліт, сорбіт, троїтит. Різкий вплив структур на знос інструменту пояснюється їх твердістю. З збільшенням вмісту вуглецю в сталі, оброблюваність її погіршується, виключаючи чистоту поверхні, яка покращується. З підвищенням вмісту вуглецю знижується теплопровідність сталі, що підвищує температуру різання, збільшується твердість і міцність. Все це приводить до зниження швидкості різання.

Легуючі елементи в сталі (хром, марганець, кремній, вольфрам і т.п.) погіршують оброблюваність, так як знижується теплопровідність, зростають

твердість і міцність. Наявність карбідів також сприяє підвищенню інтенсивності зносу інструменту.

З огляду на все вищезазначене, а також те, що матеріал деталі вуглецева, хромиста сталь 40Х, за технічними умовами має мікроструктуру у відпаленому стані - зернистий перліт, твердість 170 ... 207 НВ, оброблюваність матеріалу деталі різанням в цілому можна визнати задовільною.

Конструкція деталей являє собою шліцьовий вал з числом шліців $z = 8$ шт, і зовнішній діаметр $D = 38$ мм; (рис. 9).

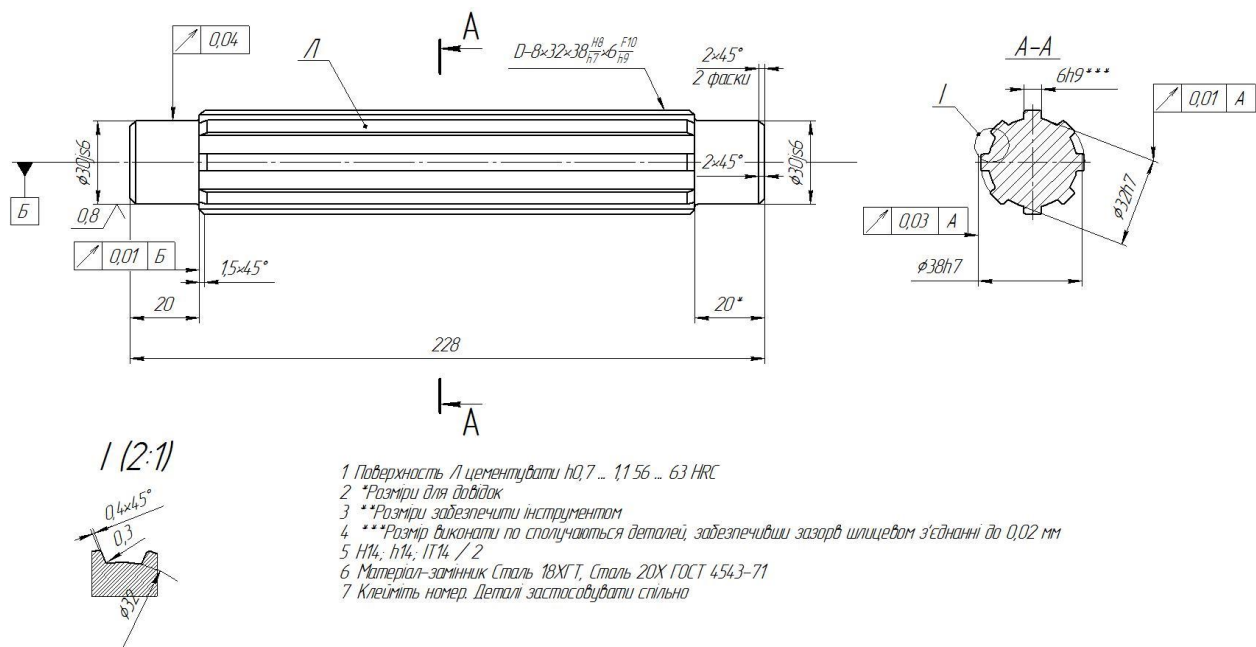


Рис.9 – Вал шліцьовий

Матеріал деталі – сталь 12ХНЗА ДСТУ 7806:2015 [41], вибрано з урахуванням роботи вузла. На деталь діють сили, що змінюються, зокрема на шліцьові ділянки валу.

Спрощення конструкції валу недоцільно - деталь не зможе виконувати своє призначення. Його конструкція має достатню жорсткість, а обробку декількох поверхонь можна здійснювати в один установ.

Спосіб отримання заготовки також є економічно доцільним, що підтверджується коефіцієнтом використання матеріалу. Проаналізувавши

вище розглянута деталь можна зробити висновок, що вона є досить технологічною. Якщо з метою зменшення механічної обробки, відповідно зменшити довжину деяких поверхонь, то деталь не зможе виконувати свою пряме призначення.

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів деталі:

$$K_{y.e.} = \frac{n_{y.e.}}{n_3} = \frac{14}{14} = 1$$

де $n_{y.e.}$ - кількість уніфікованих елементів деталі, шт.

n_3 - загальне число конструктивних елементів, шт.

Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{m.o.} = \frac{K_{n.m.}}{K} = \frac{12}{20} = 0.6$$

де $K_{n.m.}$ - кількість розмірів високої точності обробки.

K - загальне число розмірів обробки.

Коефіцієнт шорсткості поверхні деталі

$$K_{ш.} = \frac{O_{ш.н.}}{O_{ш.о.}} = \frac{17}{21} = 0.809$$

де $O_{ш.н.}$ - кількість поверхонь деталі з не обґрунтованою шорсткістю, шт.;

$O_{ш.о.}$ - загальне число поверхонь деталі, що підлягають обробці, шт.

При опрацюванні деталі на технологічність можна використовувати і інші кількісні показники.

3.2. Визначення типу виробництва

Тип виробництва визначається коефіцієнтом серійності в тому випадку, якщо у заводського технологічного процесу можуть бути обрані штучні часи по всіх операціях.

При відсутності даних по трудомісткості, тип виробництва може бути визначений лише після детальної розробки технологічного процесу.

У цьому випадку тип виробництва встановлюється орієнтовно, в залежності від річної програми запуску деталей і ваги з таблиця 3.

Таблиця 3

Тип виробництва	Кількість оброблюваних на рік деталей одного найменування		
	Важкі більше 300 кг.	Середні від 20 до 300 кг	Легкі до 20 кг
Одиничне	до 5	до 10	до 100
Дрібносерійне	5...100	10...200	200...500
Серійне	100...300	200...1000	500...5000
Багатосерійне	300...1000	1000...5000	5000...50000
Масове	>1000	>5000	>50000

Після розробки технологічного процесу на базі обраного типу виробництва і розрахунку штучного або штучно-калькуляційного часу по всіх операціях визначається коефіцієнт серійності

Оскільки дана деталь не має заводський технологічний процес, слід вищевказана рекомендація, тобто по масі деталі та програмою запуску, приймаємо орієнтовно серійний тип виробництва. Так як, маса деталь $m = 1,58$ кг, а кількість оброблюваних в рік деталі згідно з завданням $N = 5000$ шт.

Розрахуємо такт випуску деталей по формулі:

$$\tau = \frac{F_d \times 60}{N}, \text{ мин/шт}$$

де F_d - дійсний річний фонд часу роботи обладнання в годинах;

N - річна програма випуску деталей в штуках.

Оскільки кількість робочих днів становить 254 день, з урахуванням 8-ми годинний робочий день $F_d = 254 \times 8 = 2032$ години, проводим розрахунок:

$$\tau = \frac{2032 \times 60}{5000} = 24,38$$

Даний тип виробництва має обмежену номенклатуру продукції, що виготовляється або ремонтується періодично партіями, що повторюються, і порівняно великим обсягом випуску.

Багатосерійне виробництво є основним типом сучасного машинобудівного виробництва. По всіх технологічних та виробничих характеристиках багатосерійне виробництво займає проміжну позицію між одиничним і масовим виробництвом.

Характерною ознакою багатосерійного виробництва є виконання на робочих місцях декількох повторюваних операцій.

Технологічна документація та технологічне нормування детально розробляється для найбільш складних і відповідальних заготовок при одночасному застосуванні спрощеної документації та експериментально-статистичного нормування простих заготовок.

При багатосерійному виробництві визначається кількість деталей у партії, одночасно запускаються у виробництво за формулою:

$$n = \frac{N \times f}{Q};$$

де f – необхідний запас деталей на складі (для дрібних 5-10 днів);

Q – число робочих днів в році.

$$n = \frac{5000 \times 8}{254} = 158 \text{ шт}$$

Так як вище не був вибраний коефіцієнт серійності, прийнятий тип виробництва вимагає подальшого уточнення.

3.3. Техніко-економічне дослідження методів отримання заготовки

На підставі аналізу можливих методів отримання заготовки вибираємо два з них з урахуванням конструкції деталі та типу виробництва.

Вибираємо для порівняння заготовки з прокату і штампування на горизонтально-кувальній машині. [2, стр.31]

Обрані методи оцінюють:

- по вартості заготовок;
- по ступені використання металу.

3.3.1. Розрахунок вартості заготовки з прокату

Якщо деталь виготовляється з прокату, то витрати на заготівлі визначається за вагою прокат, що вимагається на виготовленні деталі, і вага здається стружка [2, стр. 31].

$$S_{\text{заг}} = QS - (Q - q) \frac{S_{\text{відх}}}{1000},$$

де Q_1 – маса заготовки, кг; $Q = 43,6$ кг;

S – вартість 1 кг матеріалу заготовки, грн.; $S = 1,96$ грн.

q – маса готової деталі, кг; $q = 26,6$ кг;

$S_{\text{відх}}$ – вартість 1т відходів, грн .; $S_{\text{відх}} = 950$ грн.

Підставляючи вихідні та табличні дані, отримуємо:

$$S_{\text{заг}} = 43,6 * 1,96 - (43,6 - 26,6) \frac{950}{1000} = 67,13 \text{ грн.}$$

3.3.2. Розрахунок вартості заготовки, отриманої методом гарячого об'ємного штампування на ГKM

Рівень складності С2, точність виготовленні поковки - клас Т4, група стали М2.

Вартість даної заготівля визначає за формулою [2, стр. 33]:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} Q k_T k_C k_B k_M k_{\Pi} \right) - (Q - q) \frac{S_{\text{отх}}}{1000},$$

де C_i – базова вартість одної тони заготовок, грн.; $C_i = 1960$ грн.;

Q – маса заготовки, кг; $Q_2 = 32,4$ кг;

q – маса готової деталі, кг; $q = 26,6$ кг;

$S_{\text{отх}}$ – вартість 1т відходів, тобто; $S_{\text{отх}} = 950$ грн.

$k_T, k_C, k_B, k_M, k_{\Pi}$ – коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу і обсягу виробництва заготовок відповідно. [2, стр. 36].

Підставляючи вихідні та табличні дані, отримуємо:

$$S_{заг} = \left(\frac{1960}{1000} 32,4 \cdot 1,05 \cdot 1,18 \cdot 0,77 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \right) - (32,4 - -26,6) \frac{950}{1000} = 31,64 \text{ г}$$

рн.

Визначимо одну з самих головних характеристик вибору методу виробництва заготовок - коефіцієнт використання матеріалу:

$$\eta_{Mi} = \frac{q}{Q_i},$$

де q – маса готової деталі, кг; $q = 26,6$ кг;

Q_i – маса заготовки, кг;

$$\eta_{M1} = \frac{26,6}{43,6} = 0,61;$$

$$\eta_{M2} = \frac{26,6}{32,4} = 0,82.$$

Висновок: за результатами техніко-економічного дослідження, де порівнювалося - отримання заготовок на горизонтально-кувальній машині (метод 1) та заготівлі, отримані з прокату (метод 2), було визначено, що з економічної точки зору отримання заготовок другого методу більш економічно і значно простіше. Але якщо подивитися на це з іншого боку - при механічній обробці заготовки, отриманої на ГКМ, коефіцієнт використання матеріалу значно вище, що заощаджує велику кількість металу, що йде в стружку при обробці заготівлі з прокату, що цілком може закрити витрати на штампування заготівлі. Так само в порівнянні з прокатом об'ємне штампування має такі переваги:

1. Велика однорідність і точність заготовок;
2. Можливість отримання заготовки, форма якого більш приближена до форми деталі;
3. Висока якість поверхонь;
4. На одній штампі залежно від складності, матеріалу, маси заготівлі та способу штампування можна виготовляти від 10 до 25 тис. Погоні, тобто в нашому випадку можна буде випускати 3 - 4 партії не змінивши штамп.

Розглядаючи всі переваги та недоліки, можна зробити висновок, що більш доцільно використовувати заготовку, отриману методом гарячого об'ємного штампування на горизонтально-кувальній машині.

3.4. Проектування технологічного процесу механічної обробки деталей

Розробку маршрутного технологічного процесу починаємо з розгляду базового (заводського) варіанту технологічного процесу і на виготовлення деталі «Вал шліцьовий».

Таблиця 4

№	Найменування операції, переходу	Найменування верстата, модель	Умовне позначення баз
1	2	3	4
005	Фрезерно-центрувальна 1. Фрезерувати торці, вид. р-р 7; 2. Центрувати торці, вид. р-р 1, 2, 3, 4, 5, 6	Фрезерно-центрувальний 2Г942	13
010	Токарна з ЧПК 1. Точить поверхню, вид. р-р 7, 6, 8, 5, 10, 12, 9 2. Точить поверхню, вид. р-р 4, 3, 2, 1, 11 3. Повернути деталь на 180°	Токарний з ЧПК 1740РФ3.У31	1, 13
015	Токарна з ЧПК 1. Точити поверхню, вид. р-р 7, 6, 8, 5, 10, 12, 9 2. Точити поверхню, вид. р-р 4, 3, 2, 1, 11	Токарний з ЧПК 1740РФ3.У31	26, 29
020	Токарно-гвинторізна Правити центра с двох сторін послідовно	Токарно-гвинторізний 16К20	26, 29, 1, 4

1	2	3	4
025	Токарна з ЧПК 1. Точити поверхню, вид. р-р 5, 13, 8, 3, 9, 2, 10, 7, 1, 11 2. Точити поверхню, вид. р-р 12, 4, 6 3. Повернути деталь на 180°	Токарний з ЧПК 1740РФ3.У31	4,1
030	Токарна з ЧПК 1. Точити поверхню, вид. р-р 9, 19, 11, 7, 13, 6, 14, 17, 12, 5 2. Підрізати торець, вид. р-р 1 3. Точити поверхню, вид. р-р 18, 8, 10 4. Точити поверхню, вид. р-р 15, 4, 3, 2, 16	Токарний з ЧПК 1740РФ3.У31	26,29
035	Шліцьофрезерувальна Фрезерувати 8 шліцьов	Шліцьофрезерувальний 5А352ПФ11	2, 28
040	Токарно-гвинторізна Правити центра з двох сторін попередньо	Токарно-гвинторізний 16К20	26,29,1,4
045	Круглошліфувальна Шліфувати поверхню з підшліфовкою торцю, вид. р-р 1, 2	Круглошліфувальний 3М152	2,28
050	Круглошліфувальна 1. Шліфувати поверхню, вид. р-р 1 2. Полірувати поверхню, вид. р-р 1	Круглошліфувальний 3М152	2,28
055	Круглошліфувальна Шліфувати поверхню, вид. р-р 1	Круглошліфувальний 3М152	2,28
060	Шліцьошліфувальна Шліфувати 8 шліцьов	Шліцьошліфувальний 3М451В	2,28
065	Контрольна	Контрольний стіл	

Пропонований маршрутний технологічний процес на виготовлення вал шліцьового.

Таблиця 5

№	Найменування операції, переходу	Найменування верстата, модель	Умовне позначення баз
1	2	3	4
005	Фрезерно-центрувальна 1. Фрезерувати торці, вид. р-р 7; 2. Центрувати торці, вид. р-р 1, 2, 3, 4, 5, 6	Фрезерно-центрувальний 2Г942	4,1
010	Токарна гідрокопіровальна полуавтоматна 1. Точити поверхню, вид. р-р 7, 6, 8, 5, 10, 12, 9 2. Точити поверхню, вид. р-р 4, 3, 2, 1, 11 3. Повернути деталь на 180°	Токарний гідрокопіровальний полуавтомат 1Б732	1,2,28
015	Токарна гідрокопіровальна полуавтоматна 1. Точить поверхню, вид. р-р 7, 6, 8, 5, 10, 12, 9 2. Точить поверхню, вид. р-р 4, 3, 2, 1, 11	Токарний гідрокопіровальний полуавтомат 1Б732	1, 2, 28
020	Токарно-гвинторізна Правити центра с двох сторін послідовно	Токарно-гвинторізний 16К20	1, 2, 28
025	Токарна гідрокопіровальна полуавтоматна 1. Точити поверхню, вид. р-р 5, 13, 8, 3, 9, 2, 10, 7, 1, 11 2. Точити поверхню, вид. р-р 12, 4, 6 3. Повернути деталь	Токарний гідрокопіровальний полуавтомат 1Б732	1,2,28
035	Шліцьофрезерувальна Фрезерувати 8 шліцьов	Двошпindelний шліцьофрезерувальний верстат ЗИП7273	1,2,6
040	Токарно-гвинторізна Правити центра з двох сторін послідовно	Токарно-гвинторізний 16К20	1, 2, 28

1	2	3	4
045	Круглошліфувальна Шліфувати поверхню з підшліфуванням торця, вид. р-р 1, 2	Круглошліфувальний 3М152	1,2,28
050	Круглошліфувальна Шліфувати поверхню, вид. р-р 1 Полірувати поверхню, вид. р-р 1	Круглошліфувальний 3М152	1,2,28
055	Шліцьошліфувальна Шліфувати 8 шліцьов	Шліцьошліфувальний 3М451В	1,2,28
060	Контрольна	Контрольний стіл	1,2,28

3.5. Обґрунтування вибору технологічних баз

При виборі чистових баз необхідно користуватися принципом постійності, сумісності та єдності технологічних баз. Необхідно враховувати, що забезпечує точність розташування поверхонь, взаємозв'язаних технічними умовами, складніше, ніж точність обробних розмірів.

При суміщенні конструкторської та технологічної бази, є можливість рівномірно розподілити припуски на обробку відповідальних поверхонь, обумовлює більш повне використання ріжучого інструменту, високу продуктивність обробки за рахунок використання оптимальних режимів різання, підвищення точності обробки на остаточних операціях.

Чернову технологічну базу обирають за наступними правилами:

- в комплект чорнових технологічних баз включають поверхні, що залишилися після обробки деталей у чорновому вигляді;
- враховуються поверхні, з яких при подальшій обробці повинен бути знятий рівномірний припуск, тобто, оброблені поверхні по 7-8 квалітету;
- забезпечити правильне відносне положення чорнових і чистих поверхонь;
- отримати рівномірну структуру поверхневого шару у оброблених поверхнях.

Зокрема, деталь починають обробляти з підготовки чистових технологічних баз, тобто є, фрезерування торців.

Чистові базами є центральні отвори. Чернові бази - це необроблена зовнішня поверхня.

3.6. Розрахунок припусків на механічну обробку

Розраховуємо припуски на обробку і проміжні розміри на поверхню $\varnothing 30k6^{+0.015}_{+0.002}$ шліцьовий вал. На інші оброблювані поверхні призначити припуски і допуски по ГОСТ 7505-55. Заготовка - штампування на ГКР, група точності- 2, маса заготовки - 2 кг.

Технологічний маршрут обробки складається з точіння чорного і чистового і шліфування чорного і чистового. Точіння і шліфування ведеться в центрах. Розрахунок припусків на обробку поверхні ведемо складанням табл. 6, в яку послідовно записується технологічний маршрут обробки поверхні і всі значення елементів припуску ρ .

Сумарне значення R_z та T , що характеризує кількість поверхонь заготовок, складає 150 мкм и 250 мкм відповідно. Далі параметри R_z та T , досягається після механічної обробки зовнішніх поверхонь, та визначається аналогічно.

Так як обробка ведеться в центрах, то похибка установки в радіальному напрямку дорівнює нулю, що має значення для розраховується розміру. У цьому випадку ця величини виключається з основної формули для розрахунку мінімального припуску, і у відповідній графі можна не включати в розрахунковій таблиці.

Сумарне відхилення:

$$\rho_z = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2 + \rho_{ц}^2},$$

де $\rho_{см} = 1.0$ мм - похибка заготовки по зміщенню;

$\rho_{кор} = \Delta_k * l = 1 * 255 = 0,26$ мм - похибка заготовки по коробленню;

Δ_k – питома кривизна заготовки на 1 мм довжини, мкм;

$$\rho_{ц} = \sqrt{\left(\frac{\delta_3}{2}\right)^2 + 0,25^2}$$

Допуски на поверхню, яка використовується в якості базової на фрезерно-центрувальну операція, за формулою розраховується:

$$\delta_3 = H_{ед} + I_{ш} + K_y,$$

де $H_{ед} = 2,0$ мм - елемент допуску по недоштампуванні;

$I_{ш} = 1,0$ мм – елемент допуску по зносу штампів;

$K_y = 1,0 * 60 = 60$ мкм = 0,06 мм – коливання усадки

$$\delta_3 = 2,0 + 1,0 + 0,06 = 3,06 \text{ мм} = 3,0 \text{ мм}$$

$$\rho_{ц} = \sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^2 + 0,25^2} = 1,52 \text{ мм}$$

$$\rho_3 = \sqrt{1,0^2 + 0,26^2 + 1,52^2} = 1,84 \text{ мм}$$

Залишкова величина просторового відхилення:

$$\text{Після чорнової точіння } \rho_1 = 0,06 + 1840 = 110 \text{ мкм}$$

$$\text{Після чистового точіння } \rho_2 = 0,04 + 1840 = 74 \text{ мкм}$$

$$\text{Після чорнового шліфування } \rho_3 = 0,02 + 1840 = 37 \text{ мкм}$$

Розрахунок мінімальних значень припусків виробляємо, користуючись основною формулою:

$$2 \cdot Z_{\min} = (R_{Z(i-1)} + T_{(i-1)} + \Delta_{\Sigma(i-1)}) \cdot 2,$$

Мінімальний припуск:

$$\text{Під чорнове точіння: } 2 \cdot Z_{\min 1} = (150 + 250 + 1840) \cdot 2 = 2 \cdot 2240 \text{ мкм.}$$

$$\text{Під чистове точіння: } 2 \cdot Z_{\min 2} = (50 + 50 + 110) \cdot 2 = 2 \cdot 210 \text{ мкм.}$$

$$\text{Під чорнове шліфування: } 2 \cdot Z_{\min 3} = (30 + 30 + 74) \cdot 2 = 2 \cdot 134 \text{ мкм.}$$

$$\text{Під чистове шліфування: } 2 \cdot Z_{\min} = (10 + 20 + 37) \cdot 2 = 2 \cdot 67 \text{ мкм.}$$

Графа «Розрахунковий розмір» d_p заповнюється, починаючи з кінцевого (креслярського) розміру, шляхом послідовного додавання розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу:

$$d_{p3} = 60,002 + 0,134 = 60,136 = 60,14 \text{ мм}$$

$$d_{p2} = 60,14 + 0,268 = 60,408 = 60,41 \text{ мм}$$

$$d_{p1} = 60,41 + 0,420 = 60,830 = 60,83 \text{ мм}$$

$$d_{p3} = 60,83 + 4,480 = 65,31 \text{ мм}$$

Записавши у відповідній графі розрахункової таблиці значення допусків на кожен технологічний перехід і заготовку, в графі «Найменший граничний розмір» визначаємо їх значення для кожного технологічного переходу, округляючи розрахункові розміри збільшенням їх значенням. Округлення виробляємо до того ж знака десяткового дробу, з яким дано допуск на розмір для кожного переходу.

Найбільші граничні розміри обчислюємо додатком допуску до округленому найменшому граничного розміру:

$$d_{\max 4} = 60,002 + 0,02 = 60,022 \text{ мм}$$

$$d_{\max 3} = 60,14 + 0,03 = 60,17 \text{ мм}$$

$$d_{\max 2} = 60,41 + 0,12 = 60,53 \text{ мм}$$

$$d_{\max 1} = 60,9 + 0,4 = 61,3 \text{ мм}$$

$$d_{\max 3} = 65,31 + 3,0 = 68,3 \text{ мм}$$

Граничні значення припусків Z_{\max}^{np} визначаємо як різницю між найбільшим граничним розміром та Z_{\min}^{np} – як різницю найменших граничних розмірів попередніх і виконуваних переходів:

$$2Z_{\max 4}^{np} = 60,17 - 60,022 = 0,148 \text{ мм} = 148 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\max 3}^{np} = 60,53 - 60,17 = 0,36 \text{ мм} = 360 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\max 2}^{np} = 61,3 - 60,53 = 0,77 \text{ мм} = 770 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\max 1}^{np} = 68,3 - 61,3 = 7,00 \text{ мм} = 7000 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\min 4}^{np} = 60,14 - 60,002 = 0,138 \text{ мм} = 138 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\min 3}^{np} = 60,41 - 60,14 = 0,27 \text{ мм} = 270 \text{ мкм}$$

Таблиця 6

Розрахунок припусків та граничних розмірів за технологічними переходами на обробку поверхні $\varnothing 30_{+0.002}^{+0.015}$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 30_{+0.002}^{+0.015}$	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, мкм	Граничний розмір, мм		Граничне значення припуску, мкм	
	R _Z	T	ρ				2Z _{min}	d _p	δ	d _{min}
Заготовка	150	250	1840		65,31	3000	65,31	68,3		
Точіння: -чорнове	50	50	110	2·2240	60,83	400	60,9	61,3	4410	7000
- чистове	30	30	74	2·210	60,41	120	60,41	60,53	490	770
Шліфування: -чорнове	10	20	37	2·134	60,14	30	60,14	60,17	270	360
-чистове	5	15		2·67	60,002	20	60,002	60,02	138	148

$$2Z_{\min 2}^{np} = 60,9 - 60,41 = 0,49 \text{ мм} = 490 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\min 1}^{np} = 65,31 - 60,9 = 4,41 \text{ мм} = 4410 \text{ мкм}$$

Основаючись на даних розрахунків будуємо схему графічного розміщення припусків і допусків по обробці поверхні $\varnothing 60_{+0.002}^{+0.021}$.

3.7. Розрахунок режимів різання аналітичним методом

Конструкція деталі допускає обробку площини на прохід. Доступ інструмента до обробленої поверхні вільний. Є площини, розташовані паралельно і перпендикулярно. Вони мають достатні розміри, що дозволяє використовувати їх як основні поверхні. Жорсткість заготовки достатня.

Конструкція деталі та її параметри дозволяють вести обробку на фрезерно-центрувальному верстаті типу 2Г943. Установчі та приєднувальні розміри його столу достатні для встановлення та закріплення пристосування з деталями, а силовий привід і характеристики повністю забезпечує режими різання, точність та якість обробки поверхонь.

Проведемо розрахунок режимів різання на прикладі переходу фрезерування торців заготовки.

1. Визначимо тип і основні габарити ріжучого інструменту (фрези)

Торцева насадна фреза має наступні геометричні параметри: $D = 160$ мм; $d = 40H7$ мм; $Z = 16$; матеріал фрези Т15К6. [2, стр.237].

2. Визначаємо основні режими різання

Розрахунок довжини робочого ходу $L_{р.х.}$ та середньої ширини фрезерування $b_{ср}$ здійснюється за формулами:

$$L_{р.х.} = L_{рез.} + y;$$

У випадку, що розглядається $L_{рез.} = 70$ мм.

При симетричному фрезеруванні торцевими фрезами:

$$y_{врез.} = D - \sqrt{D^2 - b^2} / 2 = 160 - \sqrt{160^2 - 54.95^2} / 2 = 84.86 \text{ мм},$$

де $b_{ср} = F / L_{рез.}$;

$F = \pi \cdot R^2$ – площа поверхні, що фрезерується;

$$b_{ср} = 3,14 \cdot 35^2 / 70 = 54,95 \text{ мм}.$$

$$\text{Тоді: } L_{р.х.} = L_{рез.} + y = 70 + 84.86 = 154.86 \text{ мм}.$$

3. Визначаємо за нормативами подачу на зуб фрези S_z

За таблицями в залежності від твердості та глибини різання визначаємо, що $S_z = 0,15$ мм/зуб [2].

Розрахунок подачі на оборот шпинделю:

$$S_o = S_z \cdot Z_{\phi} = 0,15 \cdot 16 = 2,4 \text{ мм/об}.$$

4. Визначаємо стійкість інструменту T_p за нормативами

Залежно від типу фрези і її діаметр вибирає стійкість інструменту $T_p = 250$ хв [2].

5. Визначення розрахункової швидкості різання, числа оборотів шпинделю та хвилинної подачі

Визначення рекомендованих нормативних швидкостей різання:

У випадку, що розглядається $V_{табл.} = 240$ м/хв.

$$V_{расч.} = V_{табл.} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 ;$$

де $K_1 = 1,0$ – коефіцієнт, що залежить від розмірів обробки;

$K_2 = 0,9$ – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу;

$K_3 = 0,75$ - коефіцієнт, що залежить від стійкості і матеріалу інструменту.

$$V_{\text{расч.}} = V_{\text{табл.}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 240 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 162 \text{ м/хв.}$$

6. Розрахунок чисел обертів шпинделя, що співвідносні з рекомендованими швидкостями різання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 162}{3,14 \cdot 160} = 322,45 \text{ об/хв.}$$

Призначення числа обертів шпинделя верстата перевіряємо за паспортом. Згідно з паспортом верстата обираємо $n_n = 315$ об/хв.

7. Уточнення швидкості різання по прийнятому числу обертів шпинделя:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = 160,79 \text{ м/хв.}$$

8. Визначення величини окружної сили різання при фрезеруванні:

$$P_z = \frac{C_p \cdot t^x \cdot p \cdot S^y \cdot p \cdot B_u \cdot P \cdot Z}{D^q \cdot p \cdot n^w \cdot p} \cdot K_p,$$

де Z – число зубів фрези;

n – число обертів фрези, хв.;

X, y, n, q, w - коефіцієнти і показники ступеня у формулі наведені в довіднику.

$$P_z = \frac{825 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 0,15^{0,75} \cdot 70^{1,1} \cdot 16}{160^{1,3} \cdot 315^{0,2}} = 273,48 \text{ Н.}$$

3.8 Проектування карт технологічних наладок

У якості прикладу на рис. 10 наведено карту технологічної наладки для операції 005 – фрезерно-центрувальна. Інформація, яка подана на ній, є достатньою для виконання наладки обладнання.

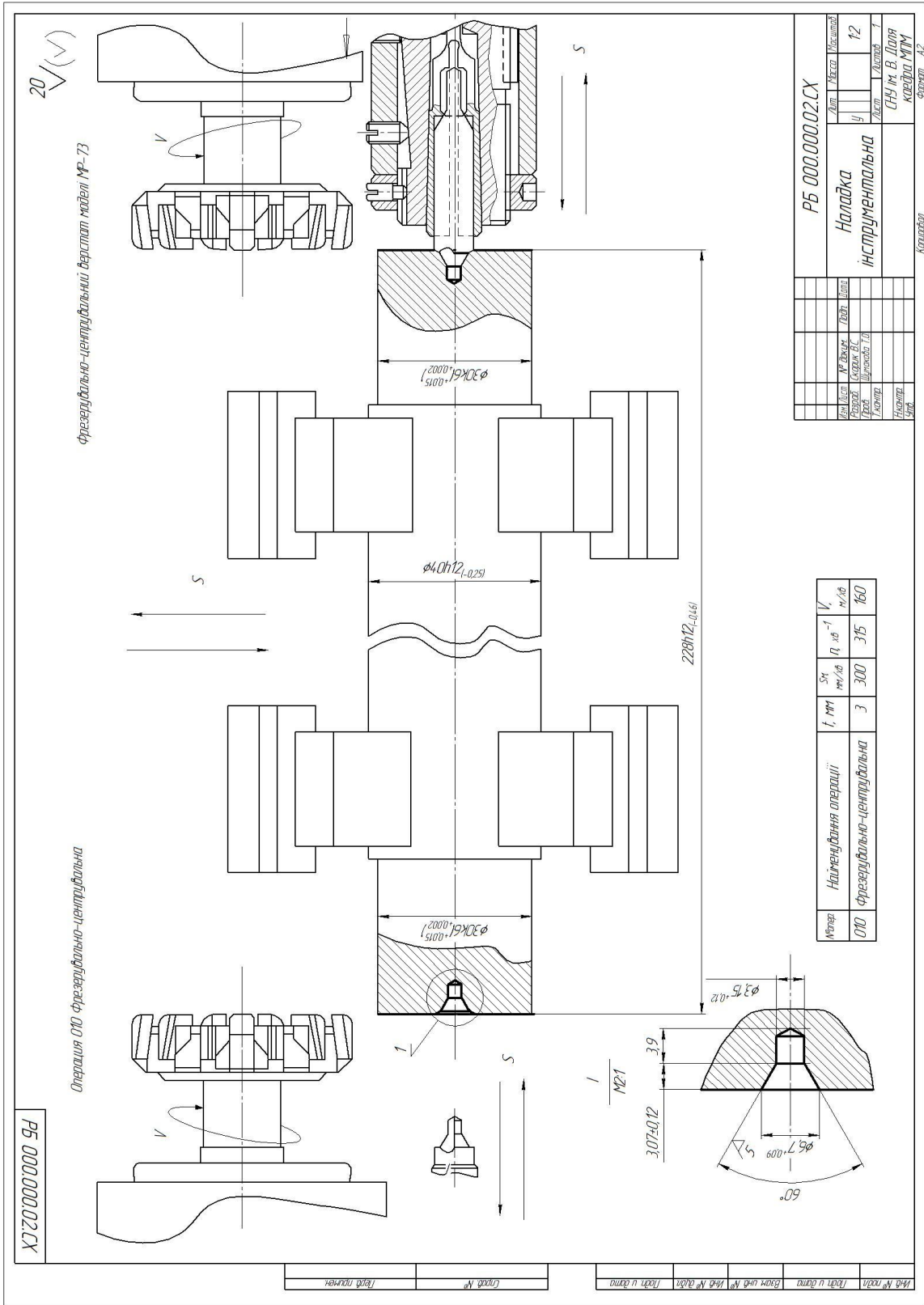


Рис. 10 Карта технологічної наладки

Висновки

В ході виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було спроектовано вхідний шліцьовий вал коробки швидкостей токарно-гвинторізного верстату на базі моделі 1А62. Також було розроблено технологічний процес виготовлення цієї деталі з виконанням креслеників заготовки та технологічної наладки на фрезерно-центрувальну операцію.

Так в першому розділі проекту було відображено відомості про технологічне обладнання, що розглядалося в бакалаврській роботі, а саме токарно-гвинторізний верстат на моделі 1А62. Наведено його кінематичну схему, основні технічні характеристики та повздовжнє та поперекове компонування його коробки швидкостей.

Другий розділ містить основні відомості про шліцьовий вал коробки швидкостей верстата, його призначення, конструктивні особливості, наведено проектний розрахунок валу з визначенням розмірів всіх ступенів валу.

У технологічній частині кваліфікаційної роботи бакалавра було спроектовано маршрутний технологічний процес механічної обробки деталі «Вал шліцьовий». При проектуванні були визначені: тип виробництва, обрано вид заготовки та метод її отримання, було розраховано основні розміри заготовки з наступним виконанням її робочого кресленника. Також були виконані розрахунки режимів різання аналітичним та табличним методом.

В ході виконання кваліфікаційної роботи бакалавра були отримані практичні навички конструювання вузлів технологічного обладнання на прикладі коробки швидкостей фрезерувального верстата. На прикладі розробки технологічного процесу механічної обробки деталі «Вал шліцьовий» отримано практичний досвід визначення раціональних режимів різання, вибору різальних інструментів, верстатів та оснащення з

урахуванням закономірності процесу різання для отримання необхідної якості продукції. Отримано навички представлення результатів своєї інженерної діяльності з дотриманням загальноприйнятих норм і стандартів у вигляді робочих креслеників деталі, заготовки та технологічного налагодження, що дозволить в майбутньому успішно використовувати отримані знання при виконанні на виробництві конструкторських та технологічних завдань.

Рекомендована література

1. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова и др. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 912 с.
2. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова и др. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 944 с.
3. Горбацевич А.Ф. Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Минск: Высшэйш. шк., 1983. – 256 с.
4. Расчет экономической эффективности новой техники: справочник / К.М. Великанова и др. Ленинград: Машиностроение, 1990. – 512 с.
5. Балабанов А.Н. Краткий справочник технолога – машиностроителя. Москва: Издат. Стандартов, 1992. – 462 с.
6. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 1. Нормативы времени. – М.: Экономика, 1990. – 206 с.
7. Общемашиностроительные нормативы режимов резания резцами с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин. Обработка на станках с ЧПУ. – М.: НИИМаш, 1978. – 56 с.
8. Руденко П.А., Харламов Ю.А., Плескач В.М. Проектирование и производство заготовок в машиностроении. Киев: Вища школа, 1991. 361 с.
9. Технология машиностроения / Егоров М.Е. и др. Москва: Высшая школа, 1976. – 534 с.
10. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для

технического нормирования станочных работ. Серийное производство. Москва: Машиностроение, 1974. – 136 с.

11. Технология машиностроения (специальная часть) / А.А. Гусев и др. Москва: Машиностроение, 1986. – 480 с.

12. Егоров М.Е. Основы проектирования машиностроительных заводов. Москва: Высшая школа, 1969. – 480 с.

13. Допуски и посадки. Справочник / под ред. В.Д. Мягкова. Ленинград: Машиностроение, 1978. – 1032 с.

14. Маталин А.А. Технология машиностроения. Ленинград: 1985. 496с.

15. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарно-сборочные и слесарные работы при сборе машин. Массовое и крупносерийное производства. Москва: Машиностроение, 1973. – 143 с.

16. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. Т1. – 8-е изд., перераб и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.

17. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. Т2. – 8-е изд., перераб и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. М.: Машиностроение, 2001. – 912 с.

18. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия. Москва: Изд-во стандартов, 1989. – 24 с.

19. ГОСТ 12080-66. Концы валов цилиндрические. Основные размеры, допускаемые крутящие моменты. Москва: Изд-во стандартов, 1966. – 18 с.

20. ГОСТ 20889-88. Шкивы для приводных клиновых ремней нормальных сечений. Основные технические условия. Москва: Изд-во стандартов, 1988. – 17 с.

21. ГОСТ 8338-75. Подшипники шариковые радиальные однорядные. Основные размеры. Москва: Изд-во стандартов, 1975. – 12 с.

22. Решетов Д.Н. Детали машин. Москва: Машиностроение, 1989. – 496 с.

23. Курсовое проектирование деталей машин: учебн. пособие для учащихся машиностроительных специальностей техникумов / С.А. Чернавский, и др. Москва: Машиностроение, 1988. – 416 с.

24. Киркач Н.Ф. Баласанян Р.А. Расчет и проектирование деталей машин: учеб. пособие для вузов. Харьков, Основа, 1991. – 276 с.

25. Введение в Creo Parametric. *Интерактивная справка Creo Parametric* : веб-сайт. URL: http://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/russian/index.html#page/tutorials_pma/tutorials_overview.html#wwconnect_header (дата звернення: 28.04.2020).

26. Глухих В.Н. Расчет и проектирование валов на примере двухступенчатого зубчатого редуктора: Метод. указания по курсовому проектированию деталей машин для студентов всех специальностей очной и заочной форм обучения. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2011. – 46 с.

27. Пижов І.М. Розробка технологічного процесу на прикладі виготовлення ступінчастого вала редуктора: Навчально-методичний посібник для виконання конструкторсько-технологічних розділів дипломного проекту бакалавра студентами спеціальності «Прикладна механіка» (спеціалізація «Інтегровані технології машинобудування») денної, заочної та дистанційної форм навчання / І.М. Пижов. – Х.: НТУ «ХП», 2018. – 91 с.

28. Дерібо О.В. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин. Частина 1: практикум / Дерібо О.В., Дусанюк Ж.П., Репінський С.В. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 114 с.

29. Дерібо О.В. Технологія машинобудування. Курсове проектування / Дерібо О.В., Дусанюк Ж.П., Пурдик В. П. – Вінниця, 2012. – 122 с. Електронний ресурс: http://www.vstu.vinnica.ua/ua/inst/inmt/site_tam/.

30. Технология машиностроения : в 2 кн. / [Жуков Э. Л., Козарь И. И., Мурашкин С. Л. и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. М. : Высшая школа, 2003. – Кн. 1 : Основы технологии машиностроения – 2003. – 278 с.

31. Технология машиностроения: учебник для машиностроительных специальностей вузов / [Якимов А. В., Царюк В. Н., Якимов А. А. и др.]; под ред. А. В. Якимова. – Одесса : Астропринт, 2001. – 608 с.

32. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий: ГОСТ 3.1109-82 – [Чинний від 1983-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 14 с.

33. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий: ГОСТ 14.004-83 – [Чинний від 1983-07-01]. – М.: Стандартиформ, 2005. – 8 с.

34. Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению документов на типовые и групповые технологические процессы (операции): ГОСТ 3.1121-84. – [Чинний від 1986-01-01]. – М.: Стандартиформ, 2006. – 46 с.