

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»

Вплив температури на точність діаметральних розмірів  
при свердлінні кронштейну 6520Ф3-75.00.15

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти

групи ІМм-21

Ільчук Роман Вікторович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Божко Тетяна Євгенівна

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

к.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:

Четвержук Тарас Іванович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Луцьк – 2025 року

Луцький національний технічний університет

Факультет Транспорту та механічної інженерії  
Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки  
Другий (магістерський) рівень  
освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»  
Спеціальність 131 Прикладна механіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Р. РЕДЬКО  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

\_\_\_\_\_ Ільчука Романа Вікторовича \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Вплив температури на точність діаметральних розмірів при свердлінні кронштейну 6520Ф3-75.00.15», керівник кваліфікаційної роботи магістра Божко Тетяна Євгенівна к.т.н., доц. каф. ПМіМ затверджені наказом вищого навчального закладу від «14» червня 2025 р., № 391/01-07
2. Строк подання студентом роботи 1.12.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: звіт з переддипломної практики, технічна документація кронштейна 6520Ф3-75.00.15, креслення деталі кронштейн 6520Ф3-75.00.15, нормативні дані.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
1. Загальний розділ. 2. Технологічний розділ. 3. Конструкторський розділ. 4. Науковий розділ.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Креслення заготовки 1л - ф.А1; Пристрій верстатний складальне креслення 1л - ф.А1; Пристрій для контролю складальне креслення 1л - ф.А2; Карта налагодження 2л - ф.А2.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 01.07.2025 р.Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис)**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1.	<i>Загальний розділ</i>	<i>22.10.2025</i>	
2.	<i>Конструкторський розділ</i>	<i>1.11.2025</i>	
3.	<i>Технологічний розділ</i>	<i>12.11.2025</i>	
4.	<i>Науковий розділ</i>	<i>22.11.2025</i>	
5.	<i>Представлення роботи до захисту</i>	<i>29.11.2025</i>	
6.	<i>Електронний варіант кваліфікаційної роботи магістра</i>		

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)Ільчук Р.В.  
(прізвище та ініціали)Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)Божко Т.Є.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Ільчук Р. В. Вплив температури на точність діаметральних розмірів при свердлінні кронштейну 6520Ф3-75.00.15 – Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття кваліфікації другого (магістерського) рівня вищої освіти із спеціальності 131 Прикладна механіка. – Луцький національний технічний університет. – Луцьк, 2025.

Актуальність дослідження теплофізичних процесів у механічній обробці зумовлена тим, що теплота, яка виділяється під час різання, істотно впливає на навантаження різального інструмента, його довговічність, а також на якість і точність отримуваних поверхонь. Для ефективного застосування процесів різання та раціонального використання інструмента необхідно глибоко розуміти механізми утворення та розподілу теплоти в різних зонах — у деталі, інструменті, стружці, а також знати температури на контактних поверхнях і характер температурного поля в зоні деформації та в області ріжучої кромки. Тому аналіз фізичних процесів у зоні різання при обробці отворів і розроблення на цій основі рекомендацій для підвищення точності шляхом зменшення похибки поперечного профілю отвору є важливою науково-прикладною проблемою в галузі різання.

У роботі розглянуто закономірності зміни точності обробки під впливом температури різання під час свердління отворів. Наведено математичну модель залежності точності від температурних умов процесу.

Розроблено технологічний процес механічної обробки кронштейну 6520Ф3-75.00.15. Спроектовано пристрій для фрезерування та розроблено пристрій для контролю перпендикулярності площин.

Ключові слова: технологічний процес, свердління, отвір.

## ANNOTATION

Ilchuk R. V. The influence of temperature on the accuracy of diametrical dimensions when drilling a bracket 6520F3-75.00.15 – Manuscript.

Master's qualification work for obtaining a qualification of the second (master's) level of higher education in the specialty 131 Applied Mechanics. – Lutsk National Technical University. – Lutsk, 2025.

The relevance of the study of thermophysical processes in mechanical processing is due to the fact that the heat released during cutting significantly affects the load on the cutting tool, its durability, as well as the quality and accuracy of the resulting surfaces. For the effective application of cutting processes and rational use of the tool, it is necessary to deeply understand the mechanisms of heat generation and distribution in different zones - in the part, tool, chips, as well as to know the temperatures on the contact surfaces and the nature of the temperature field in the deformation zone and in the area of the cutting edge.

Therefore, the analysis of physical processes in the cutting zone during hole processing and the development of recommendations on this basis for increasing accuracy by reducing the error of the transverse profile of the hole is an important scientific and applied problem in the field of cutting.

The paper considers the patterns of changes in machining accuracy under the influence of cutting temperature during hole drilling. A mathematical model of the dependence of accuracy on temperature conditions of the process is presented.

A technological process for machining the bracket 6520Φ3-75.00.15 has been developed. A device for milling has been designed and a device for controlling the perpendicularity of planes has been developed.

Keywords: technological process, drilling, hole.

	ЗМІСТ	стр.
	Вступ.....	7
1	Загальний розділ.....	9
1.1	Стан питання та постановка задач магістерської роботи.....	9
1.2	Аналіз об'єкта виробництва.....	12
1.3	Аналіз технологічності конструкції деталі.....	13
1.4	Визначення типу та організаційної форми виробництва.....	16
2	Технологічний розділ.....	19
2.1	Пропозиції по вдосконаленню технологічного процесу.....	19
2.2	Вибір та економічне обґрунтування методу отримання заготовки .....	22
2.3	Вибір методу обробки поверхонь.....	24
2.4	Розрахунок припусків .....	25
2.5	Розрахунок режимів різання і технологічного обладнання.....	30
2.6	Нормування технологічного процесу.....	35
3	Конструкторський розділ.....	41
3.1	Верстатний пристрій для фрезерування.....	41
3.2	Пристрій для контролю .....	48
4	Науковий розділ.....	49
4.1	Проведення експерименту.....	49
4.2	Дослідження впливу температури різання на точність діаметральних розмірів при свердлінні .....	53
	Висновки.....	59
	Список використаних джерел.....	61
	Додаток.....	63
	.	

## ВСТУП

*Актуальність проблеми.* У світовому машинобудуванні постійно зростають вимоги до якості та конкурентоспроможності продукції. Сьогодні активно запроваджуються технології обробки матеріалів із використанням високотехнологічних процесів, прецизійного обладнання та високоточної вимірювальної апаратури.

Вивчення теплофізичних процесів під час механічної обробки є актуальним, оскільки теплота, що утворюється в процесі різання, значною мірою впливає на навантаження на різальний інструмент, його зносостійкість, а також на якість і точність геометричних параметрів оброблюваних поверхонь. Для ефективного застосування процесу різання та раціонального використання інструменту необхідно розуміти закономірності виникнення та розподілу теплоти на різних ділянках деталі, інструменту й стружки, а також знати температуру на контактних поверхнях інструменту та характеристику температурного поля в зоні деформації й ріжучого клину.

Отже, дослідження процесів у зоні різання під час обробки отворів і створення на цій основі практичних рекомендацій щодо підвищення точності оброблення отворів шляхом зменшення похибок їх поперечного профілю є важливим науковим і прикладним завданням у сфері обробки різанням.

*Мета і задачі дослідження.* Метою цієї роботи є підвищення точності та продуктивності свердління отворів залежно від температурних умов процесу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати літературні джерела з метою виявлення проблем, пов'язаних із забезпеченням якості поверхневого шару деталей конструкційного призначення під час свердління;
- здійснити експериментальні дослідження впливу температури різання на стан поверхневого шару матеріалу при свердлінні, враховуючи різні режими обробки.

*Об'єктом дослідження* - технологічний процес свердління кронштейну 6520Ф3-75.00.15

*Предмет дослідження* – закономірність зміни точності обробки від температури при свердлінні кронштейну 6520Ф3-75.00.15

Методологія дослідження ґрунтується на системному підході до аналізу та опису об'єкта, а досягнення поставленої мети забезпечується раціональним поєднанням теоретичних і експериментальних методів. Теоретичні дослідження спираються на сучасні положення теорії різання, теплофізики, методи чисельного моделювання, а також на вимоги стандартизації щодо структури й оформлення нормативної документації.

Експериментальні дослідження проведено із застосуванням методів статистичної обробки даних, фізичного моделювання та сучасних методик математичного планування експерименту.

*Наукова новизна.* Експериментально досліджено вплив температури різання на точність обробки при свердлінні отворів. Розроблено математичну модель теплових деформацій деталі в зоні різання, що дозволяє оцінити зміну геометричних параметрів отвору під дією температурних полів.

*Апробація роботи.* Основні положення та результати дослідження були представлені й обговорені на наукових семінарах кафедри «Прикладна механіка і мехатроніка».

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

#### 1.1 Стан питання та постановка задач магістерської роботи

Проблема зниження теплонапруженості під час механічної обробки є вкрай важливою та актуальною для сучасного машинобудування. Це пов'язано насамперед із необхідністю забезпечення бездефектної обробки деталей, підвищенням їхньої якості та експлуатаційної надійності. У теорії та практиці машинобудування цьому питанню приділяється значна увага [7,8,10]. Йому присвячено чимало науково-технічних публікацій і монографій [10]. Створена теплофізична теорія процесів механічної обробки [10, 13] дає можливість математично описати теплові поля, що виникають під час різання в інструменті та заготовці, а також визначати оптимальні режими різання та конструктивні параметри інструментів з урахуванням температурних обмежень.

Зона різання є складною системою утворення та розподілу теплоти, у якій задіяні оброблювана деталь, різальний інструмент, мастильно-охолоджувальне середовище та навколишнє середовище. Відомо, що теплота у процесі різання виникає в результаті таких факторів [12]:

- пластичної деформації матеріалу в зоні зсуву на умовній площині зсуву –  $Q_p$ ;
- тертя стружки об передню поверхню інструмента –  $Q_n$ ;
- тертя оброблюваного матеріалу об задню поверхню інструмента –  $Q_z$ ;
- відриву стружки та диспергування матеріалу –  $Q_{\text{дисп}}$ .

Отже, процес різання характеризується такими особливостями: наявністю теплових явищ у зоні контакту по передній та задній поверхнях інструмента; використанням умовної площини зсуву під час теплових розрахунків; а також дією рухомих і часово обмежених джерел теплоти.

Точний теоретичний розрахунок теплових характеристик процесу механічної обробки — як при ортогональному різанні, так і під час формування отворів осьовим інструментом — є складним завданням. Це пов'язано з

необхідністю врахування великої кількості параметрів процесу різання та складного математичного апарату, потрібного для опису явищ теплоутворення.

Проблематика виділення теплоти під час ортогонального різання докладно висвітлена в працях [12, 18]. Як зазначалося раніше, у процесі різання діє кілька джерел теплоти, кожне з яких характеризується власними межами впливу та закономірностями тепловиділення. Найважливішими вважають три швидкодіючі щодо деталі та стаціонарні щодо інструмента джерела теплоти: тепловиділення  $Q_r$  на умовній площині зсуву АВ, теплота тертя  $Q_z$  на задній поверхні інструмента та частина теплоти  $Q_p$ , що виникає внаслідок тертя стружки об передню поверхню ріжучого інструмента.

З практичного погляду найбільше значення має температура робочої частини інструмента та зони обробки. Експериментальні та розрахункові дані показують, що температура на контактних поверхнях «передня поверхня – стружка» та «задня поверхня – деталь» розподіляється нерівномірно, досягаючи максимуму приблизно в центральній частині зони контакту [10, 13].

Тепловиділення на передній поверхні інструмента визначається силою тертя  $F_p$  між стружкою та інструментом. Основна частина теплоти  $Q_p$  відводиться у стружку  $Q_{sp}$ , а лише невелика частина (3–5 %) переходить у ріжучий інструмент  $Q_{ip}$ . Передавання теплоти в деталь через нижню межу зони деформації можливе лише за низьких швидкостей різання, тому в більшості випадків ним можна знехтувати [18].

Теплота  $Q_z$ , що виникає внаслідок тертя деталі по задній поверхні інструмента, розподіляється між деталлю  $Q_{dz}$  та інструментом  $Q_{iz}$ . Під час обробки матеріалів із низькою теплопровідністю (жароміцні, титанові сплави) у ріжучий інструмент може відводитися 20–40 % загальної кількості теплоти.

У зоні різання має місце складна взаємодія теплових потоків. Наприклад, теплота  $Q_{sr}$ , що надходить у стружку, може частково передаватися назад у інструмент через передню поверхню, додатково його нагріваючи. Згодом частина цієї теплоти переходить у деталь через задню поверхню інструмента [13, 15]. Через таку складну взаємодію математичний опис перенесення теплоти значно ускладнюється. Однак, як зазначено в [18], застосування поняття

сумарного теплового потоку через контактні поверхні інструмента дозволяє істотно спростити задачу, що дає можливість аналізувати теплові режими, враховуючи вплив узагальнених потоків теплоти.

Розподіл теплоти між стружкою, інструментом і деталлю залежить здебільшого від механічних та теплофізичних властивостей матеріалу, геометрії ріжучого інструмента та режимів обробки. Зазвичай у деталь переходить незначна частка теплоти, оскільки стружка швидко формується та виходить із зони різання. Однак при обробці жароміцних сталей і сплавів ця частка може сягати 35–45 % [16]. Якщо знехтувати теплою тертя на задній поверхні, то більша частина теплоти концентрується у стружці. За даними [18], при сталих швидкостях різання розподіл теплоти визначається насамперед роботою різання та теплопровідністю матеріалу.

Автори роботи [13] підкреслюють, що частка теплоти, яка переходить у інструмент, є незначною за будь-яких режимів різання. При обробці крихких матеріалів ця частка ще більше зменшується через відсутність сталого контакту між стружкою та передньою поверхнею. Зі збільшенням швидкості різання кількість теплоти, що відводиться у стружку, зростає, а теплота, яка переходить у деталь та інструмент, зменшується. Це пояснюється зміною співвідношення між швидкістю різання та швидкістю тепловідведення із зони деформації: за низьких швидкостей тепло легко переходить у деталь, а при високих більша його частина залишається у стружці. Крім того, підвищення швидкості різання зменшує ширину зони контакту на передній поверхні інструмента, що також зменшує теплопередачу у інструмент.

Необхідно також враховувати, що температура в зоні різання є нерівномірною: різні точки поверхні інструмента та стружки мають різні температурні значення, і до того ж температура кожної точки може змінюватися з часом.

## 1.2 Аналіз об'єкта виробництва

Верстат 6520Ф3-36 з ЧПК призначений для виконання фрезерувальних операцій за попередньо заданою програмою. На цьому верстаті можливе фрезерування шпонковими, кінцевими, дисковими та торцевими фрезами. Кронштейн є базовою деталлю для дрібніших елементів вузла золотник.

Матеріал деталі – сірий чавун СЧ20 ДСТУ 8833:2019. Його характеристики наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Властивості матеріалу деталі

Марка матеріалу	Механічні властивості			Хімічний склад, %				
	Границя міцності при розтязі, кгс/мм <sup>2</sup>	Границя міцності при згині, кгс/мм <sup>2</sup>	Твердість, НВ	C	Si	Mn	P	S
СЧ20 ДСТУ 8833:2019	21	40	170 ÷ 241	3,3 ÷ 3,5	1,4 ÷ 2,2	0,7 ÷ 1	≤0,2	≤0,15

Сірий чавун характеризується хорошими ливарними властивостями та добре піддається механічній обробці. Крім того, він є вібростійким матеріалом і має порівняно низьку собівартість.

Враховуючи умови роботи вузла, кронштейн повинен забезпечувати надійне функціонування підшипників, важеля та амортизаторів.

Оскільки заготовка кронштейна виготовляється методом лиття і деталь у процесі експлуатації не зазнає ударних навантажень, максимальні радіуси заокруглень приймають рівними 5 мм, що відповідає вимогам до спряження поверхонь і товщини стінок.

Невказані допуски розмірів приймаються симетричними відносно номінального значення в межах установленого допуску, що спрощує забезпечення необхідних розмірів при виготовленні.

## 1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі

Якісний аналіз технологічності конструкції деталі.

Заготовка кронштейна виготовляється литтям із сірого чавуну СЧ20. Форма вилівка є відносно простою. Отвори в деталі литтям не формуються через їх малий діаметр, проте під час литва забезпечується утворення двох пазів та заниження.

Умова мінімальної металоємності для цієї деталі не виконується, оскільки при габаритах до 250 мм мінімальна товщина стінки має становити 3...5 мм. Таким чином, заготовка виходить доволі масивною, а робочі поверхні формуються шляхом механічної обробки.

Аналіз креслення кронштейна показує, що найвищі вимоги висуваються до поверхонь отвору Ø22H8: допуск на співвісність двох отворів — 0,025 мм, допуск на циліндричність — 0,01 мм, допуск на паралельність осі отвору, а також шорсткість  $R_a = 1,25$  мкм. Такі вимоги зумовлені необхідністю забезпечення високої точності встановлення підшипників осі важеля та точного розташування щупів у профілі ходового гвинта.

Щодо допуску на паралельність двох бічних поверхонь у 0,025 мм, його обґрунтованість викликає сумнів. Формально він має гарантувати правильне встановлення підшипників і запобігати їх перекосу. Підшипники впираються своїми зовнішніми кільцями у втулки, що підтискаються кришками, закріпленими безпосередньо на зазначених поверхнях. Теоретично порушення паралельності бокових площин або їх неперпендикулярності до основи могло б спричинити перекриття підшипників, що вплинуло б на плавність руху важеля. Однак, оскільки осьове навантаження на підшипники відсутнє, а отвір виготовлено з високою точністю, перекосу фактично не виникне — достатньо, щоб підшипник мав хоча б одну точку опори у кришку. Тому доцільно збільшити допуск на паралельність бокових поверхонь до 0,1 мм.

У цілому конструкція деталі дозволяє виконувати фрезерування всіх площин на прохід. Найскладнішою є обробка занижень, особливо на бічних поверхнях, де інструмент не може виходити в радіальному напрямку, що пов'язано з вимогою збереження певної «герметичності» цих зон.

Усі отвори мають просту геометрію і можуть бути оброблені з одного встановлення. Висока жорсткість деталі виключає необхідність обмежувати режими різання.

Конструкція кронштейна забезпечує достатні за розміром базові поверхні, тому потреба в додаткових допоміжних базах відсутня.

Кількісний аналіз технологічності конструкції деталі.

Для розрахунку показників технологічності складаємо таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Дані для розрахунку показників технологічності

№ п/п	Конструктивний елемент деталі	К-сть поверх.		К-сть уніфік. поверх.		Квалітет		Шорсткість, мкм	
		Б	М	Б	М	Б	М	Б	М
1	Нижній уступ	1	1	-	-	10	10	2,5	6,3
2	Бокова сторона	2	2	2	2	8	12	1,25	6,3
3	Верхній уступ	1	1	-	-	12	12	6,3	6,3
4	Паз вертикальний	1	1	-	-	12	12	6,3	6,3
5	Паз горизонтальний	1	1	-	-	12	12	6,3	6,3
6	Торець малий	1	1	-	-	12	12	6,3	6,3
7	Торець з пазом	1	1	-	-	12	12	6,3	6,3
8	Отвір підшипника	2	2	2	2	8	8	1,25	1,25
9	Отвір під роз'єм	1	1	-	-	12	12	12,5	12,5
10	Отвір Ø16	1	1	-	-	12	12	12,5	12,5
11	Заниження верхнє	1	1	-	-	12	12	6,3	6,3
12	Заниження бокове	2	2	2	2	12	12	6,3	6,3
13	Отвір Ø6H7	1	1	-	-	7	7	0,63	0,63
14	Отвір Ø6H8	1	1	-	-	8	8	1,25	1,25
15	Отвір Ø8H8	1	1	-	-	8	8	1,25	1,25
16	Отвір кріплення	4	4	4	4	12	12	12,5	12,5
17	Паз	4	4	4	4	10	10	6,3	6,3
Всього		60		48					

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів для базової та модифікованої конструкції деталі є однаковим, оскільки кількість уніфікованих поверхонь збільшити не вдається:

$$K_{ун}^B = K_{ун}^M = Q_{ye} / Q_e,$$

де,  $Q_{ye}$  - кількість уніфікованих елементів конструкції;

$Q_e$  - загальна кількість елементів конструкції.

$$K_{ун}^B = K_{ун}^M = 48 / 60 = 0,8.$$

Коефіцієнт точності обробки для базової та модифікованої конструкції деталі:

$$K_T = 1 - \frac{1}{A_m},$$

де,  $A_m$  - середньозважена точність поверхні деталі.

$$A_m^B = \frac{10 \cdot 11 + 8 \cdot 22 + 12 \cdot 14 + 7 \cdot 13}{60} = 9,083.$$

$$K_T^B = 1 - \frac{1}{9,083} = 0,890.$$

$$A_m^M = \frac{10 \cdot 11 + 8 \cdot 20 + 12 \cdot 16 + 7 \cdot 13}{60} = 9,217.$$

$$K_T^M = 1 - \frac{1}{9,217} = 0,892.$$

Таким чином, технологічність деталі, за рахунок зменшення точності деяких поверхонь, зросла, що підтверджується нерівністю:  $K_T^M > K_T^B$ .

Коефіцієнт шорсткості поверхонь для базової і модифікованої конструкції деталі:

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{B_{cp}},$$

де,  $B_{cp}$  - середньозважена шорсткість поверхонь деталі.

$$B_{cp}^B = \frac{2,5 \cdot 1 + 1,25 \cdot 5 + 6,3 \cdot 18 + 12,5 \cdot 6 + 0,63 \cdot 1 + 3,2 \cdot 28}{60} = 4,810.$$

$$K_{ш}^B = 1 - \frac{1}{4,810} = 0,792.$$

$$B_{cp}^M = \frac{2,5 \cdot 1 + 1,25 \cdot 4 + 6,3 \cdot 20 + 12,5 \cdot 6 + 0,63 \cdot 1 + 3,2 \cdot 28}{60} = 4,979.$$

$$K_{III}^M = 1 - \frac{1}{4,979} = 0,799.$$

Оскільки  $K_{III}^M > K_{III}^B$ , то по показнику  $K_{III}$  модифікована конструкція є також більш технологічна.

Таким чином, результати зміни конструктивних характеристик елементів деталі слід внести у її креслення для одержання більш технологічної конструкції, а отже й економічного ефекту.

#### 1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва

Для двозмінної роботи 41-годинному робочому тижневі дійсний фонд часу роботи устаткування становить 4015 годин.

Такт випуску деталей визначається за формулою:

$$\tau = 60 \cdot F_{\partial} / N,$$

де,  $F_{\partial}$  - дійсний річний фонд часу роботи устаткування, год;

$N$  - річна програма випуску деталей, шт.

Отже такт випуску деталей:

$$\tau = 60 \cdot 4015 / 40000 = 6,023 \approx 6(\text{хв}).$$

Кількість одиниць технологічного обладнання:

$$C_{pi} = \frac{T_{um} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}},$$

де,  $C_{pi}$  - розрахункова кількість технологічного обладнання;

$T_{um}$  - штучний час на операцію, хв.;

Послідовність виконання операцій і результати нормування наведені в таблиці 1.4.

Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання визначається за формулою:

$$\eta_{з.ф.і.} = C_{pi} / C_{ni},$$

де,  $C_{pi}$  і  $C_{ni}$  - відповідно розрахункове і прийняте значення кількості одиниць технологічного обладнання.

Кількість операцій, закріплених за одним робочим місцем визначається за формулою:

$$O_i = \eta_{zn} / \eta_{zfi},$$

де,  $\eta_{zn}$  - нормативний коефіцієнт завантаження устаткування, приймаємо  $\eta_{zn} = 0,85$ .

Таблиця 1.4 – Результати розрахунку типу виробництва

№ п/п	№ опер.	Назва операції	$T_{шт}$ , хв	$C_p$	$C_\phi$		$\eta_\phi$		O
					попер. знач.	кінц. знач.	попер. знач.	кінц. знач.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	010	Вертикально-фрезерна	2,3	0,382	1	1	0,382	0,714	2
2	025	Вертикально-фрезерна	2,0	0,332	1		0,332		
3	030	Вертикально-фрезерна	3,0	0,498	1		0,498		1
4	040	Вертикально-фрезерна	3,3	0,548	1		0,548		1
5	015	Вертикально-фрезерна	4,7	0,780	1		0,780		1
6	020	Горизонтально-фрезерна	3,0	0,498	1		0,498		1
7	045	Горизонтально-фрезерна	4,0	0,664	1		0,664		1
8	050	Горизонтально-фрезерна	3,6	0,598	1		0,598		1
9	035	Плоскошліфувальна	3,0	0,498	1		0,498		1
10	055	Фрезерна з ЧПК	10,0	1,660	2		0,83		1
11	060	Фрезерна з ЧПК	14,0	2,325	3		0,775		1
12	065	Фрезерна з ЧПК	3,3	0,548	1		0,548		1
13	070	Фрезерна з ЧПК	2,7	0,448	1		0,448		1
14	075	Координатко-розточна	9,0	1,494	2		0,747		1
15	080	Свердлильна з ЧПК	6,0	0,996	1		0,996		1

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8
16	085	Вертикально-свердлильна	2,8	0,465	1	0,465	1
17	090	Вертикально-свердлильна	2,4	0,399	1	0,399	1
		Всього	79,1	-	20	-	17

Отже,

$$K_{з.о.} = 17 / 20 = 0,85.$$

Тип виробництва – масовий.

Добова програма випуску деталей:

$$N_{\partial} = N / D,$$

де  $D$  - річна кількість робочих днів,  $D = 254$ ;

$N$  - річна програма випуску деталей.

Отже,

$$N_{\partial} = 40000 / 254 = 158(\text{деталей}).$$

Добова продуктивність одно номенклатурної потокової лінії:

$$Q_{\partial} = (r \cdot F_c \cdot K_{з.л.}) \cdot \left( \sum_{i=1}^r T_{umi} \right)^{-1},$$

де  $r$  - кількість операцій технологічного процесу;

$F_c$  - добовий фонд часу роботи обладнання,  $F_c = 952 \text{ хв}$ ;

$K_{з.л.}$  - коефіцієнт завантаження потокової лінії,  $K_{з.л.} = 0,6$ .

$$Q_{\partial} = (17 \cdot 952 \cdot 0,6) \cdot (79,1)^{-1} = 122(\text{деталі}).$$

Отже, згідно розрахунків  $N_{\partial} > Q_{\partial}$ , доцільно використовувати потокову лінію, безперервну.

Висновки. Загальний аналіз опублікованих досліджень дає підстави стверджувати, що методи оцінювання якості та забезпечення точності отворів у машинобудуванні мають важливе наукове й практичне значення. Встановлено, що частка технологічного оснащення з оригінальними елементами для багатоопераційних верстатів становить близько 40%, а витрати на його виготовлення сягають 70–80% вартості всього верстата. Такі дані підкреслюють

актуальність дослідження факторів, які впливають на точність обробки деталей на багатоопераційних верстатах за різних технологічних схем.

Розглянутий у випускній магістерській роботі кронштейн належить до корпусних деталей. Було виконано якісний і кількісний аналіз конструктивної технологічності деталі, а також визначено тип і організаційну форму виробництва.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

#### 2.1 Пропозиції по вдосконаленню технологічного процесу

Наявний технологічний процес виготовлення деталі (табл. 1.2) є ефективним для підприємства, під можливості та обладнання якого він був розроблений. Однак за умови створення нового виробництва обробку деталі можна зробити економічнішою.

Аналізуючи запропонований процес, розрахований на серійне виробництво, слід зазначити, що використовуване обладнання за своїми технічними характеристиками у більшості операцій суттєво перевищує реальні потреби: потужність, хід робочих органів, розміри робочого простору та габарити. Це призводить до збільшення витрат на електроенергію і займану виробничу площу. Наприклад, операцію 075 — обробку отвору Ø22H8, яка виконується на координатно-розточному верстаті, доцільніше здійснювати на горизонтально-розточному, що є дешевшим, або навіть на стандартному вертикально-свердлильному верстаті, який займає менше місця та має нижчу собівартість години роботи.

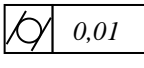
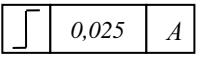
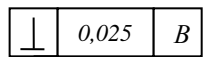
У наявному процесі заготовку виготовляють литтям у піщані форми з ручною формовкою за дерев'яними моделями. Більш раціональним способом може бути лиття в піщані форми з використанням механізованої або машинної формовки, що скоротить витрати часу та забезпечить кращу якість поверхонь заготовки.

Щодо послідовності операцій, технологічний процес побудований за типовою схемою для такого виду деталей: спочатку обробка чистових баз, потім — основних відповідальних поверхонь, далі — допоміжних отворів. При проектуванні витримано принцип єдності технологічних баз.

Таблиця 2.1 – Відомий технологічний процес виготовлення деталі

№ опер	Назва та зміст операції	Обладнання	$T_{ум}$ , хв
1	2	3	4
005	Ливарна		
010	Вертикально-фрезерна Фрезерувати площину основи начисто	Вертикально-фрезерний верстат мод. 6P13	2,3
015	Вертикально-фрезерна Фрезерувати бокові поверхні деталі до розміру 75,6 з перевстановленням деталі (0,3 – припуск під шліфування)	Вертикально-фрезерний верстат мод. 6P13	4,7
020	Горизонтально-фрезерна Фрезерувати торці деталі до розміру 176 з перевстановленням деталі	Горизонтально-фрезерний верстат мод. 6P83	3,0
025	Вертикально-фрезерна Фрезерувати верхню поверхню деталі до розміру 88	Вертикально-фрезерний верстат мод. 6P13	2,0
030	Вертикально-фрезерна Фрезерувати уступ до розміру 41x46	Вертикально-фрезерний верстат мод. 6P13	3,0
035	Плоскошліфувальна Шліфувати бокові поверхні до розміру 75, витримати $\perp$ 0,06 до нижньої поверхні і $\parallel$ 0,025 B	Плоскошліфувальний верстат мод. 3Б722	3,0
040	Вертикально-фрезерна Фрезерувати уступ в площині основи до розміру 56x41, витримавши Ra=2,5 (фрезерувати начорно і начисто)	Вертикально-фрезерний верстат мод. 6P13	3,3

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
045	Горизонтально-фрезерна Фрезерувати паз 28x88 в торці деталі до розміру 24 від поверхні уступу і 23,5 від бокової поверхні	Горизонтально-фрезерний верстат мод. 6P83	4,0
050	Горизонтально-фрезерна Фрезерувати паз 28x35 у верхньому уступі деталі	Горизонтально-фрезерний верстат мод. 6P83	3,6
055	Фрезерна з ЧПК Фрезерувати заниження в бокових поверхнях по програмі	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК мод. ЛФ260МФ3	10
060 065	Фрезерна з ЧПК Фрезерувати заниження у верхній поверхні, пази: під гвинти кріплення по програмі	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК мод. ЛФ260МФ3	14 3,3
070	Фрезерна з ЧПК Фрезерувати отвори під гвинти кріплення по програмі	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК мод. ЛФ260МФ3	2,7
075	Координатно-розточна Розточити отв. $\varnothing 22H8(+0,033)$ , витримуючи  ,  і 	Координатно-розточний верстат мод. 2B440	9,0
080	Свердлильна з ЧПК Обробити додаткові отвори	Вертикально-свердлильний верстат з ЧПК мод. 2P135Ф2	6,0

## Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
085	Вертикально-свердлильна Свердлити 2 отвори Ø5 напрохід в отв. Ø16	Вертикально- свердлильний верстат мод. 2Н125	2,8
090	Вертикально-свердлильна Свердлити отв. Ø6Н8 до Ø5,8 розвернути отв. до Ø6Н8 (+0,018) витримуючи розмір $35 \pm 0,1$	Вертикально- свердлильний верстат мод. 2Н125	2,4

## 2.2 Вибір та економічне обґрунтування методу отримання заготовки

Оскільки матеріал деталі сірий чавун СЧ20, маса – 3,7 кг, річна програма випуску – 40000 шт – заготовку виготовляємо литтям.

Це можна зробити двома способами, які забезпечують досить високу точність виливка і, порівняно, зменшують об'єм механічної обробки:

- литтям в кокіль;
- литтям в оболонкові форми.

Обидва методи можуть забезпечити 12 квалітет точності деталі і параметр шорсткості деталі Rz20, хоча другий з них є дещо точніший.

Собівартість заготовки, отриманої литтям знаходиться за формулою:

$$S_{заг} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{II} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх}}{1000};$$

де  $C_i$  - базова вартість 1 т заготовки, грн.;

$Q$  - маса заготовки, кг;

$q$  - маса готової деталі, кг;

$S_{відх}$  - ціна 1 т відходів, грн.;

$K_T$  - коеф., який вказує на точність відливки;

$K_C$  - коеф., який вказує на групу складності відливки;

$K_B$  - коеф., який вказує на масу відливки;

$K_M$  - коеф., який вказує на марку матеріалу;

$K_{II}$  - коеф., який вказує на об'єм виробництва.

Група складності вилівка визначається за коефіцієнтом габаритного об'єму  $K_V$ :

$$K_V = ABB/Q,$$

де  $A, B, B$  - габаритні розміри вилівка, мм;

$Q$  - маса вилівка, кг.

Класи точності заготовок отриманих литтям:

- в кокіль – 9Т;

- в оболонкові форми – 7Т.

Ряд припусків для вилівоків, виготовлених першим чи другим методом – 2.

Виходячи з допусків розмірів деталі визначається основні припуски на механічну обробку. Результати розрахунку розмірів заготовок зведемо в таблицю 2.2.

Густина чавуну  $\rho = 7,52/см^3$ .

Об'єм заготовки виготовленої литтям в кокіль:

$$V_1 = 182,4 \cdot 80,6 \cdot 52,6 + 52 \cdot 80,6 \cdot 34 - 35,4 \cdot 23,8 \cdot 52 - 23,8 \cdot 35,4 \cdot 53 - 61 \cdot 34,4 \cdot 46,4 = 729966,2 мм^3 \approx 730 см^3.$$

Об'єм заготовки виготовленої литтям в оболонкові форми:

$$V_2 = 180 \cdot 78,4 \cdot 50,5 + 49,8 \cdot 78,4 \cdot 34 - 35,2 \cdot 25 \cdot 49,8 - 25 \cdot 32,5 \cdot 53 - 60,9 \cdot 34,4 \cdot 46,4 = 657415,1 мм^3 \approx 657,4 см^3.$$

Таблиця 2.2. – Розрахунок розмірів заготовок

Розмір деталі, мм	Допуск, мм		Припуск, мм		Розмір заготовки, мм	
	9Т	7Т	9Т	7Т	9Т	7Т
176	2,2	1,1	3,2	2,0	182,4	180
75	1,8	0,9	2,8	1,7	80,6	78,4
88	1,8	0,9	2,8	1,7	93,6	91,4
47	1,6	0,8	2,8	1,8	52,6	50,5
52	1,6	0,8	-2,8	-1,8	46,4	48,4
34	1,4	0,7	-2,4	-1,5	34,4	34,3

61	1,6	0,8	-2,8	-1,8	61	60,9
28	1,4	0,7	-2,4	-1,5	23,8	25
32	1,4	0,7	-2,4	-1,5	32,8	32,5
35	1,4	0,7	-2,4	-1,5	35,4	35,2
46	1,6	0,8	2,8	1,8	52	49,8

Відповідно маси заготовок:

$$m_1 = 730 \cdot 7,5 = 5475 \text{ г} = 5,48 \text{ кг},$$

$$m_2 = 657,4 \cdot 7,5 = 4930,5 \text{ г} = 4,93 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт габаритного об'єму рівний:

$$K_V = 1,80 \cdot 0,784 \cdot 0,914 / 4,93 = 0,262.$$

Отже, група складності вилівка – 2.

Ціна 1т відходів для чавуну становить 248 грн.

Собівартість заготовок

$$S_1 = \left( \frac{126500}{1000} \cdot 5,48 \cdot 1,1 \cdot 0,83 \cdot 0,91 \cdot 1,04 \cdot 0,76 \right) - (5,48 - 3,70) \cdot \frac{248}{1000} = 451 \text{ грн};$$

$$S_2 = \left( \frac{198500}{1000} \cdot 4,93 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,83 \right) - (4,93 - 3,7) \cdot \frac{248}{1000} = 371 \text{ грн}.$$

Як видно з розрахунків дешевшим в даному випадку є виготовлення заготовки литтям в оболонковій формі, не враховуючи низької стійкості коків для чавунного лиття і їх значної вартості.

### 2.3 Вибір методу обробки поверхонь

Технологічні методи обробки вибираються за умови забезпечення «уточнення» геометричних параметрів заготовки до рівня відхилень, установлених допусками на готову деталь. Для визначення можливості досягнення необхідної точності користуються розрахунковим уточненням, яке дозволяє кількісно оцінити зміну точності на кожній технологічній операції та обґрунтувати вибір оптимального методу обробки:

$$\varepsilon_p = T_s / T_d,$$

де,  $T_3$  і  $T_0$  - відповідно, допуски на означену характеристику точності заготовки і деталі.

Кількість необхідних переходів:

$$m = \lg \varepsilon_p / 0,46,$$

Проміжні значення уточнень рівні:

$$\varepsilon_1 = T_3 / T_1, \varepsilon_2 = T_1 / T_2, \dots \varepsilon_i = T_{i-1} / T_i,$$

Фактичне уточнення:

$$\varepsilon_\phi = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \dots \cdot \varepsilon_i \geq \varepsilon_p,$$

Кінцеві методи обробки встановлюються виходячи з потрібної точності і шорсткості поверхні. По аналогії приймаємо попередні методи обробки та квалітет і допуск розміру. Розрахунок методів оброблення поверхні 22 (рис. 1.1) отвору  $\varnothing 8H8^{(+0,022)}$  зведений в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок методів оброблення поверхні

Назва поверхні та метод оброблення	Ra, мкм	Квалітет	Допуск, мм		Уточнення	
			Позначення	Величина	Формула	Значення
1	2	3	4	5	6	7
Поверхня 22 $\varnothing 8H8^{(+0,022)}$	1,25	8	$T_0$	22	$\varepsilon_p = T_3 / T_0$	4,090
Заготовка (після свердління)	10	11	$T_3$	90	$\varepsilon_1 = T_3 / T_1$	2,5
Розвертання	2,5	9	$T_1$	36	$\varepsilon_2 = T_1 / T_2$	1,636
Розвертання	1,25	8	$T_2$	22	$\varepsilon_\phi = \prod_1^2 \varepsilon_i$	4,091

#### 2.4 Розрахунок припусків

За заготовку прийнято виліток отриманий литтям в оболонковій формі. Для цього способу лиття рекомендується класи точності 5T – 11 та ряди припусків 1 – 3.

Враховуючи простоту форми заготовки, невеликі габаритні розміри та марку матеріалу, приймається:

- клас точності вилівка – 7Т;
- ряд припусків – 2.

Для визначення форми і розмірів вилівка приймається оболонкова ливарна форма на  $n$  вилівоків з площиною роз'єму по поверхні 5 (рис. 1.1), в якій поверхня 2 формується в одній півформі, поверхні 1, 6 – в другій півформі.

Визначення припусків на механічну обробку і розмірів заготовок зведемо в таблицю 2.4.

Додатковий припуск призначається тільки для розмірів, половину припуск яких перевищує більше з відхилень похибок розміщення, тобто величина зсуву окремих елементів вилівка  $\pm 0,5\text{мм}$ .

Для отвору 16 Ø22Н8 визначимо аналітичним методом.

Оскільки даний отвір в заготівельній операції не виконується, то просторове відхилення  $\rho$  становить:

- після свердління  $\rho_1 = 60\text{мкм}$ ;
- після зенкерування чорнового  $\rho_2 = 40\text{мкм}$ ;
- після зенкерування чистового  $\rho_3 = 6\text{мкм}$ .

Значення досягнутої шорсткості Rz і глибини дефектного шару T визначимо згідно таблиць.

Похибка встановлення визначається за формулою:

$$\varepsilon_{\sigma} = \sqrt{\varepsilon_{\sigma}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2},$$

де,  $\varepsilon_{\sigma}$  - похибка базування;

$\varepsilon_3$  - похибка закріплення;

$\varepsilon_{np}$  - похибка положення заготовки в пристрої.

Для одно позиційної обробки  $\varepsilon_{np} = 0$ , а  $\varepsilon_{\sigma} = \sqrt{\varepsilon_{\sigma}^2 + \varepsilon_3^2}$ .

Оскільки установча і технологічна бази при обробленні отвору співпадають, то  $\varepsilon_{\sigma} = 0$ . Отже  $\varepsilon_{\sigma} = \varepsilon_3 = 90\text{мкм}$ . Отримаємо:

- після свердління  $\varepsilon_1 = \varepsilon_3 = 90\text{мкм}$ ;

- після зенкерування чорнового  $\varepsilon_2 = 0,06 \cdot 90 = 5 \text{ мкм}$ ;

- після зенкерування чистового  $\varepsilon_3 = 0,04 \cdot 90 = 4 \text{ мкм}$ .

Визначені дані зводимо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок припусків і розмірів заготовки

Технологічні переходи	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{\min}$ , мкм	Розрахунковий розмір $d_p$ , мм	Допуск $\delta$ , мкм	Граничне значення розміру, мм		Граничне значення припуску, мм	
	$R_Z$	$T$	$\rho$	$\varepsilon$				$d_{\min}^{zp}$	$d_{\max}^{zp}$	$2Z_{\min}^{zp}$	$2Z_{\max}^{zp}$
1. Свердління	40	60	60	90	-	21,533	0,210	21,320	21,530	-	-
2. Зенкерування чорнове	50	-	40	5	$2 \cdot 0,16$	21,853	0,052	21,801	21,853	0,323	0,481
3. Зенкерування чистове	30	-	6	4	$2 \cdot 0,09$	22,033	0,033	22,000	22,033	0,180	0,199
Всього										0,503	0,680

На основі зведених у таблицю 2.4 даних проводимо розрахунки припусків і розмірів результати яких також заносяться у дану таблицю.

Мінімальний припуск для обробки отвору визначається за формулою:

Значення мінімального припуску визначаємо за формулою:

$$2Z_{\min} = 2 \left( R_{Z_{i-1}} + T_{l_{i-1}} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right),$$

де,  $R_{Z_{i-1}}$  - шорсткість, досягнута на (i-1)-му переході, мкм;

$T_{l_{i-1}}$  - глибина дефектного шару, отримана на (i-1)-му переході;

$\rho_{i-1}$  - просторове відхилення, отримане на (i-1)-му переході;

$\varepsilon_i$  - похибки встановлення на i – му переході, мкм;

Для зенкерування чорнового:

$$2Z_{\min 2} = 2 \left( 40 + 60 + \sqrt{60^2 + 5^2} \right) = 2 \cdot 0,16 \text{ мм}.$$

Для зенкерування чистового:

$$2Z_{\min 3} = 2\left(50 + \sqrt{40^2 + 4^2}\right) = 2 \cdot 0,09 \text{ мм}.$$

Розрахункові розміри:

- після зенкерування чистового:

$$d_{p3} = d_{\max} = 22,033 \text{ мм};$$

- після зенкерування чорнового і свердління відповідно:

$$d_{p2} = d_{p3} - 2Z_{\min 3} \text{ і } d_{p1} = d_{p2} - 2Z_{\min 2}.$$

Отже,

$$d_{p2} = 22,033 - 2 \cdot 0,09 = 21,853 \text{ мм}, \text{ а } d_{p1} = 21,853 - 2 \cdot 0,16 = 21,533 \text{ мм}.$$

Граничні розміри.

Найбільші значення отримуємо по розрахункових розмірах, округлених до точності допуску відповідного переходу:

$$d_{1\max} = 21,530 \text{ мм};$$

$$d_{2\max} = 21,853 \text{ мм};$$

$$d_{3\max} = 22,033 \text{ мм}.$$

Найменші значення визначаються різницею:

$$d_{i\min} = d_{i\max} - \delta_i, \quad (2.20)$$

де,  $\delta_i$  - величина допуску розміру на  $i$ -тому переході.

Отже,

$$d_{1\min} = 21,530 - 0,210 = 21,320 \text{ мм};$$

$$d_{2\min} = 21,853 - 0,052 = 21,801 \text{ мм};$$

$$d_{3\min} = 22,033 - 0,033 = 22,000 \text{ мм}.$$

Найбільші і найменші значення припусків знаходять як різницю відповідно найменших і найбільших розмірів досягнутих на слідуючому і попередньому переходах.

Найбільше значення припусків:

$$2Z_{2\max}^{2p} = 21,801 - 21,320 = 0,481 \text{ мм};$$

$$2Z_{3\max}^{2p} = 22,000 - 21,801 = 0,199 \text{ мм}.$$

Найменші значення припусків:

$$2Z_{2\min}^{2p} = 21,853 - 21,530 = 0,323\text{мм};$$

$$2Z_{3\min}^{2p} = 22,033 - 21,853 = 0,180\text{мм}.$$

Перевіримо правильність виконання розрахунків для одного з припусків:

$$2Z_{i\max}^{2p} - 2Z_{i\min}^{2p} = \delta_{i-1} - \delta_i;$$

$$0,199 - 180 = 0,052 - 0,033.$$

Умова виконується, отже, розрахунки зроблено вірно.

Таблиця 2.5 – Припуски і розміри заготовки

Розмір деталі, мм	Допуск, мм	Основний припуск, мм	Додатковий припуск, мм	Розмір заготовки, мм
75	0,9	1,5	0,1	$78,2 \pm 0,45$
176	1,1	1,7	-	$179,4 \pm 0,55$
41	0,8	1,5	0,1	$44,2 \pm 0,4$
46	0,8	1,3	0,1	$47,7 \pm 0,4$
56	0,8	1,3	0,1	$59,1 \pm 0,4$
28	0,7	1,3	0,1	$25,2 \pm 0,35$
52	0,8	1,3	0,1	$49,2 \pm 0,4$
61	0,8	1,3	0,1	$61,2 \pm 0,4$
34	0,7	1,3	0,1	$34,2 \pm 0,35$
35	0,7	1,3	0,1	$33,6 \pm 0,35$
23,5	0,64	1,3	0,1	$26,5 \pm 0,32$
24	0,64	1,3	0,1	$26,8 \pm 0,32$

Схема розташування припусків наведена на рис. 2.3.

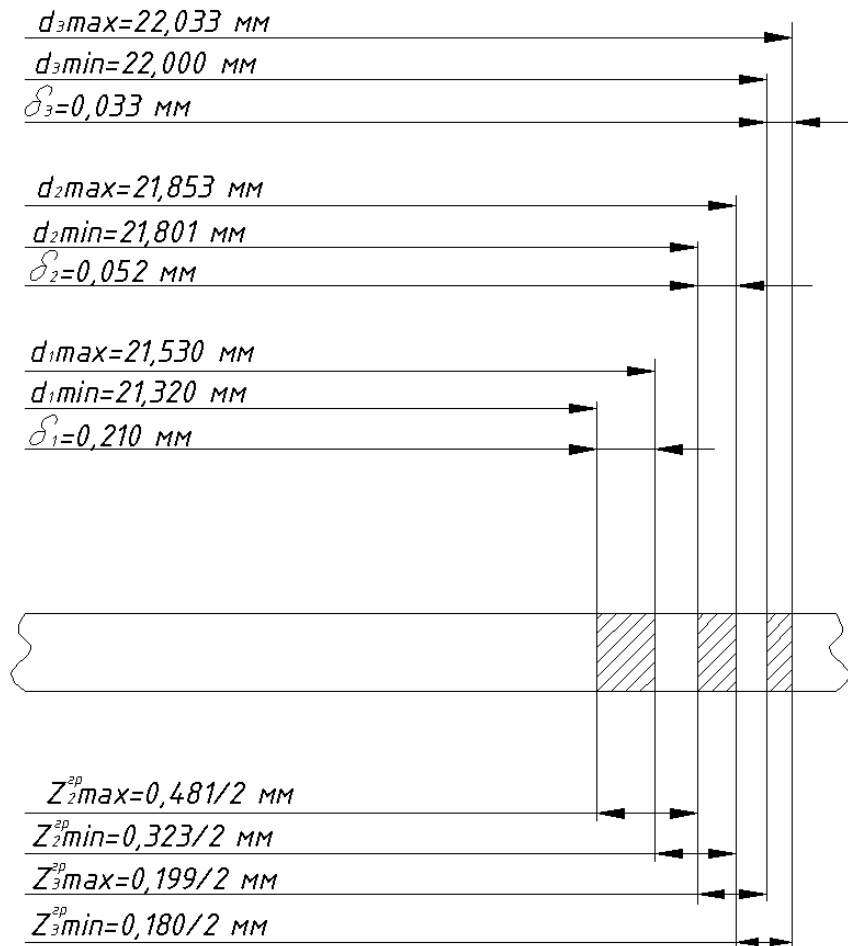


Рисунок 2.3 - Схема розташування припусків і допусків на обробку отвору  $\text{Ø}22\text{H}8 (+0,033)$

Примітка. Отвір при виготовленні заготовки не виготовляється, тому розмір і допуск заготовки в розрахунках і на схемі не фігурує.

Конструкція, розміри та технічні вимоги до виготовлення заготовки вказані на кресленні заготовки.

## 2.5 Розрахунок режимів різання

Проведемо розрахунок режимів різання для свердління отворів 24 – операція 035.

Металорізальний інструмент – спіральне свердло ДСТУ ISO 494:2018, різальна частина – ВК8.

Глибина різання  $t = 0,5D = 0,5 \cdot 15 = 7,5 \text{ мм}$ .

Подача при свердлінні  $S = 0,35 \text{ мм/об}$ , для свердла з різальною частиною із твердого сплаву  $S = 0,35 \cdot 0,6 = 0,21 \text{ мм/об}$

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v;$$

де,  $D$  - діаметр свердління;

$T$  - період стійкості інструмента;

$S$  - подача;

$K_v$  - загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, враховуючи фактичні умови.

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{ev};$$

де,  $K_{mv}$  - коефіцієнт, який залежить від якості оброблюваного матеріалу.

$$K_{mv} = (190/HB)^{n_v} = (190/190)^{n_v} = 1;$$

$K_{iv}$  - коефіцієнт, який враховує інструментальний матеріал, приймаємо  $K_{iv} = 2,7$ .

$K_{ev}$  - коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки, приймаємо  $K_{ev} = 1$ .

Період стійкості  $T = 45 \text{ хв}$ .

Значення коефіцієнта  $C_v$  і показників степенів:

$$C_v = 34,2; q = 0,45; m = 0,20; y = 0,30.$$

$$K_v = 1 \cdot 2,7 \cdot 1 = 2,7.$$

Отже швидкість різання:

$$V = \frac{34,2 \cdot 15^{0,45}}{45^{0,2} \cdot 0,21^{0,3}} \cdot 2,7 = 32,9 \text{ м/хв}.$$

Крутний момент розраховують за формулою:

$$M_{кр} = 10 C_m D^q S^y K_p;$$

де,  $C_m = 0,012; q = 2,2; y = 0,8; K_p = K_{mp} = 1$ .

Тоді:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,012 \cdot 15^{2,2} \cdot 0,21^{0,8} \cdot 1 = 13,3 (\text{Н} \cdot \text{м});$$

Частота обертання інструмента:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 32,9}{3,14 \cdot 15} = 698,5 (\text{об/хв}).$$

Потужність різання:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750};$$

$$N_e = \frac{13,3 \cdot 698,5}{9750} = 0,95 \text{кВт}.$$

Потужність приводу верстата:

$$N_{пр} = \frac{N_e}{\eta};$$

$$N_{пр} = \frac{0,95}{0,8} = 1,2 \text{кВт}.$$

Вибір верстата здійснюється по виду обробки, розмірах стола і потужності електродвигуна головного руху. Для послідовної обробки чотирьох отворів вибираємо радіально-свердлильний верстат моделі 2К52.

Його основні параметри:

- розмір стола до 1000x1000 мм;
- подача шпинделя 0,1 ... 0,5 мм/об;
- частота обертання шпинделя 63 ... 1600 об/хв.;
- потужність приводу 1,5 кВт.

Режими різання коректуються по верстату.

Приймається, подача, згідно характеристик верстату:  $S = 0,2 \text{мм/об}$ .

Частота обертання шпинделя:  $n = 630 \text{(об/хв)}$ .

Дійсна швидкість різання:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 15 \cdot 630}{1000} = 29,7 \text{(м/хв)}.$$

Режими різання для обробки решти поверхонь визначаються табличним способом.

Таблиця 2.7 – Вибір режимів різання і моделей верстатів

№ опер.	Назва та зміст операції	Розрахункове значення				Прийняте значення			
		<i>t</i> , <i>мм</i>	<i>S</i> , <i>мм/хв</i>	<i>V</i> , <i>м/хв</i>	<i>n</i> , <i>об/хв</i>	<i>N</i> , <i>кВт</i>	<i>S</i> , <i>мм/хв</i>	<i>V</i> , <i>м/хв</i>	<i>n</i> , <i>об/хв</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
005	Повздовжньо-фрезерна Фрезерувати поверхні 4, 5 і 6, 7 і 8 послідовно	1,6	482	84	107	9	400	98	125
010	Горизонтально-фрезерна Фрезерувати пази 9 і 10 послідовно	35	187	87,5	111,5	5,6	200	98	125
015	Копіювально-фрезерна Фрезерувати заниження 11, 12 послідовно	20	76	24	764	2,6	80	25	800
020	Копіювально-фрезерна Фрезерувати заниження 13	34	50	21	334	4,6	50	19,8	315
025	Вертикально-фрезерна з ЧПК Фрезерувати 4 пази 14	3	72	21	477	2,8	80	22	500
030	Вертикально-фрезерна з ЧПК Фрезерувати 4 пази 15	6	96	24	955	2,5	100	25,1	1000
035	Радіально-свердлильна Свердлити 4 отвори 24	7,5	0,22	32	679	1,2	0,2	29,7	630
040	Вертикально- свердлильна Свердлити отв. 16 Зенкерувати отвір 16 начорно Зенкерувати отвір 16 начисто Зенкувати фаску в отворі 16	10,5 0,35 0,15 1	0,25 0,8 0,6 0,25	29,9 16 18 35	453 259 260 484	2,4 0,084 0,095 0,012	0,25 0,6 0,6 0,25	33 15,5 17,3 36,1	500 250 250 500

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
045	Радіально-свердлильна								
	Свердлити отв. 18	8	0,22	25,7	511	1,2	0,25	25,1	500
	Зенкерувати отвір 18	3,25	0,4	21	297	0,6	0,4	22,3	315
	Свердлити 4 отвори 30	1,3	0,04	25,7	3146	0,08	0,1	13,1	1600
	Зенкувати фаски в отв. 30	0,5	0,06	29,9	2380	0,018	0,1	15,1	1600
	Нарізати різь в отв. 30	0,4	0,4	6	318	0,008	0,4	3	315
050	Радіально-свердлильна								
	Свердлити 4 отв.26, 3 отв.29, 2 отв.28	1,75	0,04	25,7	2337	0,08	0,1	17,6	1600
	Свердлити 2 отвори 27	0,8	0,02	29	3769	0,14	0,1	8	1600
	Зенкувати фаски в отв.26, 29, 28, 27	0,5	0,06	29,9	2380	0,018	0,1	20,1	1600
	Нарізати різь в отв. 26, 29, 28	0,5	0,5	7	557	0,014	0,5	6,3	500
	Нарізати різь в отв.27	0,4	0,4	5	796	0,002	0,4	5	800
055	Радіально-свердлильна								
	Свердлити 4 отвори 33, 3 отв.34	1,75	0,04	25,7	2337	0,08	0,1	17,6	1600
	Свердлити 2 отвори 35								
	Зенкувати фаску в отв. 33, 34, 35	0,8	0,02	29	3769	0,14	0,1	8	1600
	Нарізати різь в отв. 33, 34	0,5	0,06	29,9	2380	0,018	0,1	20,1	1600
	Нарізати різь в отв. 35	0,5	0,5	7	557	0,014	0,5	6,3	500
	Зенкувати фаску в отв. 16	0,4	0,4	5	796	0,02	0,4	5	800
		1	0,25	35	484	0,012	0,25	36,1	500

## Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
060	Радіально-свердлильна	1,75	0,04	25,7	2337	0,08	0,1	17,6	1600
	Свердлити 4 отвори 31	0,8	0,02	29	3769	0,14	0,1	8	1600
	Свердлити 4 отвори 32	0,5	0,06	29,9	2380	0,018	0,7	20,1	1600
	Зенкувати фаски в отв. 31, 32	0,5	0,5	7	557	0,014	0,5	6,3	500
	Нарізати різь в отв. 31	0,4	0,4	5	796	0,02	0,4	5	800
	Нарізати різь в отв. 32								
065	Радіально-свердлильна								
	Свердлити отвори 19, 21	2,55	0,09	26,9	1502	0,26	0,1	28,7	1600
	Свердлити отв. 22	3,55	0,12	26,9	1142	0,4	0,1	29,5	1250
	Розвернути отв. 19, 21 начорно	0,1	0,8	12	647	0,016	0,5	11,7	630
	Розвернути отв. 22 начорно	0,2	1,0	12	484	0,012	0,5	12,4	500
	Розвернути отв. 19 начисто	0,05	0,5	14	743	0,019	0,5	15,1	800
	Розвернути отв. 21 начисто	0,05	0,2	16	849	0,022	0,2	18,84	1000
Розвернути отв. 22 начисто	0,1	0,6	14	557	0,014	0,5	15,8	630	
070	Вертикально-свердлильна								
	Свердлити 2 отвори 23	2,5	0,07	29,3	1865	0,14	0,1	31,4	2000

## 2.9 Нормування технологічного процесу

У масовому виробництві визначається штучна норма часу  $T_{шт}$  :

$$T_{шт} = T_o + T_\partial + T_{об} + T_{від},$$

де,  $T_o$  - основний час, хв.;

$T_\partial$  - допоміжний час, хв.;

$T_{об}$  - час на обслуговування робочого місця, хв.;

$T_{від}$  - час на відпочинок та фізичні потреби, хв.

$$T_o = \frac{l_1 + l + l_2}{n \cdot S} \cdot i,$$

де,  $l_1$  і  $l_2$  - відповідно величини врізання і перебігу інструменту;

$l$  - довжина врізання;

$n$  - частота обертання різального інструменту;

$S$  - подачі, в мм/об;

$i$  - кількість переходів.

$$T_\partial = T_{уз} + T_{зв} + T_{уп} + T_{вим}$$

де,  $T_{уз}$  - час на установку та зняття деталі;

$T_{зв}$  - час на закріплення і відкріплення деталі;

$T_{уп}$  - час на управління верстатом;

$T_{вим}$  - час на вимірювання.

$$T_{об} = T_{тех} + T_{орг},$$

де,  $T_{тех}$  - час на технічне обслуговування робочою місця;

$T_{орг}$  - час на організаційне обслуговування робочого місця.

$$T_{тех} = T_o \cdot t_{зм} / T,$$

де,  $t_{зм}$  - час на зміну інструменту;

$T$  - період стійкості інструменту.

Оперативний час  $T_{он} = T_o + T_\partial$  ;

$$T_{орг} = T_{он} \cdot П_{орг} / 100, \quad T_{від} = T_{он} \cdot П_{від} / 100,$$

де,  $P_{орг}$  і  $P_{від}$  - відповідно процент часу на організаційне обслуговування і відпочинок.

Про нормуємо операцію 035 – Радіально-свердлильну. Довжина оброблюваного отвору  $l = 30\text{мм}$ ; величина врізання свердла  $\text{Ø}15\text{мм}$   $l_1 = 4,5\text{мм}$ ; величина перебігу  $l_2 = 0$ , оскільки оброблюваний отвір – глухий. Знаючи з табл. 2.11 величини  $S$  і  $n$  згідно формули знаходимо:

$$T_0 = \frac{30 + 4,5}{630 \cdot 0,2} = 0,275\text{хв}.$$

Оскільки на операції обробляються 4 отвори, то основний час на операцію  $T_0 = 4 \cdot 0,275 = 1,1\text{хв}$ .

$T_{уз} = 0,23\text{хв}$  - при встановленні на площадку з накладною кришкою кондуктора.

$T_{зв} = 0,024\text{хв}$  - на закріплення рукояткою пневматичного затиску.

$T_{ун} = 0,45\text{хв}$  - враховуючи позиціонування свердла при свердлінні по кондуктору.

Оскільки вимірювання на даній операції не проводиться допоміжний час становить:

$$T_{\delta} = 0,23 + 0,024 + 0,45 = 0,704\text{хв}.$$

Тоді оперативний час дорівнює

$$T_{он} = 1,1 + 0,704 = 1,8\text{хв}.$$

Час на зміну свердла у швидкозмінній втулці  $t_{зм} = 0,3\text{хв}$ , період стійкості свердла  $\text{Ø}15\text{ мм}$   $T = 30\text{хв}$ . Отже

$$T_{mex} = 0,3 \cdot 1,1 / 30 = 0,011\text{хв};$$

$$T_{орг} = 1,8 \cdot 0,8 / 100 = 0,014\text{хв};$$

$$T_{об} = 0,011 + 0,014 = 0,025\text{хв};$$

$$T_{від} = 1,8 \cdot 9 / 100 = 0,16\text{хв}.$$

Штучний час на операцію згідно формули :

$$T_{шт} = 1,1 + 0,7 + 0,025 + 0,16 = 2\text{хв}.$$

Аналогічно проводиться нормування решти операцій. Результати розрахунків зведено в таблиці 2.8.

Дещо відрізняється нормування операцій 025 і 030 – вертикально-фрезерних з ЧПК, суміщених в одну операцію, наведених в кінці таблиці 2.8. Тут з'являється машинний допоміжний час  $T_{мд}$ , який пов'язаний з прискоренням і установочним переміщенням робочого органу. Фігурує також час на обслуговування  $T_{об}$  і час заміни інструменту  $T_{зі}$ , який входить до допоміжного машинного часу.

Таблиця 2.8 – Нормування технологічного процесу

№ п/п	Назва операції і зміст переходу	$T_o$ , хв	$T_{дон}$ , хв	$T_{об}$ , хв	$T_{від}$ , хв	$T_{ум}$ , хв
1	2	3	4	5	6	7
005	Повздовжньо-фрезерна Фрезерувати пов. 3 і 4, 5 і 6, 7 і 8 послідовно	1,8	1,27	0,15	0,18	3,4
010	Горизонтально-фрезерна Фрезерувати пази 9, 10	2,08	0,42	0,12	0,15	2,77
015	Копіювально-фрезерна Фрезерувати заниження 11, 12 послідовно	3,85	0,654	0,17	0,31	4,98
020	Копіювально-фрезерна Фрезерувати заниження 13	4,24	0,364	0,19	0,32	5,11
035	Радіально-свердлильна Свердлити 4 отв. 24	1,1	0,704	0,025	0,16	2,00
040	Вертикально-свердлильна Свердлити отв. 16 Зенкерувати отв. 16 начорно Зенкерувати отв. 16 начисто Зенкувати фаску в отв. 16	1,58 0,664 0,39 0,5 0,024	1,16	0,036	0,21	3,00

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7
045	Радіально-свердлильна Свердлити отв. 17 Розсвердлити отв. 18 Свердлити 4 отв. 30 Зенкувати фаски в отв. 30 Нарізати різь в отв. 30	2,13 1,088 0,19 4·0,113 4·0,011 4·0,089	2,11	0,05	0,21	4,5
050	Радіально-свердлильна Свердлити 4 отв. 26, 3 отв. 29, 2 отв. 28 Свердлити 2 отв. 27 Зенкувати фаски в отв. 26, 29, 28, 27 Нарізати різь в отв. 26, 29, 28 Нарізати різь в отв. 27	2,28 9·0,132 2·0,066 9·0,011 2·0,006 9·0,009 2·0,017	3,06	0,11	0,27	5,72
055	Радіально-свердлильна Свердлити 4 отв. 33, 3 отв. 34 Свердлити 2 отв. 35 Зенкувати фаску в отв. 33, 34, 35	1,83 7·0,132 2·0,066 7·0,011 2·0,006	2,28	0,087	0,21	4,41
060	Радіально-свердлильна Свердлити 4 отв. 31 Свердлити 4 отв. 32 Зенкувати фаску в отв. 31, 32 Нарізати різь в отв. 31 Нарізати різь в отв. 32	1,31 4·0,132 4·0,032 4·0,011 4·0,006 4·0,09 4·0,056	2,16	0,068	0,21	3,75

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7
065	Радіально-свердлильна Свердлити отв. 19, 21 Свердлити отв. 22 Розвернути отв. 19, 21 начорно Розвернути отв. 22 начорно Розвернути отв. 19 начисто Розвернути отв. 21 начисто	1,14 0,393+0, 068 0,092 0,131+0, 03 0,027 0,328 0,036	2,35	0,064	0,21	3,76
070	Вертикально-свердлильна Свердлити 2 отв. 23	0,47 2 · 0,234	0,6	0,023	0,05	1,14
025	Вертикально-фрезерна з ЧПК Фрезерувати 4 паза 14	1,38 4 · 0,344	1,84	0,40	0,51	4,73
030	Вертикально-фрезерна з ЧПК Фрезерувати 4 паза 15	0,60 4 · 0,15	1,84	0,40	0,51	4,73

Висновки. У ході виконання роботи проведено комплексне техніко-економічне обґрунтування вибору методу отримання заготовки та способів обробки поверхонь деталі. Обрано та аналітично обґрунтовано технологічні бази, сформовано раціональний технологічний маршрут обробки. Виконано розрахунок припусків на оброблювані поверхні та проведено розмірно-точнісний аналіз технологічного процесу. Визначено оптимальні режими різання, підібрано необхідне технологічне обладнання, а також встановлено норми часу на виконання операцій технологічного процесу.

## РОЗДІЛ 3

### КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Верстатний пристрій для фрезерування

##### 3.1.1 Вибір і обґрунтування принципу дії та структурної схеми

Пристрій призначений для фрезерування пазів 9 і 10 та застосовується під час роботи на горизонтально-фрезерному верстаті моделі 6P82Г із використанням дискової трьохсторонньої фрези.

Він повинен забезпечувати виконання технічних вимог до оброблення пазів, мати достатню жорсткість і точність, а також гарантувати отримання розмірів 24 і 35 мм з точністю за IT14. Це означає, що точність самого пристрою має перевищувати точність оброблюваних поверхонь. Крім того, пристрій повинен забезпечувати зручне та надійне встановлення заготовки і створювати необхідну силу затиску.

Для покращення умов праці та підвищення продуктивності передбачена механізація пристрою із застосуванням елементів пневмоприводу для затиску. Це дає змогу скоротити допоміжний час і підвищити ефективність роботи.

Технічні вимоги до виготовлення пристрою наведені на його складальному кресленні. Вони базуються на функціональному призначенні пристрою, точності поверхонь, що обробляються за його допомогою, конструктивних особливостях та характеристиках затискного механізму. Формування цих вимог можливе лише після виконання необхідних розрахунків і прийняття низки проміжних конструктивних рішень.

Запропоновано декілька можливих варіантів компоновки пристрою. При цьому враховано, що базування деталі здійснюється у координатний кут, а сила затиску спрямована до опорної бази. З огляду на вимоги продуктивності праці пристрій проєктується як двомісний.

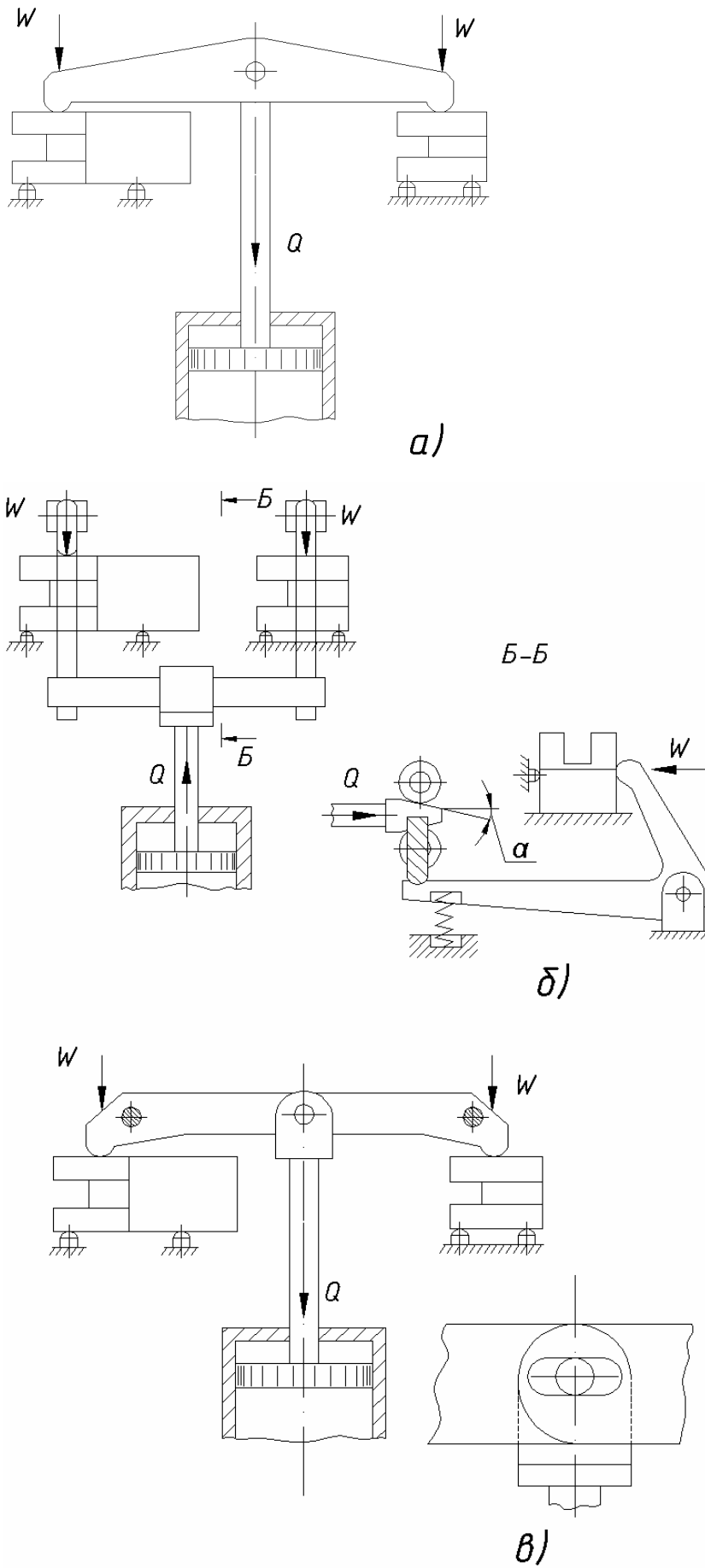


Рисунок 3.1 – Схемы компоновок пристрою

Запропонований важільний механізм (рис. 3.1а) є конструктивно простим, легким у виготовленні та практично безвідмовним у роботі. Він приводиться в дію пневмоциліндром і має невеликі габаритні розміри. Розтиснення заготовки відбувається при зворотному ході поршня пневмоциліндра. Недоліком цієї конструкції є відсутність підсилення зусилля затиску, а також те, що затиск здійснюється під час зворотного ходу поршня, що потребує застосування пневмоциліндра з більшим діаметром. Крім того, механізм не забезпечує самогальмування у разі зникнення тиску в пневмосистемі.

Механізм, наведений на рис. 3.1б, є клиноважільним і забезпечує два ступені підсилення зусилля затиску: завдяки клиновій парі та різниці довжин плечей важелів. Перевагою цього варіанта є те, що затиск виконується при прямому ході штока пневмоциліндра. Однак механізм має значні габарити та є складним у виготовленні через велику кількість деталей. За певного значення кута можливе самогальмування затискного важеля, але для забезпечення зворотного ходу важелів необхідне встановлення пружин. Робота клинної пари потребує захисту від стружки та пилу.

Найбільш придатним для цього випадку є механізм, зображений на рис. 3.1в — важільний затискний механізм. Завдяки різниці довжин плечей важелів зусилля затиску значно підвищується, затиск відбувається при прямому ході штока пневмоциліндра, а розтиснення — при зворотному. Механізм простий за конструкцією та має невеликі габаритні розміри. Його недоліком є відсутність самогальмування, проте запобігти мимовільному розтисканню можна встановленням аварійного клапана на лінії подачі стисненого повітря.

Таким чином, для забезпечення затиску деталей доцільно обрати важільний механізм із пневматичним приводом.

### 3.1.3 Розрахунки пристрою на точність

На даній операції точність пристрою впливає на дотримання розмірів глибини пазів 9 і 10, а також відстані від бічної поверхні деталі до паза, тобто розмірів: 47мм, 24мм і 23,5мм.

Сумарна похибка оброблення заготовки у пристрої визначається за формулою:

$$\varepsilon = K \cdot \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_{pn}^2 + \varepsilon_{py}^2 + \varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{pнз}^2 + \varepsilon_{нд}^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_{pz}^2 + 3\varepsilon_t^2 + \varepsilon_{zn}^2};$$

де,  $\varepsilon_{\delta} = 0,03\text{мм}$  - похибка верстату в навантаженому стані;

$\varepsilon_{pn}$  - похибка розташування пристрою на верстаті  $\varepsilon_{pn} = 0,04\text{мм}$ ;

$\varepsilon_{py} = 0,02\text{мм}$  - похибка розташування установчих;

$\varepsilon_{\delta}$  - похибка базування  $\varepsilon_{\delta} = 0\text{мм}$ ;

$\varepsilon_3$  - похибка затиснення  $\varepsilon_3 = 0,09\text{мм}$ ;

$\varepsilon_{pнз} = 0,03\text{мм}$  - похибка розташування напрямних елементів пристрою;

$\varepsilon_{pz}$  - похибка розмірного спрацювання різального інструменту  
 $\varepsilon_{pz} = 0,02\text{мм}$ ;

$\varepsilon_{нд}$  - похибка від пружних деформації,  $\varepsilon_{нд} = 0,03\text{мм}$ ;

$\varepsilon_t = 0,02\text{мм}$  - похибки, що виникають внаслідок температурних впливів;

$\varepsilon_{zn}$  - похибки, що виникають внаслідок зношування установчих елементів,  
 $\varepsilon_{zn} = 0,02\text{мм}$ ;

$K$  - коефіцієнт відносного розсіювання сумарної похибки, залежить від кількості складових розглянутої залежності: для нашого випадку  $K = 1,0$ .

Отже, в даному випадку похибка оброблення заготовки:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 1,0 \times \\ &\times \sqrt{0,03^2 + 0,04^2 + 0,02^2 + 0 + 0,09^2 + 0,03^2 + 0,03^2 + 0,02^2 + 3 \cdot 0,02^2 + 3 \cdot 0,02^2 + 0,03^2} = \\ &= 0,128\text{мм}; \end{aligned}$$

Допуск на оброблювані розміри по 13 квалітеті точності становлять: для 47 мм  $T_1 = 0,39\text{мм}$ , для 23,5 мм і 24 мм  $T_2 = 0,33\text{мм}$ .  $\varepsilon < T_1, T_2$ , отже пристрій забезпечує точність оброблення заготовки.

## 3.1.4 Розрахунок зусилля кріплення та параметрів силового приводу

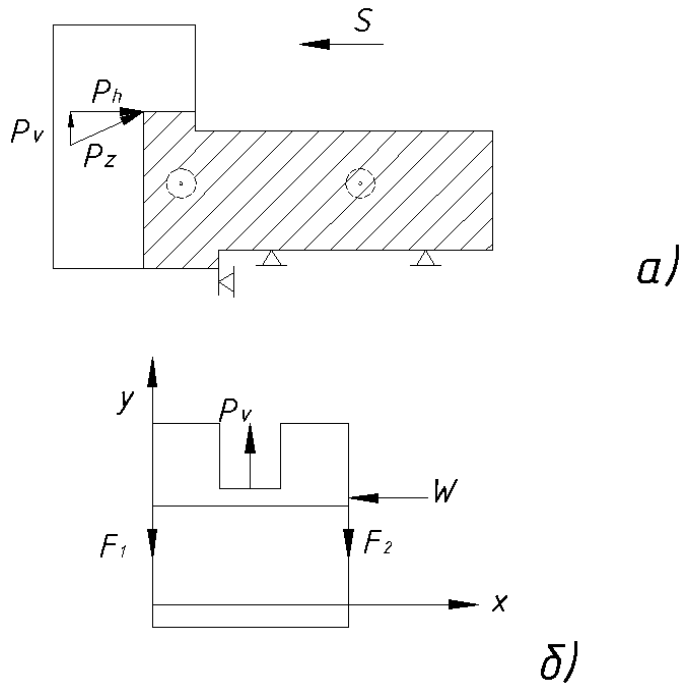


Рисунок 3.2 – Схеми для розрахунку зусилля кріплення заготовки

Як видно зі схеми (рис. 3.2.a) горизонтальна складова  $P_h$  сили різання  $P_z$  практично не впливає на зусилля затиску заготовки, оскільки її дія повністю компенсується упорою пристрою. Сила затиску  $W$  повинна компенсувати вертикальну складову  $P_v$  сили різання  $P_z$  (точніше її тангенціальної складової).

Для визначення значення  $P_v$  знайдемо спочатку значення  $P_z$ :

$$P_z = \frac{1020 \cdot 60 \cdot N_e}{V},$$

де,  $N_e$  - потужність різання ефективна;

$V$  - швидкість різання.

$$P_z = \frac{1020 \cdot 60 \cdot 5,6}{98} = 3497 \text{ Н}.$$

Тоді,  $P_v = 0,2P_z = 0,2 \cdot 3497 = 699,4 \text{ Н}.$

Складемо рівняння рівноваги всіх сил на вісь  $X$ :

$$K_3 \cdot P_v = F_1 \cdot f + F_2 \cdot f = Wf,$$

Звідки

$$W = \frac{K_3 \cdot P_v}{f},$$

де,  $f = 0,2$  - коефіцієнт тертя сталі по чавуні;

$K_3$  - коефіцієнт запасу, значення складових вибираються з таблиць;

$$K_3 = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,6 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,88.$$

$$W = \frac{2,88 \cdot 699,4}{0,2} = 10071,4 \text{ Н}.$$

Для розрахунку параметрів силового приводу зобразимо силу механізму затиску.

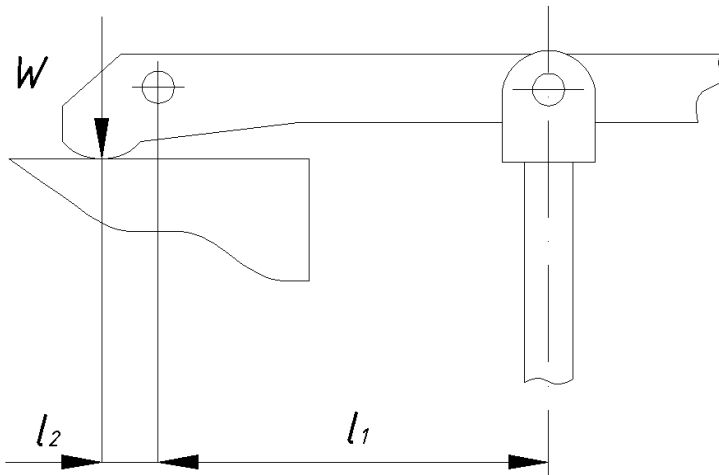


Рисунок 3.3 – Схема для розрахунку важільного механізму

Приймаємо хід важеля деталі  $S_2 = 3 \text{ мм}$ , розміри  $l_1 = 120 \text{ мм}$  і  $l_2 = 20 \text{ мм}$ .

Тоді, хід штока пневмоциліндра  $S_1 = S_2 l_2 / l_1 = 3 \cdot 120 / 20 = 18 \text{ мм}$ . В такому випадку доцільніше застосовувати для створення зусилля затиску пневмокамеру, яка має менші габаритні розміри в напрямі руху штока.

Зусилля на штоці пневмокамери:

$$Q = 2 \cdot W \cdot l_2 / l_1 = 2 \cdot 10071,4 \cdot 120 / 20 = 3357,1 \text{ Н}.$$

При тиску в пневмережі  $0,4 \text{ МПа}$  для забезпечення створення зусилля на штоці  $3357,1 \text{ Н}$  приймаємо пневмокамеру  $D = 125 \text{ мм}$ , яка забезпечує зусилля на штоці  $3500 \text{ Н}$ . Діаметр  $d$  опорної шайби штока  $d = 0,7 D = 0,7 \cdot 125 = 87,5 \text{ мм}$ , діаметр штока  $d_1 = 32 \text{ мм}$ .

### 3.1.5 Опис конструкції та роботи пристрою

Даний пристрій використовується на операції 010.

Найбільш масивна і основна деталь пристрою корпус 1. Його зварна конструкція забезпечує базування деталі по прийнятій схемі на опори сферичні,

що забезпечує найвищу точність при чорновій обробці. Поверхня И (рис. 1.1) базується на опорну пластину, оскільки має невеликі розміри. На обох позиціях пристрою застосовуються додаткові опори 21 для запобігання самовільного зсуву деталі відносно опорних деталей або зміщенню під дією затискаючої сили.

Затискний механізм – двоважільний: по одному важелю на кожну деталь. Тому на корпусі розміщені 4 вуха для встановлення важелів 3. Для кріплення пневмокамери в корпусі передбачено 2 отвори  $\text{Ø}12\text{мм}$  під болти М10. Муфта 8 затиснена контргайкою 20 на вилці 12 після на живлення на шток пневмокамери 9. Кутовий торцевий установ 11 для фрези прикріплений гвинтами 17 до пластини 2 привареної до корпусу пристрою. Орієнтацію пристрою на столі верстату і точність його встановлення визначають напрямні шпонки 14 які входять в паз столу при встановленні пристрою на верстат (рис. 3.4,а). Для кріплення пристрою до стола в кінці передбачено два кріпильні отвори під болти. Кріплення здійснюється гайками (рис. 3.4,б).

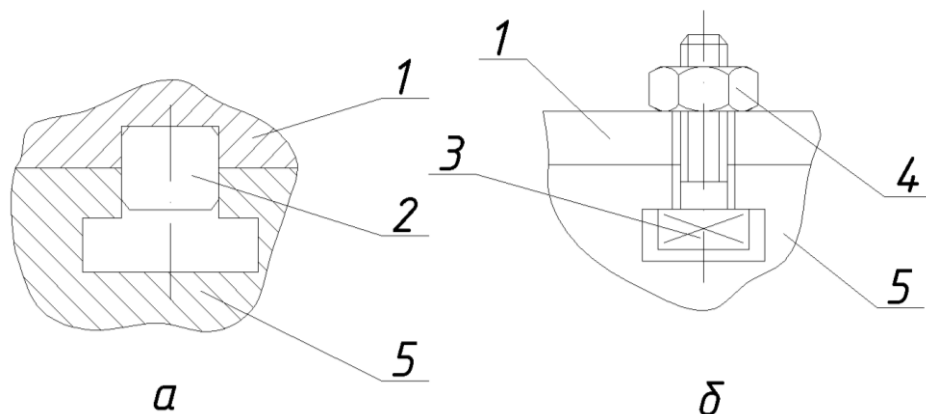


Рисунок 3.4 – Способи точного встановлення та кріплення пристрою: 1 – плита; 2 – шпонка; 3 – болт; 4 – гайка; 5 – стіл.

2Робота пристрою здійснюється наступним чином. Після встановлення обох деталей подається повітря у пневмокамеру 9. Під дією тиску повітря на мембрану пневмокамери шток висувається вперед і через палець 4 вилкою 12, закріпленою на штоці передає рух на важелі 3, які обертаючись на своїх осях 5 встановлених у вухах корпусу затискають деталі.

3Розкріплення заготовок відбувається при припиненні подачі стиснутого повітря у пневмокамеру. За допомогою пружини пневмокамери шток повертається у вихідне положення і відводить за собою важелі 3.

### 3.2 Пристрій для контролю перпендикулярності площин

Даний пристрій призначений для контролю дотримання допуску перпендикулярності між площинами 6 і 3, а також 6 і 4. Конструктивно він складається зі стола 1, до якого шпилькою 8 з гайкою 6 закріплена державка 2. Додаткове орієнтування державки забезпечує палець 4, запресований у корпус. У верхній частині державки гвинтом 3 фіксується індикатор зі щупом. Опорами 5 пристрій устанавлюється на поверхню стола.

Порядок використання пристрою наступний. За еталонним взірцем індикатор встановлюють на «нуль». Деталь розміщують боковою поверхнею на столі пристрою та притискають поверхнею 6 до упора. Знімають покази індикатора, виконуючи контроль у 2–3 точках, переміщаючи деталь уздовж стола. Далі деталь перевертають на протилежну до вимірюваної поверхню та повторюють вимірювання аналогічним чином.

Висновки. Спроековано пристрій для фрезерування пазів 9 та 10, який застосовується на горизонтально-фрезерному верстаті моделі 6P82Г разом із дисковою трьохсторонньою фрезою. Після встановлення деталей стиснене повітря подається в пневмокамеру 9. Під його тиском мембрана переміщує шток уперед, який через палець 4 і вилку 12 передає рух важелям 3. Останні, обертаючись навколо осей 5, здійснюють затиск заготовок. Розтискання відбувається після припинення подачі повітря — пружина повертає шток у вихідне положення, відводячи важелі.

Також розроблено пристрій для контролю перпендикулярності площин. Після встановлення індикатора на «нуль» деталь послідовно притискають до упора різними боковими поверхнями, виконуючи виміри в кількох точках, що дозволяє оцінити відхилення від перпендикулярності.

## РОЗДІЛ 4

## НАУКОВИЙ РОЗДІЛ

## 4.1 Проведення експерименту

Матеріал для експериментальних зразків вибирали з міркувань найпоширеніших матеріалів в приладобудуванні, це конструкційна вуглецева якісна сталь – Сталь 45, сірий чавун - СЧ15. Хімічний склад і їх механічні властивості вказані в таблицях 4.1 - 4.5.

Таблиця 4.1 – Хімічний склад сталі 45(ДСТУ EN 10083-2:2014), %

C %	Mn %	Si %	Cr %	S %	P %	Ni %	Cu %	AS%
			не більше					
0,42 – 0,5	0,5-0,80	0,17-0,37	0,25	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08

Таблиця 4.2 – Механічних властивостей поковок сталі 45(ДСТУ EN 10083-2:2014)

Режим термообробки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_y$	$\delta_5$	$\Psi$	КСУ,	НВ не більше
		МПа		%		Дж/см <sup>2</sup>	
		не менше					
Нормалізація	100-300			19	42	39	143-179
	300-500	245	470	17	35	34	
	500-800			15	30	34	
	До 100			20	40	44	
Загартування. Відпустка.	100-300	275	530	17	38	34	156-197
				15	32	29	
	300-500	275	530	13	30	29	156-197
Відпустка.	До 100			17	38	39	167-207
	100-300	315	570	14	35	34	
	300-500			12	30	29	

Нормалізація.	До 100	345	590	18	45	59	174-217
Загартування.	100-300	345	590	17	40	54	174-217
Відпустка.	До 100	395	620	17	45	59	187-229

Технологічні властивості: температура кування 1250<sup>0</sup> - з початку, 800 - 850<sup>0</sup> з кінця, низька корозійна стійкість, модуль пружності 21350 МПа. Сталь 45 призначена для виготовлення валів, валів шестерень, важелів, шпонок, пальців, болтів і інших деталей, від яких потрібно підвищена міцність.

Таблиця 4.3 – Хімічний склад матеріалу СЧ15 ДСТУ 8833:2019, %

С	Si	Mn	S	P
3,5 – 3,7	3 – 2,4	0,5 – 0,8	до 0,15	до 0,2

Сірий чавун марки СЧ15 є одним із найбільш поширених матеріалів у машинобудуванні. Він не є суцільним металом, а являє собою пористу металеву структуру — сплав заліза з графітом, пори якого заповнені рихлою неметалевою речовиною. Механічні властивості сірих чавунів визначаються передусім характеристиками металевої основи та кількістю, формою і розмірами графітних включень. Найвищі показники міцності та зносостійкості забезпечує перлітова структура основи. Приблизно 80 % усіх чавунних виливків виготовляють саме із сірого чавуну з пластинчастим графітом.

Сірий чавун відзначається високими ливарними властивостями: низькою температурою кристалізації, доброю плинністю у рідкому стані та малою усадкою. Завдяки цьому він є основним матеріалом для лиття. Його широко застосовують у машинобудуванні та приладобудуванні для виготовлення станин верстатів, корпусних деталей механізмів, поршнів, циліндрів та інших конструкційних елементів.

Під час експериментальних досліджень параметри режимів різання контролювали за допомогою секундоміра та стрілочного тахометра. Для визначення температури в зоні різання застосовувався метод штучної термопари [17]. Тарування хромель-алюмелевої термопари виконувалося за загальноприйнятою методикою [12], причому отриманий тарувальний графік мав лінійний характер. Як реєструвальні прилади використовували осцилографи

С8-11 та С1-19Б, що дозволяли фіксувати швидкоплинні термічні процеси без попереднього підсилення сигналу.

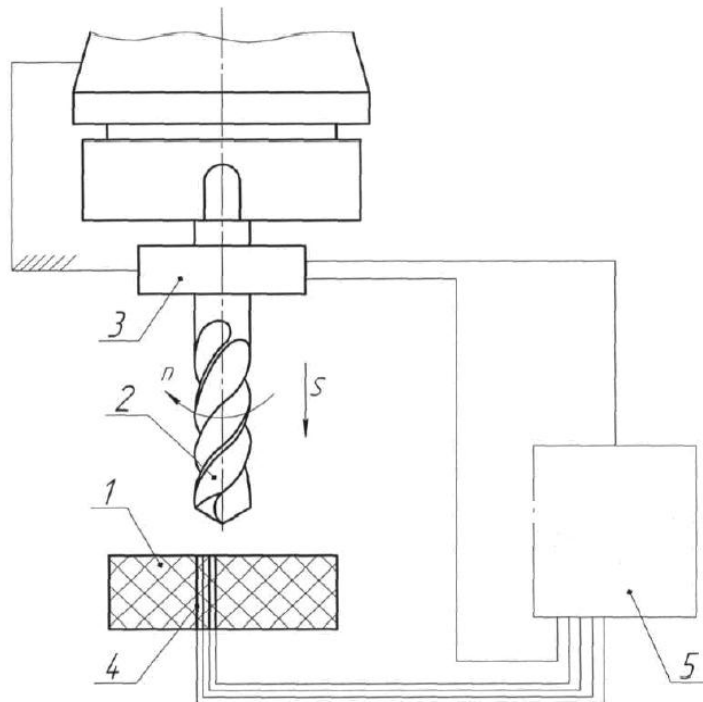


Рисунок 4.1 – Схема вимірювання температури при свердлінні

Для проведення експериментальних досліджень використовувалися свердла діаметрами  $\varnothing 1$ ,  $\varnothing 2$ ,  $\varnothing 3$ ,  $\varnothing 4$  та  $\varnothing 5$  мм середньої серії за ДСТУ ISO 494:2018. До експериментів відбиралися інструменти, виготовлені зі швидкорізальної сталі Р6М5, з діаметральними розмірами у межах встановлених допусків, різницею передніх кутів  $\gamma$  не більше  $30'$ , а також з довжиною перемички, рекомендованою довідковою літературою.

У таблиці 4.4 подано характеристики стандартних свердел нормальної точності довгої серії зі швидкорізальної сталі Р6М5 відповідно до ДСТУ ISO 494:2018, що є найбільш поширеними при свердлінні глибоких отворів діаметром 1–5 мм (рис. 4.2).

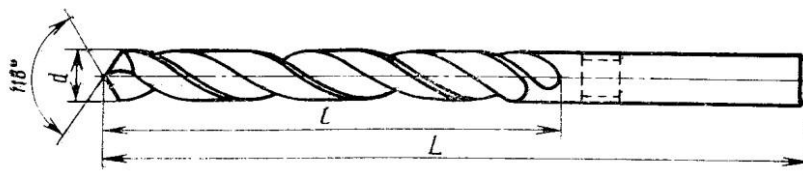


Рисунок 4.2 – Стандартне свердло зі сталі Р6М5 за ДСТУ ISO 494:2018

Сталь Р6М5 належить до інструментальних швидкорізальних сталей і застосовується для виготовлення широкого спектра різального інструменту, призначеного для обробки вуглецевих та легованих конструкційних сталей. Вона особливо ефективна для виробництва різьбонарізного інструменту та інструменту, що працює в умовах ударних навантажень. Хімічний склад сталі, з якої виготовлено експериментальні свердла, наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.4 – Геометричні параметри стандартних спіральних свердел з циліндричним хвостовиком діаметром 1÷5 мм

Позначення	d, мм	L, мм	l, мм
2300-5231	1	56	33
2300-0001	2	85	56
2300-0015	3	100	66
2300-0027	4	119	78
2300-0034	5	132	87

Таблиця 4.5 – Хімічний склад в % матеріалу Р6М5

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	V	Co
0.82 - 0.9	до 0.5	до 0.5	до 0.4	до 0.025	до 0.03	3.8 - 4.4	4.8 - 5.3	5.5 - 6.5	1.7 - 2.1	до 0.5

З урахуванням вимог, що висуваються до процесу свердління отворів діаметром до 5 мм, а також необхідності максимально ефективного використання ріжучих властивостей інструменту, підвищення його стійкості та забезпечення технологічної точності, обробку слід виконувати з максимально можливою подачею. Ця подача є прямо пропорційною осьовій силі  $P_0$  і, відповідно, силі тяги  $F_{\text{тяг}}$ , яку створює електромагнітний привід.

Щоб усунути вплив температурних похибок, вимірювання деталей проводили після їх повного природного охолодження. Контрольні операції виконувались у нормальних умовах навколишнього середовища.

#### 4.2. Дослідження впливу температури різання на точність діаметральних розмірів при свердлінні

Під час свердління було встановлено такі режими обробки: швидкість різання  $V=25$  м/хв, подача  $S= 0,2$  мм/об, а глибина різання змінювалася залежно від діаметра оброблюваних отворів. Режим різання залишався незмінним для всіх досліджуваних заготовок. Вимірювання діаметральної точності виконувалося безпосередньо на робочому місці під час обробки.

Аналіз складових похибок свердління показав, що при низьких швидкостях різання, характерних для чистового оброблення отворів, сумарна похибка діаметра в довільному перерізі визначається температурними деформаціями деталі  $\delta_1$  та інструмента  $\delta_2$ , а також пружними контактними деформаціями деталі  $\delta_3$  та інструмента  $\delta_4$  по задній поверхні свердла.

У ході досліджень встановлено, що величини  $\delta_3$  і  $\delta_4$  практично не змінюються по довжині отвору, тоді як  $\delta_1$  і  $\delta_2$  мають складну нелінійну залежність від координати  $x$ . Пружні деформації контактних поверхонь інструмента ( $\delta_4$ ) та деталі ( $\delta_3$ ) спричиняють зменшення діаметра (усадку) отвору. Температурні деформації інструмента ( $\delta_2$ ) навпаки можуть викликати збільшення діаметра (розбиття) отвору. Температурні деформації деталі ( $\delta_1$ ), залежно від товщини стінок, можуть спричинити як розширення, так і звуження отвору.

Також встановлено, що овальність профілю на початку отвору зумовлена нелінійним характером температурних деформацій інструмента й деталі. Бочкоподібність форми у кінцевій частині отвору визначається виключно температурними деформаціями деталі [10].

Фактичний діаметр отвору  $d_{факт}(x)$  визначається як:

$$d_{факт} = d_{ном} \pm k\delta_1 + k\delta_2 - \delta_3 - \delta_4,$$

де  $k_0$  – коефіцієнт, який враховує зниження температурних деформацій при охолодженні МОР.

Для побудови моделі залежності точності обробки від температури була використана регресійна модель на основі плану ПФЕ 2<sup>n</sup>.

$$Q(\delta_1 \delta_2 \delta_3 \delta_4) = 1.37 + 0.145\delta_1 + 0.15\delta_3 - 0.015\delta_1 \delta_4 + 0.005\delta_2 \delta_3 - 0.01\delta_3 \delta_4 + 0.015\delta_1 \delta_2 \delta_3 \delta_4$$

Перевірку однорідності дисперсій за умови однакової кількості повторних вимірювань у всіх точках плану здійснювали за критерієм Кохрена. Табличне значення критерію при рівні значущості 5 % становило 0,391, тоді як розрахункове значення дорівнювало 0,181. Оскільки табличне значення  $G$  перевищує розрахункове, гіпотеза про однорідність дисперсій вважається прийнятною. Значущість коефіцієнтів рівнянь регресії оцінювали за допомогою критерію Стюдента.

На рис. 4.2–4.3 наведено графіки, отримані шляхом теоретичних розрахунків та в ході експериментальних досліджень під час свердління. Однорідність дисперсій при однаковій кількості повторних дослідів перевірялась за критерієм Кохрена:  $s_{i^2_{\max}} = 0,028$  — на початку отвору,  $s_{i^2_{\max}} = 0,038$  — у середині та  $s_{i^2_{\max}} = 0,043$  — наприкінці. Табличне значення критерію  $G_{(0,05;4;8)} = 0,391$ . Для процесу свердління отримано  $G = 0,028/0,126 = 0,222$ . Оскільки розрахункове значення менше від табличного, дисперсії вважаються однорідними.

Відхилення експериментальних результатів від теоретичних становить менше 5 %, що свідчить про високу адекватність побудованих моделей.

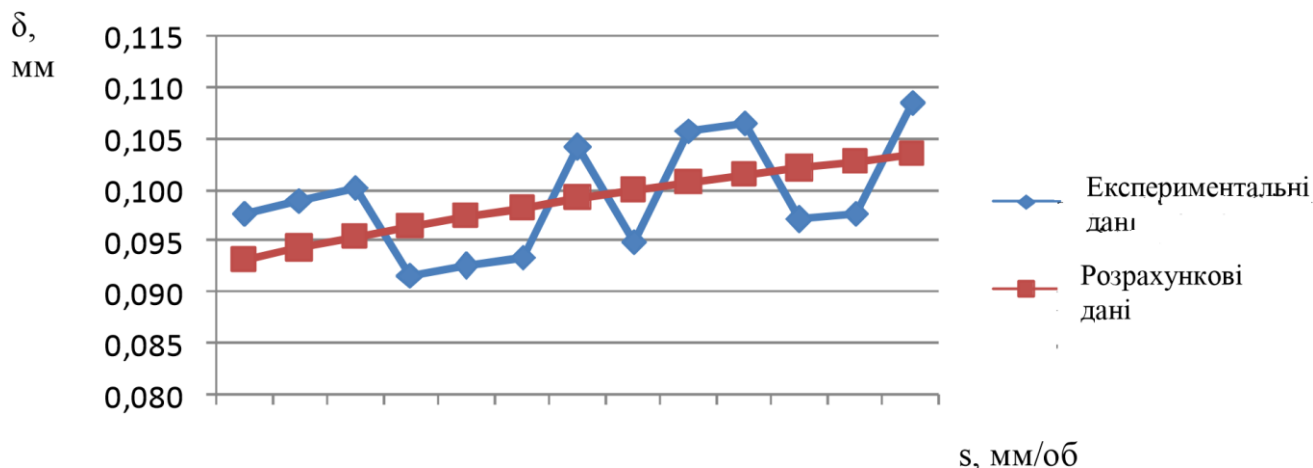


Рисунок 4.2 – Оцінка адекватності моделі залежності точності обробки  $\delta$  від подачі  $s$  при свердлінні:  $d = 16$  мм,  $l = 25$  мм,  $V = 26,28$  м/хв

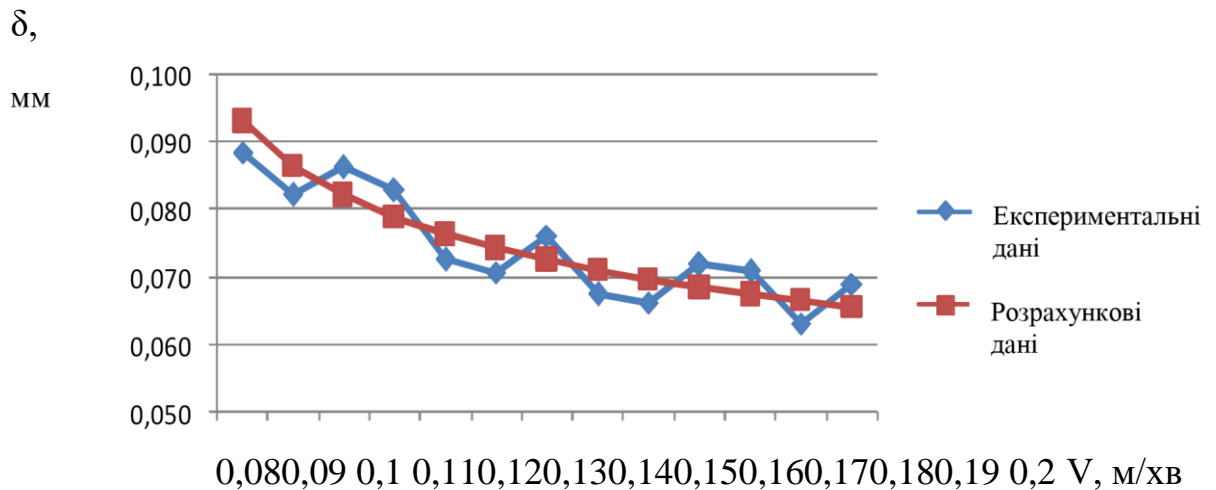


Рисунок 4.3 – Оцінка адекватності моделі залежності точності обробки  $\delta$  від швидкості різання  $V$  при свердлінні:  $d = 16$  мм,  $l = 25$  мм,  $s = 0,08$  м/хв

Експериментальна перевірка показала, що розбиття отвору діаметром  $d = 12$  мм під час свердління становило  $\delta = 15,6$  мкм, тоді як за отриманими розрахунковими залежностями воно дорівнювало  $\delta = 12,3$  мкм.

Режими різання, а також результати основних вимірювань і розрахунків наведено в таблиці 4.2. Експериментальні дані засвідчили достатню збіжність із розрахунковими значеннями температури, отриманими за запропонованою методикою.

Таблиця 4.2 – Результати експериментальних досліджень при обробці отворів

Інструмент	$d$ , мм	$n$ , об/хв	$S$ , мм/об	$V$ , м/хв	$t$ , мм	$\delta$ , мм	$\delta_1$ , мм	$K_0$	$Q_{on}$ , °C	$Q_p$ , °C
свердло	16	80	0,8	4,02	0,2	0,0259	76	2,926	119,56	119,356
свердло	16	125	0,6	6,28	0,1	0,0194	50	2,564	122,21	121,929
свердло	16	100	1,2	5,02	0,075	0,0388	67	1,713	132,17	131,928
свердло	16	265	0,8	13,32	0,2	0,0259	61	2,355	124,08	124,313
свердло	16	265	0,8	6,28	0,1	0,0259	58	2,235	125,29	125,406

$K_0$  – комплексний показник якості, розрахований за формулою;  $Q_{on}$  – температура в зоні різання, розрахована за допомогою регресійної моделі на основі плану ПФЕ  $2^n$ ;  $Q_p$  – температура, виміряна експериментально.

Найбільше відхилення між експериментальними та розрахунковими значеннями температури в зоні різання — до 10,5 % — спостерігалось під час свердління. Це пояснюється тим, що для даного виду обробки характерні максимальна глибина різання та зміна швидкості різання, переднього і заднього кутів уздовж ріжучої кромки свердла.

Аналіз експериментальних даних засвідчив, що серед параметрів режиму різання найбільш істотний вплив на температуру має подача, яка визначає товщину зрізаного шару. Вплив подачі особливо посилюється через кривизну оброблюваної поверхні.

Основною метою експерименту була перевірка відповідності результатів чисельного й аналітичного моделювання фактичній формі та розмірам подовжнього профілю отвору.

Загалом експериментальні результати підтвердили адекватність розробленої математичної моделі теплофізичних процесів при обробці отворів, оскільки більшість чисельних та аналітичних значень потрапили в межі довірчих інтервалів відповідних точок.

Отже, запропонована модель забезпечує достатню точність для оцінювання і прогнозування відхилень фактичного профілю отвору від номінального.

Результати експериментального визначення розбиття при свердлінні наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати виміру розбиття отвору при свердлінні

$k$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_i$	$s_i^2$	$\hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
1	1,0	1,2	0,9	1,0	1,0	1,04	0,014	1,075	0,0012
2	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,38	0,007	1,365	0,0002
3	1,2	1,0	1,2	1,1	1,1	1,12	0,007	1,075	0,0020
4	1,3	1,4	1,2	1,3	1,5	1,34	0,013	1,365	0,0006
5	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,38	0,017	1,375	0,0001

6	1,8	1,5	1,7	1,8	1,6	1,68	0,017	1,665	0,0002
7	1,2	1,2	1,5	1,4	1,5	1,36	0,023	1,375	0,0002
8	1,7	1,7	1,5	1,9	1,5	1,66	0,028	1,665	0,0001
$\Sigma$	-	-	-	-	-	10,96	0,126	-	0,0046

Значущість коефіцієнтів рівнянь регресії визначали за критерієм Стьюдента.

Для свердління отвору

$$s_y^2 = \frac{0.126}{8 \times 5} = 0.00315,$$

Табличне значення  $t_{(0,05;32)} = 1,6939$ .

Залежності розбиття отвору в деталі із Сталі 45 від параметрів режимів різання при свердлінні:

$$\Delta d_c(V, S, t) = 0.2588 + 0.1283V + 3t.$$

Аналогічні залежності, отримані при охолодженні 5 % розчином емульсолу, мають вигляд:

$$\Delta d_c(V, S, t) = 0.2213 + 0.1032V + 2.85t.$$

Аналіз отриманих залежностей показує, що найсуттєвіший вплив на величину розбиття отвору має швидкість різання. Збільшення цього параметра в межах досліджуваного діапазону призводить до зростання розбиття (до 3,5 мкм), що зумовлено підвищенням інтенсивності теплових потоків і, відповідно, збільшенням температурних деформацій інструменту та заготовки. Підвищення подачі та глибини різання також викликає зростання розбиття, однак їх вплив є менш відчутним: близько 0,2 мкм при збільшенні подачі та 0,6 мкм — при збільшенні глибини різання.

Дослідження механізму формування відхилень профілю отвору показало, що усунення цих похибок безпосередньо пов'язане з контролем і регулюванням температурних деформацій інструменту та деталі, тобто із забезпеченням стабільного температурного режиму в зоні різання. Проте застосування традиційних методів обробки отворів із використанням стандартного осьового інструменту та постійних режимів не дає можливості ефективно впливати на термомеханічні процеси. Тому для підвищення точності необхідно застосовувати

нові підходи, що базуються на нетрадиційних технічних і технологічних рішеннях.

До технічних рішень належить розробка вдосконалених конструкцій осьового інструменту, використання яких у поєднанні зі стандартними схемами різання дозволить покращити форму поперечного профілю отвору. Технологічні рішення передбачають створення нових методів і схем обробки, що забезпечуватимуть відновлення прямолінійності подовжнього профілю за рахунок використання низки фізичних ефектів.

Висновок. Експериментальні результати підтвердили, що швидкість різання є основним фактором, який впливає на точність оброблюваних отворів. Збільшення швидкості різання приводить до зростання розбиття отвору (до 3,5 мкм) внаслідок інтенсифікації теплових процесів і температурних деформацій інструменту та деталі. Подача та глибина різання також сприяють збільшенню розбиття, проте їх вплив є значно меншим: 0,2 мкм та 0,6 мкм відповідно.

## ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень розв'язано наукову задачу підвищення ефективності процесу свердління отворів у деталях конструкційного призначення на основі встановлення закономірностей між точністю обробки та температурним станом у зоні різання.

1. Узагальнення опублікованих досліджень підтверджує високу наукову та практичну значущість методів оцінювання якості обробки та забезпечення взаємозамінності отворів у машинобудуванні. Особливу увагу привертають питання точності обробки отворів на багатоопераційних верстатах. Встановлено, що частка технологічного оснащення з оригінальними елементами в таких верстатах сягає близько 40%, а витрати на його виготовлення становлять 70–80% вартості всього верстата, що підкреслює актуальність дослідження чинників, які впливають на точність обробки при різних технологічних схемах.

2. Досліджуваний кронштейн належить до корпусних деталей. Виконано якісний і кількісний аналіз технологічності його конструкції, визначено тип та організаційну форму виробництва. Проведено економічне обґрунтування вибору методу отримання заготовки та способів обробки поверхонь. Обрано та обґрунтовано технологічні бази. Сформовано технологічний маршрут обробки деталі, виконано розрахунок припусків, розмірно-точнісний аналіз процесу, визначено режими різання, обрано технологічне обладнання та встановлено норми часу.

3. Дослідження показали, що визначальний вплив на точність формування отвору має швидкість різання. Збільшення цього параметра в межах досліджуваного діапазону призводить до зростання розбиття отвору до 3,5 мкм унаслідок посилення теплових потоків і температурних деформацій інструменту та деталі. Подача і глибина різання також впливають на розбиття, але менш істотно — відповідно на 0,2 мкм і 0,6 мкм. Це підкреслює важливість контролю теплових процесів під час обробки отворів.

4. Розроблено пристрій для фрезерування пазів 9 і 10, призначений для роботи на горизонтально-фрезерному верстаті 6P82Г із дисковою

трьохсторонньою фрезою. Обґрунтовано принцип дії та наведено структурні схеми. Виконано силовий розрахунок приводу та аналіз точності. Подано опис конструкції та принципу роботи. Крім того, спроектовано пристрій для контролю допуску перпендикулярності між площинами. Наведено опис його конструкції та функціонування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інноваційні підходи в підготовці магістрів з прикладної механіки : навч. посіб. / Т. Є. Божко, Б. П. Валецький, Л. М. Самчук, Т. І. Четвержук . – Луцьк : Вежа-Друк, 2024. – 324 с.
2. Якімов О.В. Технологія машино- та приладобудування: навчальне видання / О.В. Якімов, В.І. Марчук. - Луцьк, 2005. – 710с.
3. Божидарнік В., Григорєва Н., Шабайкович В. Технологія виготовлення виробів: навчальний посібник / В. Божидарнік, Н. Григорєва, В. Шабайкович. – Л.: Надстиря, 2006. – 592с.
4. Гарнець В. М. Механічна обробка заготовок різанням: навч. посібник / В. М. Гарнець [та ін.]. – К. : КНУБА, 2008. – 164 с.
5. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А. Технологія машинобудування : підручник / Мельничук П.П., А.І. Боровик, П.А. Лінчевський. – Житомир: ЖДТУ, 2005.
6. Птаха Л.І. Основи технології машинобудування [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. тех. вузів III—IV рівнів акредитації / Л.І. Птаха. – Харків: ХПІ, 2009.
7. Виноградов А. А. Физические основы процесса сверления труднообрабатываемых материалов твердосплавными сверлами [Текст] / А. А. Виноградов. – К.: Наукова думка, 1985. – 264 с.
8. Криворучко Д. В. Основи прогнозуючого моделювання процесів різання методом скінчених елементів [Текст] : автореф. дис. на здобутт наукового ступеня докт. техн. наук: спец. 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти»/ Д. В. Криворучко. – Харків, НТУ «ХПІ», 2010. – 36 с.
9. Криворучко Д. В. Основи 3D–моделювання процесів механічної обробки методом скінчених елементів [Текст] : навчальний посібник / Д. В. Криворучко, В. О. Залого, В. Г. Корбач. – Суми: Вид–во СумДУ, 2010. – 208 с.
10. Мазур М. П. Аналітичний метод розрахунку температурних полів у системі різання [Текст] / Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки».– 2012. – №6. – С. 7–13

11. Мазур М. П. Розробка прискореного методу визначення оброблюваності матеріалів різанням на базі методу А. С. Кондратова [Текст] / М. П. Мазур, В. В. Мілько, О. Ф. Герасимчук // Труды Одесского политехнического университета. – 2004. – вып.2 (22). – С.1–4.

12. Малышко И. А. Влияние параметров инструмента на производительность ГПС [Текст] /И. А. Малышко, И. В. Киселева // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, 2008. – Вип.23 – С. 74–77

13. Малышко И.А. Температурные деформации детали при обработке отверстий [Текст] / И. А. Малышко, А. Г. Татьянченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов.– Донецк, 2001. – Вып.17. – С. 45–51.

14. Zabolotnyi, O., Bozhko, T., Machado, J., Yarmoliuk, S., Zaleta, O. (2021). Influence of the Cutting Temperature on the Surface Layer Quality When Grinding Sintered Porous Materials. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham / URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_45).

15. Малышко И.А. Моделирование процесса формирования продольного профиля отверстия с учетом термоупругих деформаций инструмента и детали при неустановившемся теплообмене [Текст] / И. А. Малышко, А. Г. Татьянченко // Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць НТУ «ХПІ» – Харків, 2002. – С. 211–216.

16. Zabolotnyi, O., Bozhko, T., Halchuk, T., Zaleta, O., Cagaňová, D. (2022). Investigation of the Surface Layer Hardness When Grinding Sintered Porous Workpieces. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Rauch, E., Peraković, D. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham / URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-06025-0\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-031-06025-0_35)

17. Теплові явища при обробці різанням [Текст] : навч. посіб. / В. С. Антонюк, С. Ан. Клименко, С. А. Клименко – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 144 с.