

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана
Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
магістр

на тему: Розроблення технології виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11 та
інформаційної моделі типових технологічних маршрутів
виробництва деталей штампів та пресформ для інструментального цеху

Виконав: студент 2 курсу, групи МПм-62
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

		Фецич Б.М.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Васильків В.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		Ткаченко І.Г.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри		Окіпний І.Б.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент		Сеник А.А.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд і технологій

(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістра

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 “Прикладна механіка”

(шифр і назва спеціальності)

студенту Фецичу Богдану Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технології виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11 та інформаційної моделі типових технологічних маршрутів виробництва деталей штампів та пресформ для інструментального цеху

Керівник роботи Васильків Василь Васильович, доктор технічних наук

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

Затверджені наказом ректора від « 14 » 11 2025__ року № 4/7 -977

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Креслення деталі, інформація про технологічні можливості машинобудівного підприємства (перелік устаткування тощо), крупносерійний тип виробництва (500 шт.)

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Розробити ТП виготовлення втулки та вибрати, а також спроектувати необхідне спорядження.

2. Розробити інформаційну модель типових технологічних маршрутів виробництва деталей штампів та пресформ для інструментального цеху

3. Розглянути питання стосовно охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях щодо виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11.

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

Креслення втулки, заготовки, протяжки – 1 лист А1,

Технологічна наладка на операцію 010 – 1 лист А1

Кондуктор для свердління – 1 лист А1

Багатошпиндельна свердлильна головка для одночасного свердління 4-х отворів – 1 лист А1

Графічна ілюстрація результатів наукових досліджень (3 А1)

Калібр-пробка (1 л. А3)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	Ткаченко І. Г., к.т.н., доц. каф. МТ		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	Стадник І.Я., д.т.н., проф. кафедри ОХ		

7. Дата видачі
завдання

15.11.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	<i>Аналітична частина</i>	28.11.2025	
	<i>Науково-дослідна частина</i>	04.12.2025	
	<i>Технологічно-конструкторська частина</i>	09.12.2025	
	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	16.12.2025	
	<i>Виконання графічної частини</i>	14.12.2025	
	<i>Опублікування матеріалів результатів досліджень</i>	12.12.2025	
	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	20.12.2025	
	<i>Подання роботи до кафедри та попередній захист</i>		
	<i>Захист магістерської роботи</i>	27.12.2025	

Студент

(підпис)

Фецич Б.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Васильків В.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Фецич Богдан Михайлович, кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр на тему: «Розроблення технології виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11 та інформаційної моделі типових технологічних маршрутів виробництва деталей штампів та прес-форм для інструментального цеху». Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, кафедра інжинірингу машинобудівних технологій, група МПм-62. Керівник – докт. техн. наук, професор Васильків Василь Васильович.

Мета роботи – розроблення технології виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11 та інформаційної моделі типових технологічних маршрутів виробництва деталей штампів та прес-форм для інструментального цеху.

Завдання досліджень: розробити технологічний процес виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11 та інформаційну модель типових технологічних маршрутів виробництва деталей штампів та прес-форм для інструментального цеху.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення втулки ОЛВ та типові технологічні маршрути виробництва деталей штампів та прес-форм.

Наукова новизна роботи полягає у розробленні інформаційної моделі типових технологічних маршрутів виробництва деталей штампів та прес-форм.

Практичне значення отриманих результатів: розроблено прогресивний технологічний процес виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11, вибрано та спроектовано відповідне спеціальне технологічне спорядження для його реалізації на основі урахування технологічних можливостей

машинобудівного підприємства. Також розроблено типові технологічні маршрути виготовлення деталей штампів та прес-форм та методику вибору таких маршрутів із використанням нейромережових моделей підтримки технологічних рішень.

Апробація. Основні результати роботи доповідались на міжнародній науково-технічній конференції “Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні” (9 – 10 грудня 2025 р., м. Одеса).

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, переліку посилань із 25 найменувань та додатків. Обсяг основної частини становить 106 сторінок, 6 рисунків, 22 таблиці, додатків – 48 сторінок. Графічна частина включає 7 аркушів формату А1.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТТИНА	
1.1 Загальний опис конструкції та службове призначення деталі Втулка ОЛВ12–121.11	11
1.2 Аналіз технічних вимог на оброблювану деталь «Втулка». Можливі методи їх забезпечення та контролю	13
1.3 Аналіз технологічності конструкції втулки	16
1.4 Висновки до розділу та задачі досліджень та розробок	19
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	
1.4 Актуальність розроблення інформаційної моделі типових технологічних маршрутів виробництва деталей штампів та прес-форм для інструментального цеху	21
2.2 Інформаційна модель типових технологічних маршрутів виробництва деталей штампів та прес-форм для інструментального цеху	22
2.3 Типові технологічні маршрути виготовлення деталей штампів та прес-форм та методика вибору таких маршрутів із використанням нейромережових моделей підтримки прийняття технологічних рішень	25
2.4 Висновки до розділу	30
3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	
3.1 Вибір технологічного способу отримання початкової заготовки його техніко-економічне обґрунтування	31
3.1.1 Аналіз марки матеріалу деталі та її технологічних характеристик	31
3.1.2 Способи отримання початкової заготовки та їх порівняння за критеріями	34
3.1.3 Розрахунок припусків дослідно-статистичним методом	36

3.2 Техніко-економічним обґрунтуванням раціонального способу отримання початкової заготовки	38
3.3 Кодування поверхонь та обґрунтування структури технологічного процесу та технологічних баз	41
3.4 Вибір технологічного устаткування та спорядження	45
3.5 Розробка змісту переходів та вибір інструментального забезпечення	50
3.6 Розрахунок необхідної кількості устаткування, його завантаження та типу виробництва	55
3.7 Розрахунків припусків розрахунково-аналітичним методом для переходу обробки центрального отвору $\varnothing 38H7(^{+0,025})$ на операції Автоматна токарна	58
3.8 Розрахунок припусків табличним методом	63
3.9 Розрахунок режимів різання розрахунково-аналітичним методом	65
3.10 Розрахунок режимів різання табличним методом	69
3.11 Розрахунок режимів різання на основі нейронних мереж	74
3.12 Технічне нормування ТП	75
3.13 Протяжка КРМ 12.121.11.03	77
3.13.1 Загальна характеристика конструкції	77
3.13.2 Хвостовик і напрямна частина	78
3.13.3 Різальна частина	78
3.13.4 Калібрувальна частина	78
3.13.5 Взаємодія з оброблюваною деталлю	79
3.14 Технологічне спорядження для реалізації технологічної операції одночасного свердління 4-ох отворів $\varnothing 13H12$	79
3.14.1 Опис конструктивного виконання технологічного спорядження для реалізації технологічної операції одночасного свердління 4-ох отворів $\varnothing 13H12$	79
3.14.2 Базування, фіксація, затиск і розтискування деталі в кондукторі	82

3.14.3 Монтаж пристосування на верстат 2Н150	84
3.14.4 Принцип роботи багатошпіндельної свердлильної головки	84
3.15 Розрахунок геометричних параметрів калібр-пробки для контролю отвору $\varnothing 38H7$	85
3.16 Висновки до розділу	87
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	88
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при отриманні заготовки втулки зі сталі 1.0552 (С35Е) методом лиття в кокіль	88
4.2 Загальна характеристика комплексу потенційних небезпек та шкідливих умов праці при реалізації технологічного процесу механічної обробки втулки ОЛВ 12.121.11	90
4.3 Загальний аналіз впливу вібрації на організм людини та відповідні заходи щодо зниження вібрації технологічного устаткування на дільниці	93
4.4 Загальні положення про моніторинг і прогнозування надзвичайних ситуацій	98
4.5 Моніторинг надзвичайних ситуацій на дільниці виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11	101
4.6 Особливості моніторингу та управління ризиками на дільниці виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11 в умовах воєнного стану	103
4.7 Висновки до розділу	105
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	106
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	108
ДОДАТКИ	112
Додаток А. Комплект технологічної документації та специфікації	113
Додаток Б. Графічний ілюстративний матеріал	
Додаток В. Копії публікацій	

ВСТУП

Сучасне машинобудування характеризується високими вимогами до точності, надійності та ефективності виробництва деталей штампів і прес-форм. В умовах швидкого розвитку промисловості та впровадження технологій індустрії 4.0 особливо актуальним стає застосування комплексного підходу до проєктування і виробництва деталей, що дозволяє оптимізувати технологічні процеси, підвищити продуктивність і зменшити витрати матеріалів. Зростаючі вимоги до якості продукції зумовлюють необхідність розробки прогресивних технологій, які забезпечують високу точність обробки, контроль геометричних параметрів і ефективне використання устаткування інструментального цеху.

Втулка ОЛВ 12.121.11 є важливим конструктивним елементом штампів і прес-форм, від точності виготовлення якого значною мірою залежить працездатність і довговічність всієї конструкції. Складна форма деталі, необхідність дотримання точних допусків і квалітетів, а також високі вимоги до чистоти обробки створюють умови для ретельного аналізу технологічності конструкції та обґрунтованого вибору методів механічної обробки. Ефективність виробництва такої деталі значною мірою визначається правильним вибором технологічного устаткування, інструментального спорядження та способів базування, що забезпечують стабільність розмірних і геометричних параметрів.

У сучасному виробництві особливе значення набуває впровадження інформаційних моделей, які дозволяють інтегрувати дані про конструктивні особливості деталей, технологічні операції та використане устаткування. Такі моделі сприяють систематизації технологічних маршрутів, зменшенню людського фактору при прийнятті рішень, підвищенню продуктивності та точності виконання операцій.

Застосування інформаційних моделей у поєднанні з сучасними методами обробки дозволяє значно скоротити підготовчий час виробництва та підвищити ефективність роботи інструментальних цехів.

Актуальність роботи також визначається необхідністю впровадження методів підтримки технологічних рішень на основі нейромережевих алгоритмів, що забезпечує оптимальний вибір технологічних маршрутів залежно від характеристик деталі, матеріалу заготовки та наявного виробничого устаткування. Такий підхід дозволяє автоматизувати процес планування виробництва, знизити ризик помилок та забезпечити високий рівень стандартизації технологічних процесів.

Таким чином, дослідження присвячене комплексному підходу до розробки технології виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11 з одночасним створенням інформаційної моделі типових технологічних маршрутів виробництва деталей штампів і пресформ для інструментального цеху. Робота поєднує аналіз конструктивних особливостей деталі, оцінку технологічності, розробку прогресивного технологічного процесу та проектування спеціального технологічного спорядження. Виконані дослідження мають як наукову, так і практичну цінність, оскільки дозволяють підвищити ефективність виробництва, знизити матеріальні та трудові витрати і забезпечити стабільність якості виготовлених деталей.

АНАЛІТИЧНА ЧАСТТИНА

1.1 Загальний опис конструкції та службове призначення деталі Втулка ОЛВ12.121.11

Деталь “Втулка ОЛВ12.121.11” є елементом машинобудівної конструкції, призначеним для забезпечення точного взаємного розташування, напрямлення та опори обертових або поступально рухомих деталей. Втулка встановлюється в корпусні деталі або вузли машин і слугує проміжною ланкою між валом та корпусом, зменшуючи зношування спряжених поверхонь і забезпечуючи задані посадки.

У виробі втулка виконує функцію напрямної та опорної деталі, сприймає радіальні навантаження, забезпечує співвісність вузла та стабільність роботи механізму. Застосування втулки дозволяє підвищити ремонтпридатність вузла, оскільки у разі зношування заміні підлягає саме втулка, а не більш дорогі корпусні деталі.

Втулка є тілом обертання складної ступінчастої форми з фланцевою частиною. Конструкція деталі є осьово-симетричною та включає внутрішні і зовнішні циліндричні поверхні різних діаметрів, торцеві поверхні, фаски та галтелі. Така форма забезпечує точне базування втулки в корпусі та її надійне осьове фіксування.

Наявність фланцевої частини дозволяє обмежити осьове переміщення втулки в посадковому отворі корпусу та спрощує монтаж вузла. Внутрішній отвір втулки є робочою поверхнею, яка безпосередньо взаємодіє з валом або іншою рухомою деталлю.

Конструктивно втулка складається з таких основних елементів:

- внутрішній циліндричний отвір $\varnothing 38H7(^{+0,025})$ та отвір $\varnothing 55^{+0,12}_{-0,06}$ – робочі поверхні, що забезпечують посадку та напрямлення валу та розміщення підшипників; до цих поверхонь висуваються підвищені вимоги щодо точності та шорсткості;
- зовнішні циліндричні поверхні – призначені для встановлення втулки в корпусній деталі з відповідною посадкою;
- фланцева частина – служить для осьового упору та фіксації втулки у складальному вузлі через отвори $\varnothing 12,10 H12(^{+0,18})$;
- шпонковий паз 12Js9 ($\pm 0,021$) – виконує функцію передачі крутного моменту від вала-шестерні на корпус.
- торцеві поверхні – забезпечують правильне осьове положення деталі;
- фаски та радіусні переходи – полегшують складання, зменшують концентрацію напружень і підвищують довговічність деталі.

Згідно з кресленням, втулка виготовляється зі сталі 10552 (ДМ 1681). Обраний матеріал забезпечує достатню міцність, зносостійкість та технологічність при механічній обробці.

Для внутрішнього отвору та базових поверхонь встановлені жорсткі вимоги до допусків розмірів, форми та взаємного розташування, що обумовлено функціональним призначенням деталі. Якість поверхонь характеризується заданими параметрами шорсткості, які забезпечують надійну роботу спряження та зменшення тертя.

У процесі експлуатації втулка встановлюється в корпусну деталь з натягом або перехідною посадкою, а через її внутрішній отвір проходить вал із зазорною або перехідною посадкою. Така схема спряження забезпечує необхідну точність напрямлення та можливість компенсації зношування.

Втулка працює в умовах контактних навантажень і тертя, тому її геометрична точність та якість обробки безпосередньо впливають на ресурс і надійність усього вузла.

Деталь «Втулка» є відповідальним елементом машинобудівного вузла, який забезпечує опору, напрямлення та точність взаємного розташування деталей. Раціональна конструкція з фланцевою частиною, правильно вибраний матеріал та встановлені вимоги до точності дозволяють забезпечити надійну та довговічну роботу механізму. Розглянута втулка є технологічною у виготовленні та зручною в монтажі, що робить її доцільною для застосування в серійному виробництві.

1.2 Аналіз технічних вимог на оброблювану деталь «Втулка».

Можливі методи їх забезпечення та контролю

Відповідно до робочого креслення деталі «Втулка ОЛВ12.121.11», до неї встановлено низку конкретних технічних вимог, що визначають її працездатність у складі вузла. Втулка належить до деталей типу тіл обертання з фланцевою частиною і працює у відповідальному циліндричному спряженні з валом та корпусом. Основними контрольованими параметрами є точність розмірів внутрішнього отвору, зовнішніх посадкових поверхонь, співвісність, шорсткість та якість поверхневого шару.

Основною робочою поверхнею деталі є внутрішній циліндричний отвір діаметром $\varnothing 38$ Н7 (згідно креслення). Даний квалітет точності забезпечує гарантований зазор у спряженні з валом відповідного допуску та створює умови для надійного напрямлення оберткової деталі.

До отвору також висуваються вимоги щодо круглості та циліндричності, співвісності відносно зовнішніх посадкових поверхонь, шорсткості поверхні Ra 2,5 (згідно технічних вимог креслення).

У випадку використання штампованої заготовки забезпечення зазначених вимог досягається застосуванням такої послідовності обробки: свердління заготовки → чорнове розточування → чистове розточування або протягування (у серійному виробництві) → свердління з зенкуванням. Остаточне формування точності та шорсткості доцільно виконувати розгортанням або калібрувальним протягуванням.

Контроль діаметра отвору здійснюється індикаторними нутромірами, штангенциркулем 530-312 Mitutoyo, а в умовах серійного виробництва — граничними калібрами-пробками.

Зовнішня циліндрична поверхня втулки, призначена для встановлення в корпусі, має діаметр $\varnothing 80$. Така посадка забезпечує щільне та точне встановлення втулки в корпусній деталі з фіксацією її положення.

До цієї поверхні висуваються вимоги щодо точності розміру, співвісності з внутрішнім отвором, шорсткості поверхні Ra 2,5–1,25.

Забезпечення вимог до зовнішнього діаметра досягається чистовим точінням у жорсткому закріпленні з базуванням по внутрішньому отвору. За необхідності підвищення точності та стабільності посадки можливе застосування циліндричного шліфування.

Контроль здійснюється мікрометрами та кільцевими граничними калібрами.

Фланцева частина втулки з зовнішнім діаметром $\varnothing 130$ мм та торцеві поверхні виконують функцію осьового базування і фіксації

деталі у вузлі. До них висуваються вимоги щодо площинності та перпендикулярності відносно осі отвору.

Шорсткість торців, згідно креслення, не повинна перевищувати Ra 6,3 мкм, що є достатнім для надійного контакту з опорними поверхнями корпусу. Її контролюють за допомогою взірців шорсткості згідно ISO 21920.

Забезпечення цих вимог здійснюється чистовим точінням торців за один установ, що мінімізує похибки взаємного розташування. Контроль торцевого биття та перпендикулярності виконується за допомогою індикаторів годинникового типу на контрольній плиті або в центрах (прилад для вимірювання биття ПБ-250 ГОСТ 8137-81).

Втулка виготовляється зі сталі 1.0552 DIN 1681 без подальшої термічної обробки. У зв'язку з цим важливим є забезпечення належного стану поверхневого шару після механічної обробки: відсутність задирок, пропалів і слідів вібрації.

Досягнення необхідної якості поверхонь забезпечується вибором раціональних режимів різання, використанням гострого інструменту та мастильно-охолоджувальних рідин.

Контроль відповідності втулки вимогам креслення включає:

- вимірювання діаметрів отвору та зовнішніх поверхонь нутромірами, шаблонами, мікрометрами та калібрами;
- контроль співвісності внутрішнього та зовнішнього діаметрів індикаторними методами;
- контроль шорсткості профілометрами або еталонами;
- візуальний контроль стану поверхонь.

Таким чином, технічні вимоги до деталі «Втулка» зосереджені насамперед на забезпеченні точності внутрішнього отвору $\varnothing 38H7$, посадкової поверхні $\varnothing 60h6$ та їх співвісності. Реалізація цих вимог можлива шляхом застосування раціональних методів механічної

обробки, точного базування та ефективного метрологічного контролю, що створює передумови для надійної роботи деталі у складі машинобудівного вузла.

1.3 Аналіз технологічності конструкції втулки

Технологічність конструкції деталі є сукупністю властивостей, що визначають її придатність до виготовлення, контролю та експлуатації з мінімальними витратами праці, матеріалів і часу за умови забезпечення вимог креслення [29]. Аналіз технологічності втулки є необхідним етапом під час розроблення технологічного процесу її виготовлення.

У машинобудуванні розрізняють два основні методи оцінки технологічності конструкції деталі: якісний та кількісний.

Якісний аналіз технологічності

Якісний аналіз технологічності базується на інженерній оцінці конструкції деталі без використання розрахункових показників. Він передбачає аналіз форми, розмірів, взаємного розташування поверхонь, можливості базування, закріплення та контролю.

Для деталі «Втулка» якісний аналіз показує, що її конструкція є технологічною, оскільки:

- деталь має форму тіла обертання, що є найбільш зручною для механічної обробки на токарних верстатах;
- важкодоступні для обробки та контролю поверхні відсутні;
- всі поверхні деталі є відкритими, зручними та доступними для вимірювання стандартними засобами контролю;
- конструкція дозволяє використовувати прості та надійні схеми базування;

— для виготовлення деталі можна застосовувати звичайні та високопродуктивні методи механічної обробки без використання спеціального або унікального устаткування.

Разом з тим, з точки зору послідовності обробки, багато-перехідною поверхнею є внутрішній отвір $\varnothing 38H7$, для якого необхідне поетапне формування точності та шорсткості.

Кількісний аналіз технологічності ґрунтується на використанні розрахункових показників, які дозволяють об'єктивно оцінити рівень технологічності конструкції та порівняти її з іншими варіантами. Для оцінки технологічності втулки застосовується кількісна система показників, що включає: коефіцієнт точності; коефіцієнт шорсткості; коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів.

Для втулки більшість поверхонь мають середні та нормальні квалітети точності, а підвищені вимоги встановлені лише до внутрішнього отвору $\varnothing 38H7$ та окремих посадкових поверхонь, що свідчить про достатньо високий рівень технологічності за коефіцієнтом точності.

Як відомо, коефіцієнт шорсткості відображає частку поверхонь із підвищеними вимогами до якості поверхні [11, 30]. У конструкції втулки вимоги до малої шорсткості пред'являються лише до функціональних поверхонь, тоді як допоміжні та торцеві поверхні допускають більші значення R_a . Це дозволяє використовувати стандартні режими різання та уникати надмірного ускладнення технологічного процесу.

Також, як відомо, коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів визначається використанням типових геометричних форм, стандартних фасок, радіусів та посадок [11, 30]. Втулка містить уніфіковані циліндричні та торцеві поверхні, що дає змогу застосовувати стандартний різальний інструмент, типові технологічні бази та засоби контролю.

У таблиці 1.1 наведено результати розрахунків показників технологічності деталі за різними критеріями.

Таблиця 2.2 – Розрахунок показників технологічності деталі за різними критеріями

№ з/п	Назва показника		Розрахункові залежності та значення відповідних параметрів
1	Кількість розмірів відповідного квалітету точності чи класу шорсткості		n_i
2	У деталі кількість	уніфікованих типорозмірів і конструктивних елементів	$N_{ye}=21$
3		конструктивних елементів	$N_e=24$
4	Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів		$K_{ye} = \frac{N_{ye}}{N_e} \quad K_{ye} = \frac{21}{24} = 0,88$
5	Середній клас шорсткості		$B_{CP} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} \quad B_{CP} = \frac{2 \cdot 14 + 3 \cdot 6 + 4 \cdot 3 + 7 \cdot 1}{14 + 6 + 3 + 1} = 2,71$
6	Коефіцієнт шорсткості		$K_{ш} = 1/B_{CP} \quad K_{ш} = 1/2,71 = 0,37$
7	Середній квалітет точності		$T_{CP} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i}$ $T_{CP} = \frac{14 \cdot 11 + 13 \cdot 1 + 12 \cdot 7 + 11 \cdot 2 + 9 \cdot 2 + 7 \cdot 1}{11 + 1 + 7 + 2 + 2 + 1} = 12,42$
8	Коефіцієнт точності		$K_{Tq} = 1 - (T_{CP})^{-1} \quad K_{Tq} = 1 - (1/12,42) = 0,92$
9	Умова технологічності за критерієм	точності розмірів	$K_{Tq}=0,92>[0,80]$; тут і далі у дужках показано допустиме значення показника
10		шорсткості	$K_{ш}=0,37>[0,16]$
11		уніфікації	$K_{ye}=0,88>[0,60]$
12	Висновки		Деталь технологічна, так як характеризується середньою точністю розмірів та задовільною шорсткістю та уніфікаційністю

У підсумку відзначимо, що конструкція втулки є технологічною та раціональною. Відсутність важкодоступних поверхонь, можливість застосування звичайних і високопродуктивних методів обробки, а також обмежена кількість поверхонь із підвищеними вимогами до точності та шорсткості створюють сприятливі умови для розроблення ефективного технологічного процесу її виготовлення.

1.4 Висновки до розділу та задачі досліджень та розробок

У розділі виконано опис конструкції та службового призначення деталі “Втулка ОЛВ12.121.11”, проаналізовано технічні вимоги на таку оброблювану деталь, визначено можливі методи їх забезпечення та контролю. Проведено аналіз технологічності конструкції втулки.

З метою розробки ТП виготовлення згаданої деталі поставлено такі завдання:

- вибрати технологічний спосіб отримання початкової заготовки і виконати його техніко-економічне обґрунтування;
- проаналізувати марку матеріалу деталі та її технологічні характеристики;
- визначити способи отримання початкової заготовки та їх порівняти їх за різними критеріями;
- виконати розрахунок припусків дослідно-статистичним методом;
- провести техніко-економічним обґрунтуванням раціонального способу отримання початкової заготовки;
- здійснити кодування поверхонь та на його основі виконати вибір та обґрунтування структури технологічного процесу та технологічних баз;
- вибрати технологічне устаткування та описати його особливості;
- розробити зміст переходів та вибрати інструментальне забезпечення;

- розрахувати необхідну кількість технологічного устаткування, показники його завантаження та типу виробництва;
- розрахувати припуски розрахунково-аналітичним методом для переходу обробки центрального отвору $\varnothing 38H7^{(+0,025)}$ на операції Автоматна токарна;
- розрахувати припуски табличним методом;
- розрахувати режими різання розрахунково-аналітичним методом;
- виконати розрахунок режимів різання табличним методом;
- здійснити розрахунок режимів різання на основі нейронних мереж;
- виконати технічне нормування розробленого ТП;
- вибрати та описати конструкцію протяжки КРМ 20-143.02.00 для отримання шпонкового пазу;
- вибрати та описати конструкцію технологічного спорядження для реалізації технологічної операції одночасного свердління 4-ох отворів $\varnothing 12H12$ (кондуктора і свердлильної головки), визначити особливості їх базування, фіксації, затиску і розтискування деталі в кондукторі, монтажу пристосування на верстаті 2Н150;
- виконати розрахунок геометричних параметрів калібр-пробки для контролю отвору $\varnothing 38H7$.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Актуальність розроблення інформаційної моделі типових технологічних маршрутів виробництва деталей штампів та прес-форм для інструментального цеху

Розвиток інструментального виробництва вимагає переходу до використання формалізованих інформаційних моделей, які відображають структуру технологічних маршрутів і забезпечують автоматизовану підтримку проектування технологічних процесів. Для малих і середніх підприємств, які займаються виготовленням штампів та прес-форм, особливо актуальним є застосування таких моделей, що дозволяють уникнути залежності від дорогих універсальних CAD/CAM систем та зменшити обсяг ручної роботи технолога [31].

У сучасних виробничих умовах, особливо в секторі малих і середніх машинобудівних підприємств, актуальною є проблема скорочення часу та зниження трудомісткості технологічної підготовки виробництва, пов'язаної з розробкою технологічних процесів на основі опрацювання даних про наявний парк технологічного устаткування, спорядження та їхній технічний стан. На більшості підприємств така підготовка здійснюється вручну або із використанням частково формалізованих схем, що призводить до високої ймовірності помилок, дублювання інформації та зростання собівартості виготовлення штампового та прес-формового спорядження.

Універсальні програмні комплекси CAD/CAM/CAE, які дозволяють автоматизувати процеси аналізу технологічності конструкції та маршрутизації операцій, часто є надмірно дорогими та малодоступними. Їх придбання і підтримка особливо ускладнена в умовах воєнного стану, коли підприємства працюють у режимі обмежених фінансових ресурсів, нестабільності постачання та необхідності оперативного реагування на виробничі виклики. Окрім того, більшість універсальних систем орієнтовані на великі

виробництва та потребують фінансових вкладень та наявності кваліфікованого персоналу для обслуговування, що створює додаткові витрати і подовжує цикл технологічної підготовки виробництва.

Для підвищення ефективності виробничої діяльності доцільно використовувати спеціалізований типовий технологічний процес (ТП) саме для умов конкретного інструментального виробництва. Такий ТП, адаптований під конкретні потреби підприємства, враховує реальні технологічні можливості, стан устаткування, наявність спорядження та специфіку конструктивних елементів штампів і прес-форм. Важливою перевагою є можливість швидкої актуалізації технологічних маршрутів у разі модернізації парку верстатів, зміни номенклатури або впровадження нових методів оброблення.

2.2 Інформаційна модель типових технологічних маршрутів виробництва деталей штампів та прес-форм для інструментального цеху

Інформаційна модель технологічного маршруту ґрунтується на принципі представлення деталі у вигляді множини елементарних геометричних поверхонь, кожна з яких описується набором параметрів, необхідних для вибору та формування відповідних технологічних операцій. Вхідними даними для формування моделі є операційне CAD-модель, у якій усі елементи поверхонь мають координатний опис.

Базові аспекти такого підходу висвітлено у праці [31].

У пропонуваному типовому технологічному маршруті для деталей штампів і прес-форм нами виділено декілька груп елементарних поверхонь, для яких формують окремі параметричні матриці. До таких елементів належать: циліндричні охоплюючі та охоплювані поверхні, плоскі поверхні, центрувальні елементи, пази, фаски, різі та елементи складного контуру. Кожна поверхня описується координатами, формою, розмірами, припусками, орієнтацією у просторі та зв'язками із технологічними базами. При цьому,

формалізація поверхонь забезпечується через матричні моделі. Зокрема, циліндричні поверхні задано матрицею діаметрів і довжин [5]:

$$D^{xxx}_{obt} = (D^{xxx}_{o1} \times h^{xxx}_{o1}, D^{xxx}_{o2} \times h^{xxx}_{o2}, D^{xxx}_{o3} \times h^{xxx}_{o3}, \dots, D^{xxx}_{oDn} \times h^{xxx}_{oDn}), \quad (2.1)$$

де $D^{xxx}_{o1}, D^{xxx}_{o2}, D^{xxx}_{o3}, \dots, D^{xxx}_{oDn}$ – масив діаметрів циліндричних поверхонь;

$h^{xxx}_{o1}, h^{xxx}_{o2}, h^{xxx}_{o3}, \dots, h^{xxx}_{oDn}$ – масив довжин циліндричних поверхонь, розмір яких

залежать від висоти плит, прокладок, матриць, конструкції заготовки тощо;

xxx – номер технологічної операції у структурі ТМ;

$o1, o2, \dots, oDn$ – індекси циліндричних поверхонь.

Подібно отвори задано матрицею діаметрів, координат і глибин:

$$d^{xxx}_{rozt} = \begin{pmatrix} d^{xxx}_{p1} \times h^{xxx}_{p1} & d^{xxx}_{p2} \times h^{xxx}_{p2} & d^{xxx}_{p3} \times h^{xxx}_{p3} \dots & \dots d^{xxx}_{pdn} \times h^{xxx}_{pdn} \\ X^{xxx}_{p1} & X^{xxx}_{p2} & X^{xxx}_{p3} & X^{xxx}_{pdn} \\ Y^{xxx}_{p1} & Y^{xxx}_{p2} & Y^{xxx}_{p3} & Y^{xxx}_{pdn} \end{pmatrix}, \quad (2.2)$$

де d^{xxx}_{pi} – діаметр i – ого отвору;

$h^{xxx}_{p1}, h^{xxx}_{p2}, h^{xxx}_{p3}, \dots, h^{xxx}_{pdn}$ – глибини отворів, розмір яких залежать від висоти

плит, прокладок, матриць, заготовки (в основному дані отвори є наскрізні);

$p1, p2, \dots, pdn$ – масив індексів отворів;

$X^{xxx}_{pi}, Y^{xxx}_{pi}$ – координати осі отвору відносно технологічної бази деталі.

Для спрощення розмірної ідентифікації, центр усіх циліндричних поверхонь співпадає із власною віссю деталі обертання.

Характеристики плоских поверхонь описано матрицею координат та відповідних нормалей:

$$R^{xxx} = \begin{pmatrix} r_1^{xxx} & r_2^{xxx} & r_3^{xxx} \dots & r_{Rn}^{xxx} \\ X_1^{xxx} & X_2^{xxx} & X_3^{xxx} \dots & X_{Rn}^{xxx} \\ Y_1^{xxx} & Y_2^{xxx} & Y_3^{xxx} \dots & Y_{Rn}^{xxx} \\ Z_1^{xxx} & Z_2^{xxx} & Z_3^{xxx} \dots & Z_{Rn}^{xxx} \\ \vec{n}_1^{xxx} & \vec{n}_2^{xxx} & \vec{n}_3^{xxx} \dots & \vec{n}_{Rn}^{xxx} \end{pmatrix}, \quad (2.3)$$

де $r_1^{xxx}, r_2^{xxx}, r_3^{xxx}, \dots, r_{Rn}^{xxx}$ – глибини отворів, розмір яких залежать від висоти уступів, прокладок, матриць, заготовки (як і у попередньому випадку в основному такі отвори є наскрізними);

xxx – номер технологічної операції;

$1, 2, \dots, Rn$ – індекси отворів;

$X^{xxx}_i, Y^{xxx}_i, Z^{xxx}_i$ – координати площини отвору відносно технологічної бази деталі;

$\vec{n}_i^{xxx}$ – одинична нормаль площини.

Відповідно припуски на обробку описано окремими додатковими такими параметричними матрицями:

- для охоплюючих та охоплюваних циліндричних поверхонь:

$$Z^{xxx}_{obt} = (Z^{xxx}_{o1}, Z^{xxx}_{o2}, Z^{xxx}_{o3}, \dots, Z^{xxx}_{oDn}); \quad Z^{xxx}_{rozt} = (Z^{xxx}_{p1}, Z^{xxx}_{p2}, Z^{xxx}_{p3}, \dots, Z^{xxx}_{pdn});$$

- для плоскої поверхні: $Z_r^{xxx} = (z^{xxx}_{r1}, z^{xxx}_{r2}, z^{xxx}_{r3}, \dots, z^{xxx}_{rRn})$.

Інформація про центрувальні елементи подана у вигляді матриць, які однозначно описують місця базування заготовки:

$$d^{xxx}_{pозт} = \begin{pmatrix} d^{xxx}_{ц1} & d^{xxx}_{ц2} & d^{xxx}_{ц3} \dots & \dots & d^{xxx}_{цm} \\ X^{xxx}_{ц1} & X^{xxx}_{ц2} & X^{xxx}_{ц3} \dots & \dots & X^{xxx}_{цm} \\ Y^{xxx}_{ц1} & Y^{xxx}_{ц2} & Y^{xxx}_{ц3} \dots & \dots & Y^{xxx}_{цm} \end{pmatrix}, \quad (2.4)$$

де $d^{xxx}_{цi}$ – діаметр i -ого центрувального отвору;

$ц1, ц2, \dots, цm$ – індекси отворів;

$X^{xxx}_{pi}, Y^{xxx}_{pi}$ – координати осі отвору відносно технологічної бази деталі.

Така структура дозволяє однозначно описати деталь для подальшої автоматизованої маршрутизації.

У межах розробленої інформаційної моделі технологічний маршрут розробляють шляхом встановлення відповідностей між типом поверхні, її параметрами та наявними технологічними можливостями виробництва (устаткування, інструмент, технологічне спорядження) на основі нейронних мереж. На основі цього створюють операційну карту. Особливо важливим є

те, що інформаційна модель дозволяє враховувати реальний стан технологічного устаткування, що є вирішальним фактором для малих підприємств. Модель може бути швидко адаптована у разі заміни верстатів, модернізації або зміни номенклатури деталей. Крім того, інтеграція нейронних мереж дозволяє прогнозувати оптимальні технологічні рішення, автоматично підбирати інструмент та визначати рекомендовані режими оброблення.

2.3 Типові технологічні маршрути виготовлення деталей штампів та прес-форм та методика їх вибору із використанням нейромережевих моделей підтримки прийняття технологічних рішень

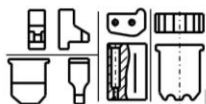
Розроблений загальний типовий технологічний маршрут охоплює 23 групи конструктивних елементів, що характерні для штампового та прес-формового спорядження (рис. 2.1). До них належать: круглі пуансони зі складним зовнішнім та внутрішнім контуром; прямокутні й фасонні пуансони; суцільні та збірні матриці штампів; термооброблені матриці й виштовхувачі; вставки матриць; пуансоно-тримачі та знімачі штампів; обойми штампів гнуття; термооброблені плити, трафарети та планки; круглі деталі зі складним контуром і покриттям (пуансони, вставки, знаки); фасонні термооброблені деталі з покриттям (пуансони, вставки, вкладиші, знаки); суцільні матриці прес-форм; клинові круглі та клинові прямокутні матриці прес-форм; деталі, виготовлені із заготовок холодного видавлювання; деталі з різями; круглі та прямокутні завантажувальні камери і пуансони прес-форм; обойми, тримачі, плити зняття та ливникові плити; круглі деталі зі гладкими та ступінчастими поверхнями після термообробки (пуансони, втулки, колонки, пуансон-матриці); круглі деталі без термообробки з пазами, скосами, лисками та отворами; термооброблені корпуси, стійки, основи та приляги; а також плити, планки, основи й корпуси без термообробки. Така класифікація дозволяє формувати уніфіковані підходи до вибору технологічних операцій та

забезпечує можливість подальшої автоматизації маршрутизації в нейромережових моделях підтримки технологічних рішень [6].

01. Пуансони штампів круглі із елементами, які ускладнені зовнішнім і внутрішнім контуром.



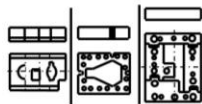
02. Пуансони штампів прямокутні та фасонні.



03. Матриці штампів цільні.



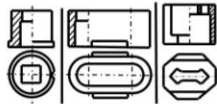
04. Матриці штампів збірні.



05. Термооброблені матриця та виштовхувачі.



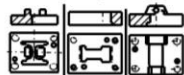
06. Вставки матриць штампів.



07. Пуансоно-тримачі, знімачі штампів.



08. Обойма штампів гнуття.



09. Плити, трафарети, планки штампів термооброблені.



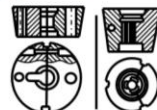
10. Деталі круглі із елементами, які ускладнюють зовнішній та внутрішній контур з покриттям (пуансони, вставки, знаки).



11. Деталі фасонні термічно оброблені із покриттям (пуансони, вставки, знаки, вкладиші).



13 Матриці прес-форм клинові круглі.



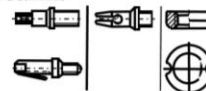
14 Матриці прес-форм клинові прямокутні.



15 Деталі, які отримують із початкових заготовок, отриманих методом методом холодного видавлювання.



16 Деталі із різьбами.



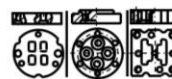
17 Камери завантажувальні та пуансони круглі прес-форм.



18 Камери завантажувальні і пуансони прямокутні прес-форм.



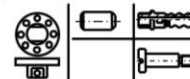
19 Обойми, тримачі, плити зняття і ливникові плити прес-форм.



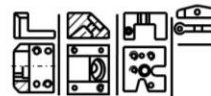
20. Деталі круглі із гладкими та ступінчастими поверхнями із термообробкою (пуансони, пуансон-матриці, втулки, колонки).



21. Деталі круглі без термообробки із наявністю пазів, скосів, лисок, отворів.



22. Корпуси, стійки основи, прілими із термообробкою.



23 Плити, планки, основи, корпуси без термообробки.



Рисунок 2.1 - Групи конструктивних елементів штампів та прес-форм

Кожна група характеризується специфічним масивом підготовчих, механічних, термічних, шліфувальних та координатно-розточувальних операцій, що визначаються геометрією поверхні, точністю, жорсткістю та типом заготовки.

У таблиці 2.1 показано прилад фрагменту технологічного маршруту виготовлення суцільних матриць прес-форм.

Технологічна робота у межах певного типового маршруту зводиться до визначення геометричних параметрів поверхонь: діаметрів і довжин циліндричних елементів, ширини і довжини плоских поверхонь, координат центрів отворів, припусків на обробку та розташування поверхонь відносно технологічної бази. Такий підхід дає можливість формувати технологічний маршрут через вибір послідовності необхідних операцій з оптимізованого набору.

У запропонованій методиці типовий технологічний маршрут може бути реалізований із використанням нейронних мереж. Такий підхід дозволяє реалізувати введення змінних параметрів, автоматичну генерацію операційних карт, вибір устаткування відповідно до його можливостей, а також інтеграцію довідкового матеріалу без потреби ручного внесення нормативних значень.

Технологічний маршрут включає: попередні операції (розмічання, слюсарна обробка), механічну обробку (токарну, фрезерну, координатно-розточувальну, довбальну, шліфувальну), електроерозійні операції, термічну обробку та нанесення покриттів. Для кожної групи деталей типового маршруту визначено орієнтовні схеми базування, окремі режими різання, припуски, черговість чистових і напівчистових переходів, необхідні засоби контролю та вимоги до точності.

Особливо важливо, що типовий технологічний процес може бути інтегрований у програмне середовище, побудоване із використанням нейронних мереж. Така система здатна навчатися на основі архівних технологічних процесів, типових операцій, карти спорядження підприємства та параметрів реального устаткування. У результаті формується модель, яка може автоматично генерувати технологічний маршрут для нової деталі,

Таблиця 2.1 - Прилад фрагменту технологічного маршруту виготовлення суцільних матриць прес-форм (карта №12)

005. 3808 ТОКАРНА З ЧПК 381114 DMG MORI, Yamazaki Mazak, Okuma, Haas Automation, Doosan Machine Tools, . LT300-MA Розточити отв. $d^{005}_{розт}$ із припуском $Z^{005}_{розт}$. Інше начисто 010. 9016 ПЛОСКОШЛІФУВАЛЬНА 381313 Плоскошліфувальний: Cormak 600×1500, Chevalier FSG-618M, Profimach, Danobat Шліфувати площини R^{010}. 015. 4610 КООРДИНАТНО-РОЗТОЧУВАЛЬНА 381363 Координатно-розточувальний :TOS, DMG Mori, Mazak, Hurco, Haas Розточити отв. $d^{015}_{розт}$ із припуском $Z^{015}_{розт}$. Центрувати $d^{015}_{центр}$ розмітити R^{015} 020. 0301 РОЗМІЧАННЯ Координатно-розмічальний верстат, цифрова вимірювальна система DMM Розмітити R^{020} 025. 3908 ФРЕЗЕРНА З ЧПК 3908 ФРЕЗЕРНИЙ З ЧПК : Mikron UME 560 CNC Universal Milling Machine; ZEATZ JARBE F3 Universal CNC Milling Machine; StyleCNC Automatic CNC Metal Milling Machine; CNC 1325 Industry Milling Machine. Фрезерувати R^{025} із припуском Z^{025}_p. 030. 3808 ТОКАРНА З ЧПК Розточити отв. $d^{030}_{розт}$ із припуском $Z^{030}_{розт2}$. Інші начисто. 035. 0303 ДОВБАЛЬНА 381718 Довбальний Arthur Klink GmbH, Karl Klink GmbH, Forst Technologie GmbH & Co. KG, Colonial Tool Group, Apex Broaching Systems,	Inc. Довбати R^{035} із припуском Z^{035}_p Інше начисто. 040. 0202 СЛЮСАРНА Верстак, шліф-машина Einhell TC-BG 150 Bench Grinder. Виконати відтиск. 045. 4610 КООРДИНАТНО-РОЗТОЧУВАЛЬНА. 381363 Координатно-розточувальний: TOS, DMG Mori, Mazak, Hurco, Haas Розточити отв. $d^{045}_{розт}$ Розточити отв. $d^{045}_{розт}$ із припуском $Z^{045}_{розт}$ 050. 3908 ФРЕЗЕРНА З ЧПК 3908 ФРЕЗЕРНИЙ З ЧПК : Mikron UME 560 CNC Universal Milling Machine; ZEATZ JARBE F3 Universal CNC Milling Machine; StyleCNC Automatic CNC Metal Milling Machine; CNC 1325 Industry Milling Machine. Фрезерувати R^{050} із припуском Z^{050}_p Інші начисто. 055. 0202 СЛЮСАРНА Верстак, шліф-машина Einhell TC-BG 150 Bench Grinder. Підготувати під термообробку. 060. 0402 ТЕРМІЧНА ОБРОБКА Термічно обробити відповідно кресленню. 065. 9016 ПЛОСКОШЛІФУВАЛЬНА 381313 Плоскошліфувальний: Cormak 600×1500, Chevalier FSG-618M, Profimach, Danobat Шліфувати площини R^{065} 070. 4008 ШЛІФУВАЛЬНА З ЧПК 3813XX Шліфувальний: Okuma, Studer, Kellenberger, ANCA, Walter Шліфувати начисто R^{070}
--	---

Закінчення таблиці 2.1

075. 9416 ШЛІФУВАЛЬНА СПЕЦІАЛЬНА (ПРОФІЛШЛІФУВАЛЬНА) Шліфувати начисто R^{075}
080. 3808 ТОКАРНА З ЧПК 381114 DMG MORI, Yamazaki Mazak, Okuma, Haas Automation, Doosan Machine Tools, . LT300-MA
Довести R^{080} , D^{080} . Полірувати R^{080} , D^{080} .
085. 0202 СЛЮСАРНА Доробити під складання, полірувати.
090. ГАЛЬВАНІЧНА Устаткування: дегрізингові та гальванічні ванни Atotech, Galvatek, Technic Inc., Schlötter, SurTec. Провести покриття відповідно кресленню.
095. 3808 ТОКАРНА З ЧПК Полірувати після хромування.
100. 0202 СЛЮСАРНА Верстак, шліф-машина Einhell TC-BG 150 Bench Grinder. Полірувати після хромування

використовуючи аналогії із типового ТП, а також автоматично пропонувати коригування послідовності операцій, вибору інструменту чи режимів оброблення.

Механізм самонавчання дозволяє програмі поступово вдосконалювати точність та ефективність своїх рекомендацій на основі нових затверджених технологічних процесів, які вводить технолог підприємства. Це дає змогу ефективно застосовувати систему у середовищі дрібносерійного та одиничного виробництва, де часті зміни номенклатури вимагають гнучких і адаптивних алгоритмів.

Таким чином, типовий технологічний маршрут у поєднанні з нейромережею дозволяє значно скоротити час технологічної підготовки, стандартизувати підхід до обробки різних груп деталей штампів та прес-форм, мінімізувати ризик технологічних помилок і забезпечити узгодженість між конструктивними параметрами деталі та можливостями реального машинного парку. Додатково варто зазначити, що використання типового технологічного

маршруту у цифровому вигляді створює передумови для формування єдиної бази знань інструментального виробництва. Така база може містити статистику виконаних операцій, реальні показники часу, відхилення параметрів, дані контролю точності, що дає змогу нейронній мережі виявляти приховані закономірності та вдосконалювати якість прогнозування. У подальшому це дозволяє формувати персоналізовані технологічні рекомендації для кожного виду деталі, враховуючи властивості конкретної заготовки, умови роботи устаткування та вимоги до ресурсу штампового спорядження. Завдяки цьому технолог отримує інструмент, який не лише формує маршрут, а й виступає активним засобом підтримки прийняття рішень, що особливо важливо у виробництві інструментального спорядження з високими вимогами до точності та надійності.

2.4 Висновки до розділу

Розроблено інформаційну модель типових технологічних маршрутів виробництва деталей штампів та прес-форм для інструментального цеху. На її основі запропоновано типові технологічні маршрути виготовлення згаданих деталей та методику вибору таких маршрутів із використанням нейромережових моделей підтримки технологічних рішень.

Основні результати роботи доповідались на міжнародній науково-технічній конференції “Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні” (9 – 10 грудня 2025 р., м. Одеса) [5, 6].

Наведені у розділі матеріали проілюстровані на плакатах КРМ 20-143.07.00, КРМ 20-143.08.00 та КРМ 20-143.09.00.

3 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Вибір технологічного способу отримання початкової заготовки і його техніко-економічне обґрунтування

3.1.1 Аналіз марки матеріалу деталі та її технологічних характеристик

Вихідними даними для вибору технологічного способу отримання початкової заготовки є матеріал деталі (сталь 1.0552 (C35E) DIN 1681, її вітчизняним аналогом є сталь 35 Л), перелік технологічного устаткування машинобудівного підприємства у заготівельному цеху.

Сталь 1.0552 (C35E) — середньо вуглецева конструкційна сталь ($C \approx 0,32\text{--}0,39\%$). Вона придатна для лиття, але більш чутлива до тріщиноутворення та дефектів, ніж низьковуглецеві сталі (типу 1.0425, 1.0401).

Типові властивості литої структури: великий розмір зерна, підвищена твердість у литому стані, ризик гарячих тріщин, схильність до усадкових раковин.

Особливості лиття сталі 1.0552 згідно DIN 1681 є такими.

Висока температура плавлення і потреба у строгому контролі перегріву. Для сталі C35E встановлено: температура заливки: $1560\text{--}1620\text{ }^{\circ}\text{C}$, допустимий перегрів: максимум $+30\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$, щоб зменшити окиснення, уникнути погіршення текучості, а також не сприяти росту зерна.

Схильність до гарячих тріщин. Через середній вміст вуглецю і відносно вузький інтервал пластичності при твердінні сталь 1.0552 легко дає гарячі тріщини при жорсткому обмеженні форми, потребує м'яких радіусів, уникання тонких перетинів та різких переходів у конструкції виливка. Слід відзначити, що бажано застосовувати бандажі, живильники і додаткові підживлення.

Значна усадка і потреба у потужних живильниках.

Типова лінійна усадка для C35E становить 1,8–2,2% (залежно від форми, товщини та швидкості охолодження). Тому необхідно застосовувати надлишкові живильники, враховувати усадкові раковини в центрі масивних зон, використовувати направлену кристалізацію (холодильники).

Підвищене окислення та потреба в рафінуванні сталі.

Тому при плавці потрібні десульфурація (CaSi, CaAl), деоксидування алюмініотермічне або Si–Mn, видалення неметалевих включень.

Окиснення і сірка підвищують пористість, температуру солідуса, схильність до тріщино-утворення.

Чутливість до швидкості охолодження: швидке охолодження дає підвищену твердість литої сталі, ризик холодних тріщин через залишкові напруження, неоднорідну структуру (мартенсит у поверхневих зонах).

Тому рекомендується уповільнене охолодження у формі, охолодження під піском, висока температура форми (для масивних деталей 200–350 °C).

Орієнтованість на подальшу термообробку.

Після лиття за DIN 1681 рекомендується: нормалізація: 860–900 °C → повітря для великогабаритних - нормалізація з наступним відпуском.

Це зменшує зернистість і підвищує ударну в'язкість.

Конструктивні рекомендації для литих деталей зі сталі 1.0552

- уникати тонкостінних елементів < 6–8 мм;
- радіуси переходів робити не менше 5–8 мм;
- забезпечувати рівномірність товщини стінок;
- розташовувати масивні елементи ближче до живильників;
- уникати гострих кутів та концентраторів напружень.

Сталь 1.0552 (C35E) добре придатна для литих заготовок, але вимагає: точного контролю температури заливки, якісного рафінування металу, коректного конструювання виливка, застосування достатніх живильників, уповільненого охолодження, подальшої нормалізації.

За цих умов можна отримати якісні, щільні, дефект-стійкі литі заготовки з хорошими механічними властивостями.

Так як на підприємстві є устаткування і технологічні можливості для гарячого штампування на кривошипно-гарячештампувальному пресі (КГШП), то як альтернативу згаданих марці матеріалу може бути сталь 35(аналог С35 / 1035). Вона є конструкційною середньо-вуглецевою сталлю з вмістом вуглецю приблизно 0,33–0,38%, що забезпечує: достатню пластичність у нагрітому стані, гарну ковкість, нормальну придатність до висадки, протяжки, осадки та формоутворення в гарячому стані.

У промисловості її часто штампують на КГШП та молотах для виготовлення штамповок масою до 100кг: валів, фланців, зубчатих заготовок, деталей машин середньої відповідальності [9].

Рекомендовані температурні режими гарячого штампування сталі 35 (С35 / 1035)) є такими.

- Початок нагріву та кування: 1150–1180 °С.
- Кінець штампування: не нижче 850–900 °С.
- Оптимальна область: 950–1100 °С.

Температура не повинна падати нижче 850 °С, бо знижується пластичність і зростає ризик появи тріщин.

Особливості штампування сталі 35 на КГШП:

- Середньо-вуглецева сталь дає помірний опір деформації, тому потребує достатнього зусилля преса — КГШП підходить добре.
- Потрібно забезпечити рівномірний нагрів заготовки, мінімізацію перегріву (вигорає зерно), змазки та охолодження штампа при інтенсивній роботі.
- Зазвичай після штампування застосовують нормалізацію, щоб зняти внутрішні напруження, отримати дрібнозернисту структуру та покращити механічні властивості.

Недоліками отриманих виробів полягає у наявності облою та задирок.

Сталь С35 чудово підходить для гарячого штампування на КГШП. За дотримання правильних температурних режимів та обробки після штампування можна отримати якісні заготовки з хорошими механічними властивостями.

3.1.2 Способи отримання початкової заготовки та їх порівняння за критеріями

При виготовленні початкової заготовки зі сталі 1.0552 (С35Е) DIN 1681 ефективним способом є лиття в кокіль [7, 9], а при використанні матеріалу С35 – гаряче об'ємне штампування на КГШП.

У таблиці 3.1 показано порівняння таких технологічних способів отримання заготовки за різними критеріями.

Таблиці 3.1 – Порівняння технологічних способів отримання заготовки за критеріями

№	Параметр	Штампування на КГШП	Лиття в кокіль
1	2	3	4
Критерій порівняння: Точність. Штамповка дає у 2–3 рази вищу точність			
1	Клас точності (ІТ)	ІТ8–ІТ11	ІТ12–ІТ14
2	Похибка розміру	$\pm 0,30 \dots 1,0$ мм	$\pm 0,80 \dots 2,50$ мм
3	Повторюваність	Дуже висока ($\pm 0,10 \dots 0,30$ мм)	Середня ($\pm 0,3 \dots 1,0$ мм)
4	Прямолінійність / площинність, мм	0,20–0,50	0,50–1,50

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
Критерій порівняння: Шорсткість поверхні. Штампування характеризується у 1,5–3 рази кращою шорсткістю отриманих поверхонь			
5	Ra, мкм	3,2–6,3	6,3–12,5 (інколи до 25)
6	Rz, мкм	20–40	40–100
Критерій порівняння: Використання матеріалу (металомісткість, відходи) Штампування економніше по матеріалу у середньому на 20–30%.			
7	KBM	85–95%	55–75%
8	Об'єм відходів	5–15% (обрізки облою)	25–45% (ливникова система з прибутками)
9	Необхідність механічної обробки	Мінімальна (припуски 1–3 мм)	Більша (припуски 2–5 мм, інколи більше)
Критерій порівняння: Міцність та структура металу. штампування значно краще за міцністю та надійністю.			
10	Щільність структури	майже 100%	96–98% (можливі пори)
11	Наявність дефектів	Мінімальна	Ймовірні раковини, усадка
12	Механічні властивості	На 15–30% вищі за рахунок волокнистої структури	Нижчі, крупнозерниста структура
Критерій порівняння: Геометрична складність			
13	Складні канали, порожнини	Обмежено	Можна отримати
14	Масивні товсті елементи	Менш раціонально	Добре реалізуються

Кінець таблиці 3.1

1	2	3	4
	Критерій порівняння: Варіативність маси та окремих розмірів заготовки		
15	Маса деталі	Оптимально 0,2–50 кг (залежить від КГШП)	0,1–150 кг
16	Максимальна товщина стінки	5–50 мм	6–80 мм

Із таблиці 3.1 бачимо, що технологію штампування на КГШП доцільно реалізувати коли потрібна висока точність: IT8–IT10, важлива міцність, мінімальні дефекти, велика серія (понад 1000 шт.), важлива економія матеріалу, деталь має симетричну, "штамповану" форму.

У той же час лиття в кокіл доцільно використовувати у випадку, коли складна форма з внутрішніми каналами, менша серія або одиничне (серійне) виробництво, потрібні більші маси заготовок, допускається більша шорсткість і нижча точність.

3.1.3 Розрахунок припусків дослідно-статистичним методом

Розрахунок припусків дослідно-статистичним та табличним методами виконуємо за рекомендаціями [25, 30] та згідно ДСТУ EN 10250-1:2008 (гаряче штампування на КГШП) та ДСТУ8981:2020 (лиття в кокіл) [18]. Показники точності заготовки для різних способів її отримання наведено у таблиці 3.2, а значення припусків та розмірів заготовки – у таблиці 3.3.

Креслення литої початкової заготовки для отримання деталі “Втулка” наведено на листі КРМ 20-143.01.00.

Таблиця 3.2 – Показники точності заготовки для різних способів її отримання

№ з/п	Назва показника	Розрахункові залежності та значення відповідних параметрів
1	2	3
Гаряче штампування на КГШП 4-го класу точності (Т4)		
1	Група сталі	М2 згідно ДСТУ EN 10250-1:2008
2	Геометрична фігура, в яку можна вписати штамповку та її об'єм у мм ³ d, H – габаритні розміри деталі, мм.	Циліндр, $V_{\phi} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot H =$ $= \frac{3,14 \cdot 124^2}{4} \cdot 55 = 663858,8 \text{ мм}^3 = 663,86$
3	Маса простої геометричної фігури, в яку вписується штампована заготовка	$M_{\phi} = V_{\phi} \cdot \rho = (V_{\phi} \cdot 1,05) \cdot \rho$, де тут густина сталі $\rho = 7,80 \text{ г/см}^3$; $M_{\phi} = 663,86 \cdot 1,05 \cdot 7,8 = 5437,01 \text{ г} = 5,440 \text{ кг}$
4	Розрахункова маса заготовки	$M_{\text{шт.р.}} = M_{\phi} \cdot K_p$; $M_{\text{шт.р.}} = 1,3 \cdot 1,65 = 2,15 \text{ кг}$
6	Ступінь складності	$C = \frac{M_{\text{шт.р.}}}{M_{\phi}}$ $C = \frac{2,15}{5,44} = 0,4$
7	Ступінь складності заготовки згідно ДСТУ EN 10250-1:2008	C2, так як $C=0,4$,
8	Вихідний індекс для штамповки	12 для $M_{\text{шт.р.}}=2,16 \text{ кг}$ і М2; С2; Т4
Лиття в кокіль		
9	Найбільший габаритний розмір	Ø130мм
10	Діапазон точності розмірів і припусків згідно ДСТУ8981:2020	$\frac{6...11}{2...4}$
11	Точність згідно ДСТУ8981:2020	6 клас точності розмірів; 2 ряд припусків

Таблиця 3.2 – Значення припусків та розмірів заготовки

Розмірні параметри поверхонь	Шорсткість Ra , мкм	Допуск розміру, мм	Загальний припуск, мм	Розміри заготовки з
Гаряче штампування на КГШП				
ø130h14	25	2,50	1,5×2=3,0	ø133 ^{+1,6} _{-0,9}
40 _{-0,3}		2,20	1,40	42,8 ^{+1,4} _{-0,8}
70 _{-0,5}			1,4×2=2,8	72,8 ^{+1,4} _{-0,8}
43 _{-0,3}	12,5		1,40	45,8 ^{+1,4} _{-0,8}
Ø60 ^{+0,12} _{-0,06}	6,3	3,0	1,6×2=3,2	Ø56,8 ^{+1,9} _{-1,1}
Ø38H7	0,8	-	-	-
Лиття в кокіль. Точність виливки 6-0-0-6 ДСТУ8981:2020				
ø130h14; 70 _{-0,5}	25	0,82	1,3×2=2,60	ø132,6±0,4; 72,6±0,42
40 _{-0,3}		0,64	1,30	42,6±0,32
Ø60 ^{+0,12} _{-0,06}		0,70	1,6×2=3,20	ø 56,8±0,35
Ø38H7	0,8	0,56	1,25×2=3,20	ø35,5±0,28
43 _{-0,3}	12,5	0,64	1,30	45,6±0,32

На основі використання методик створення параметричного та ескізного креслень [1 - 4] згідно отриманих даних в таблиці 3.2 виконано креслення таких заготовок. Зокрема, на листі КРМ 20-143.01.00 наведено креслення початкової заготовки втулки, яку можна отримати способом лиття в кокіль. На основі цього розроблено 3D-моделі таких заготовок для визначення їх маси.

3.2 Техніко-економічним обґрунтуванням раціонального способу отримання початкової заготовки

Техніко-економічним обґрунтуванням раціонального способу отримання початкової заготовки базується на розрахунках її технологічної собівартості та коефіцієнту використання матеріалу (табл. 3.4) [20, 21].

Для цього використовуємо актуальні нормативні дані згідно [12, 13].

Таблиця 3.4 – Розрахунок технологічної собівартості отримання початкової заготовки та коефіцієнту використання матеріалу для різних способів її отримання

№ з/п	Назва показника		Розрахункові залежності та значення відповідних параметрів для різних способів отримання заготовки	
			Гаряче штампування на КГШП	Лиття в кокіль
1	2		3	4
1	Базова	заготовок	$C_{б.}=174040 \text{ грн/т}$	$C_{б.}=144400 \text{ грн/т}$
2	вартість 1 т. з урахуванням коефіцієнту інфляції	відходів	$S_{відх.}=13300 \text{ грн/т}$	$S_{відх.}=13300 \text{ грн/т}$
3	Маса у	заготовки	$Q=2,22$	$Q=1,72 \text{ кг}$
4	кг	готової деталі	$q=1,41$	$q=1,41 \text{ кг}$
5	Коефіцієнт, що враховує	точність штамповки	$K_1=1,23$	-
6		конструктивно-технологічну складність штамповки	$K_2=1,14$	-
7		матеріал штамповки	$K_3=0,89$	-
8		річне замовлення штамповки	$K_4=1,15$	-
9		масу штамповки	$K_5=1,15$	-

Продовження таблиці 3.4

1	2		3	4
10	Коефіцієнт, що враховує	точність виливка	-	$K_1=1,640$
11		конструктивно-технологічну складність виливка	-	$K_2=0,650$
12		матеріал виливка	-	$K_3=1,20$
13		програму річного замовлення та масу виливка	-	$K_4=0,940$
14		зменшення товщини основних стінок виливка відносно базової товщини	-	$K_5=1,150$
15	Комплексний коефіцієнт		$K_n = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5$	
			$K_n = 1,65$	$K_n = 1,38$
16	Сумарні затрати на механічне оброблення у розрахунку на одиницю маси стружки у <i>грн/кг</i>		$C_{cmp.}=30,570$	
17	Технологічна собівартість.	заготовки	$C_{заг.} = \frac{C_{б.} \cdot Q \cdot K_n}{1000} - \frac{(Q-q) \cdot S_{відх.}}{1000}$	
			$C_{заг.} = \frac{174040 \cdot 2,22 \cdot 1,65}{1000} - \frac{(2,22 - 1,41) \cdot 13300}{1000} = 600,61$	$C_{заг.} = \frac{144400 \cdot 1,72 \cdot 1,38}{1000} - \frac{(1,72 - 1,41) \cdot 13300}{1000} = 310,30$
18		механічної обробки	$C_{М.О.} = C_{cmp.} \times (Q - q)$	
			$C_{М.О.} = 30,57 \times (2,22 - 1,41) = 30,03$	$C_{М.О.} = 30,57 \times (1,72 - 1,41) = 10,04$

Кінець таблиці 3.4

1	2	3	4
19	Технологічна собівартість отримання початкової заготовки втулки , <i>грн</i>	$C_{дет.} = C_{заг.} + C_{М.О.}$	
		$C_{дет.} = 600,61 + 30,03 = 630,64$	$C_{дет.} = 310,30 + 10,04 = 320,34$
20	Коефіцієнт використання матеріалу	$K_{Б.М.} = q/Q$	
		$K_{Б.М.} = \frac{1,41}{2,22} = 0,6$	$K_{Б.М.} = \frac{1,41}{1,72} = 0,82$
21	Висновок	Перевагу слід надати технології лиття в кокіль	

3.3 Кодування поверхонь та обґрунтування структури технологічного процесу та технологічних баз

Розробку ТП виготовлення деталі здійснюємо у відповідності до рекомендацій [11, 19, 28 – 30] та таких стандартів:

- ДСТУ ГОСТ 3.1102:2014 – визначає стадії розробки та види документів у ЄСТД (Єдиній системі технологічної документації).
- ДСТУ ГОСТ 3.1105:2014 – встановлює форми та правила оформлення документів загального призначення.
- ДСТУ 2391:2010 – містить терміни та визначення основних понять системи технологічної документації.
- ДСТУ-Н 7916:2015 – надає настанови щодо оформлення документів для розробки та впровадження технологічних процесів.
- ДСТУ 3.100-94 – містить терміни та визначення щодо єдиної системи технологічної документації, видів та назв та операцій.

Кодове позначення поверхонь та спосіб їх формоутворення наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Кодове позначення та спосіб формоутворення поверхонь

Кодове позначення	Назва поверхні чи конструктивного елементу деталі, параметр шорсткості			Спосіб формоутворення
1, 2	Фаска	зовнішня	1×45°, Ra25	Точіння чорнове
3			1,6×45	
4		внутрішня	0,5×45°	Розточування чорнове
5, 6, 7, 8			1×45°	Зенкування послідовне 4 отв.
9			1×45°	Розточування чорнове
10	Циліндрична поверхня	зовнішня	Ø124h14, Ra25	Точіння чорнове
11			Ø78 _{-0,5}	Точіння чорнове і напівчистове.
12		внутрішня	Ø40H7, Ra0,8	Послідовно розточування чорнове і напівчистове; шліфування кругле внутрішнє напівчистове і чистове
13			Ø55 ^{+0,12} _{-0,06} , Ra6,3	Послідовно розточування чорнове і напівчистове
14, 15, 16, 17			Ø12,1H12, Ra12,5	Свердління одночасне з використанням кондуктора
18, 19	Торцева поверхня		55 _{-0,3} , Ra12,5 Ra25	Послідовно точіння чорнове і напівчистове
20			52 _{-0,3}	Послідовно розточування чорнове і напівчистове
21			8h14	Послідовно точіння торця чорнове і напівчистове
22	Шпонковий паз		12Js9, Ra6,3	Протягування

Як відомо, для отримання однієї і тієї ж поверхні можна використати різні технологічні способи механічного оброблення. Наприклад, для отримання поверхні $\varnothing 38H7$, $Ra 0,8$ можливі такі способи.

1. Розточування – Зенкерування – Розвертання.

Такий варіант забезпечує точність $H8-H9$, $Ra 1,6-3,2$, може залишити овальність, важко отримати $0,025$ мм допуску.

2. Розточування до $-37,7$ мм - Напівчистове розточування до $-37,85$ мм - Розвертання каліброваною розверткою $38H7$ (з припуском $0,15$ мм) - Фінішне шліфування до $38,000$ мм (або $38+0,01$).

У цьому випадку розвертка працює лише як інструмент вирівнювання поверхні, а залишкову точність забезпечує шліфування.

3. Розточування – Зенкерування – Розвертання.

Такий варіант забезпечує лише точність $H8-H9$, $Ra 1,6-3,2$, може залишити овальність, важко отримати $0,025$ мм допуску. Тобто необхідне внутрішнє шліфування.

4. Найдоцільніший варіант показано у таблиці 3.6

Таблиця 3.6 – Найдоцільніший варіант отримання поверхні $\varnothing 38H7$

Перехід	Розмір після операції	Знятий припуск	Примітки
Лиття	36,119 мм	-	Вихідний діаметр
Чорнове розточування	37,000 мм	$\sim 0,88$ мм	Зняття основного припуску
Напівчистове розточування	37,750 мм	$\sim 0,75$ мм	Вирівнювання геометрії
Чорнове шліфування	37,900 мм	$\sim 0,15$ мм	Великий зернистий круг
Чистове шліфування	38,000 мм	$\sim 0,10$ мм	Фініш, $Ra < 0,8$

Перевагами такої послідовності є

- гарантія допуску Н7 навіть на звичайному шліфувальному верстаті;
- стабільна шорсткість $Ra < 0,8$ мкм;
- нульова овальність - розточування дає вісь, шліфування робить поверхню;
- мінімальний час шліфування (оскільки припуск на шліф лишається малий - 0,15-0,20 мм).

Обґрунтування структури технологічного процесу наведено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Обґрунтування структури технологічного процесу

Номер, код і назва техноло- гічної операції	Технологічні бази та спосіб затиску	Оброблювані поверхні та її спосіб механічного оброблення
1	2	3
010 5714 Автоматна токарна	Чорнові 16, 24	3 і 23 – чорнова і напівчистове точіння торцевої поверхні; 17 – чорнове і напівчистове точіння; 9 – точіння торцевої поверхні; 1, 18 – точіння фасок; 2 – чорнове і напівчистове розточування отвору; 15 – точіння фаски
	Чистові 2, 3	16 – чорнове точіння; 11 – чорнове і напівчистове точіння; 10 і 24 – точіння фасок; 21 – чорнове і напівчистове розточування отвору; 19 – точіння торцевої поверхні; 20 – розточування фаски
015 8316 Внутрішньо- шліфувальна	16, 24	Напівчистове і чистове шліфування отвору 12

Кінець таблиці 3.7

1	2	3
020 4209 Горизонтально-протяжна	2, 24	Протягування шпонкового пазу 23
025 5012 Вертикально-свердлильна	2, 23, 24 Базування на зрізаний палець, штифт і накладну кондукторну плиту	Свердління одночасне чотирьох отворів 5, 6, 7, 8.
030 3708 Свердлильна з ЧПК	Базування на зрізаний палець зі шпонкою і штифт	Зенкування послідовне чотирьох фасок 12 - 14

3.4 Вибір технологічного устаткування та спорядження

Результати вибору технологічного устаткування та спорядження наведено у таблиці 3.8.

Основні характеристики *Cormak Ø200x750* є такими.

Стандартний діапазон внутрішнього шліфування (ID) – від 25 до 100 мм.

Шпиндель для внутрішнього шліфування обертається із частотою 10000 або 15000 об/хв.

Можливість точних подач: мінімальна подача – 0,0025 мм при шліфуванні.

Стабільна та міцна конструкція (верстат важкий, жорсткий — 4.3т.), що важливо для мінімізації вібрацій під час тонкого шліфування.

Є охолодження, система подачі та — за умов правильного

налаштування — можливість використовувати шліфувальні кола з дрібним зерном для якісного фінішу.

Таблиця 3.8 - Технологічне устаткування і спорядження для реалізації ТП

Номер, код і назва технол. операції	Назва устаткування та її модель	Спеціальне технологічне спорядження
010 5714 Автоматна токарна	Роторний оброблюючий центр 8-Stations 8-Spindles NC Trunnion Type Rotary Transfer Machine фірми KAI HUNG MACHINERY CO., LTD.	Патрон трьох кулачковий 345-890 і патрон цанговий розтискний 347-890
015 8316 Внутрішньо-шліфувальна	Круглошліфувальний верстат MW 200x750 CORMA	Патрон спеціальний пневматичний трьох кулачковий важільно-клиновий 580-487
016 0130 Промивання	Мийна машина МПП-250 (34431200025)	Піддон 358-587
020 4209 Горизонтально-протяжна	Горизонтально-протяжний верстат мод. 7Б57	Планшайба стандартна з спеціальним адаптером 345-768; протяжка КРМ20-143.02.00
025 5012 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат мод. 2Н150	Кондуктор КРМ 20- 143.05.00СК зі змінними втулками для свердління 4-х отворів, відповідна 4-ох шпиндельна свердлильна головка КРМ 20- 143.04.00СК.
030 3708 Свердлильна з ЧПК	Вертикальний п'яти-осьовий оброблюючий центр MU-400VA	Пристрій для базування на площині і шпонці з циліндричним пальцем 371-254.

Основні характеристики роторного оброблюючого центру 8-Stations 8-Spindles NC Trunnion Type Rotary Transfer Machine фірми KAI HUNG MACHINERY CO., LTD є такими
(https://www.mtb2b.tw/en/exhibitors/2300/product?utm_source=chatgpt.com).

Сучасні CNC-системи + незалежні шпинделі + можливість обробка задньої частини деталі дають велику гнучкість: можна обробити складну деталь з багатьма операціями в одному циклі.

Конструкція: обертальний стіл з сателітами, на яких закріплюються заготовки; кожен сателіт може мати власний шпиндель та інструмент.

Висока швидкість і автоматизація (закріплення і розтискування, індексний барабан/драм, магазин інструментів, привідні інструменти) робить такі верстати оптимальними для масового / серійного виробництва

Автоматизація: завантаження/розвантаження заготовок маніпулятором, автоматичний індексуєчий стіл, можливість багато-задачного циклу.

Функціональні можливості:

- Токарні операції: точіння зовнішніх поверхонь (наприклад, фланців Ø130 мм), розточування центральних отворів, нарізування фасок та канавок.
- Базування: можливість спочатку обробити одну сторону та центральне отвір, а потім перевернути/базуватися по відведені для обробки іншої сторони фланця чи втулки.
- Серійне виробництво: ротаційний стіл дозволяє одночасно обробляти кілька деталей на різних станціях.
- Зменшення простоїв та підвищення продуктивності
- Гнучкість: можна програмувати різні операції для різних станцій та підходить для обробки фланців та інших деталей зі складною геометрією

Опис функціональних можливостей та конструктивних особливостей верстату мод. 7B57

Функціональні можливості є такими.

- Протягування внутрішніх та зовнішніх профілів (прямокутні пази, шліци, ямки, фаски, канавки).
- Обробка отворів протяжками (огранювання, розширення, вилучення дефектів лиття) - можливість отримати геометрію твору чи пазу дуже точною в одному проході протяжки.
- Регульована швидкість ходу - підбір режиму під матеріал і тип протяжки (чутливе регулювання ходу для якісного різання).
- Паралельна/послідовна обробка різних конфігурацій інструментів - залежно від комплектації, можливе застосування наборів протяжок для виконання кількох операцій підряд.
- Підтримка великих навантажень - масивна конструкція дозволяє працювати з важкими/великогабаритними заготовками.
- Адаптації/модернізації - можливе оновлення керування (встановлення ПЛК/ЧПУ), заміна гідравліки, додавання пристроїв автоматичного заживлення/центрування.

Конструктивні особливості (основні вузли)

1. Жорстка масивна станина (основа) - забезпечує жорсткість та демпфування при довгих чи інтенсивних ходах інструменту.
2. Горизонтальний напрямний блок / напрямні санчат (рама) - по яких переміщається рухома частина (тяговий супорт, або рамна візок).
3. Тяговий механізм (раму, тяговий пристрій) - приводить в рух протяжний інструмент (протяжку). Може бути гідравлічним, механічним (гвинт/шатун) чи комбінованим. Забезпечує плавний розгін/гальмування та задану швидкість протяжки.
4. Протяжна головка / пуансонний пристрій (утримувач інструменту) - кріплення протяжок різного типу (тягнучі/штовхаючі), механізми швидкої заміни інструменту.

5. Система натягу/підтиску/притискання деталі - забезпечує стабільне положення деталі під час проходження протяжки (підтримки на опорах, притискні пристрої, центрування).

6. Система передачі зусилля (скринь передач/редуктор) - передає потужність від двигуна до тягового вузла; часто має зубчастий або клинопасовий редуктор.

7. Система керування подачею та швидкістю - механічна/електрична/гідравлічна регулювання швидкості ходів (кількість ходів за хвилину), ступеня підведення інструменту.

8. Пульт керування / електрошафа - для керування циклом, поворотами, зупинкою, аварійними режимами; у старих моделях - найпростіше релейне управління, у модернізованих - ПЛК/ЧПК.

9. Охолодження/мастило - форсунки СОЖ для змащення робочої зони, фільтрація та підвід рідини.

10. Система фіксації/затискання заготовки - патрон/кулачкові пристрої/шаблони або спеціальні оправки для коректного позиціонування під протяжку.

11. Колектор стружки та захисту - лотки для стружки, захисні екрани та кожухи для безпеки оператора.

Основні функціональні можливості вертикального п'яти-осьового оброблюючого центру MU-400VA

- 5-осьова обробка - універсальність форми;
- MU-400VA дозволяє фрезерувати, свердлити, обробляти деталі на складних поверхнях, під кутами, з нахиленими/комплексними формами. Завдяки А- та С-осям можна обробляти деталі без переустановлення, під будь-яким кутом, що економить годину та підвищує точність;
- Компактний, але достатній робочий простір;
- X/Y/Z ходу та Ø 400 мм стіл дають можливість працювати з деталями середнього розміру - корпусами, фланцями, корпусними деталями,

середніми за габаритом вузлами. Гарний “золотої середини” баланс між габаритами та можливостями;

- Автоматичне перемикання інструментів → мінімізація ручної праці;
- АТС дає змогу мати набір інструментів (свердла, фрези, розгортки, різці) та змінювати їх програмно - зручно для серій, дрібних серій або для деталей з багатьма операціями;
- Висока швидкість шпинделя та подач, що забезпечує швидке фрезерування та реалізацію токарно-фрезерних операцій;
- 15 000 об/хв з одночасним внутрішнім охолодженням дозволяє працювати з металами, досягати високої продуктивності, зменшувати знесення інструментів, виконувати чистове чи напівчистове різання;
- Жорсткість та повторюваність забезпечує стабільну точність;
- Обертний стіл, жорстка станина і сучасне CNC-керування сприяє стабільності позиціонування, що важливо при багатоосьових операціях, повторюваних циклах, точному позиціонуванню деталей.

3.5 Розробка змісту переходів та вибір інструментального забезпечення

Результати розробки змісту переходів та вибору інструментального забезпечення наведено у таблиці 3.9.

Для цього використано такі інформаційні ресурси: Sandvik Coromant. Coro Plus Tool Guide (<https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools/coroplus-toolguide>), Seco Tools (<https://www.secotools.com/dashboard/Suggest/Suggest>), Machining Knowledge (<https://www.secotools.com/article/126106>), Abplanalp Tools (<https://abplanalp.tools/osnashchennya-dlya-metalorizalnykh-verstativ/>).

Таблиця 3.9 – Вибір ріжучого, допоміжного та вимірного інструментів

Зміст технологічного переходу				Інструментальне забезпечення	
1		2	3	4	5
Позиція III					
Точити	торець	13	витримуючи розмір	9,55 _{-0,58} ;	Різець підрізний відігнутий: державка RF123F20-2020B (Sandvik Coromant) з різальною пластиною N123F2-0250-0002-CM (CoroCut 1-2). Різець підрізний відігнутий: державка: RF653F70-2028B (CoroCut 1-2, shank 20×20 mm). змінна різальна пластина: N123E2-0200-0002-CM (CoroCut 1-2 insert)
		20		44,6 _{-1,2}	
	зовнішню поверхню	18		Ø82,45 _{-1,2} ;	
Позиція IV					
Розточити отвір		6	витримуючи розмір	ø59 ^{+0,74}	Різець розточний: тримач Sandvik Coromant Indexable Boring Tool Holder 320.574 L13187, 20×16, різальна пластина Sandvik Coromant CCMT 09 T3 08-MM 2025 Insert. Різець прохідний відігнутий лівий: тримач (holder) – RF 123L100-20BM (Sandvik Coromant, CoroCut® 1-2, left-hand shank tool for parting & grooving). Різальна пластина (insert) - N123F2-0250-0002-CM (Sandvik Coromant, CoroCut® 1-2 parting insert). Різець прохідний прямий лівий 20×16, φ=45°, державка: RF123F20-1616B (CoroCut 1-2), змінна пластина: N123F2 - 0250-0002-CM (CoroCut 1-2 insert). Штангенциркуль Digital caliper, 0–150 mm ISO 13385-1. Шаблон фасковий (1,8×45°) 469-856
Підрізати торець		4		40,25 _{-0,74}	
Точити зовнішню поверхню		1		ø130 ₋₁	
Розточити фаску		7		1,8×45°	

Продовження таблиці 3.9

1	2	3	4	5
Позиція V				
Точити торець	13	виримуючи розмір	10,3 _{-0,36}	Різець прохідний прямий лівий 20×16, φ=45°, державка: RF123F20-1616B (CoroCut 1-2), змінна пластина: N123F2-0250-0002-CM (CoroCut 1-2 insert) (3 штуки). Спеціальне контрольне пристосування 678-0098. Калібр-скоба (78h13) 568-876. Штангенциркуль 530-312 Mitutoyo. Шаблон фасковий (1,6×45°) 469-858
Точити поверхню зовнішню начисто	18		Ø82 _{0,5}	
Точити фаску	19		1,6×45°	
Точити торець	20		44,3 _{-0,3}	
Позиція VI				
Розточити отвір начисто	6	виримуючи розмір	Ø60 ^{+0,12} _{-0,06}	Різець прохідний прямий лівий 20×16, φ=45°, державка: RF123F20-1616B (CoroCut 1-2). змінна пластина: N123F2-0250-0002-CM (CoroCut 1-2 insert). Різець розточний: тримач Sandvik Coromant Indexable Boring Tool Holder 320.574 L13187, 20×16, Різальна пластина Sandvik Coromant CCMT 09 T3 08-MM 2025 Insert. Різець підрізний відігнутий лівий 20×16, Тримач: Sandvik Coromant RF123F20-2020B - штанга 20×20 мм, серії CoroCut 1-2, різальна пластина: Sandvik Coromant N123F2-0250-0002-CM - змінна пластина CoroCut 1-2. Калібр-пробка 70 ^{+0,12} _{-0,06} за стандартом ISO 1938. Штангенциркуль 530-312 Mitutoyo.
Точити торець	4		40 _{-0,3}	
	3		43,3 _{-1,2}	
	22		70,3 _{-1,2}	

Продовження таблиці 3.9

1	2	3	4	5
Позиція VII				
Розточити отвір	ø37,54 ^{+0,16}	витримуючи розмір	5	Різець прохідний прямий лівий 20×16, φ=45°, державка: RF123F20-1616B (CoroCut 1-2), змінна пластина: N123F2 - 0250-0002-
Точити фаску	1×45°		21	CM (CoroCut 1-2 insert). Різець розточний 20×16, φ=95°, Sandvik Coromant S20R-SCLCR 09 тримач: S20R-SCLCR, різальна плас-тина: CNMG 120408-M. Різець прохідний прямий 20×12, φ=45°, Sandvik Coromant RF123J051-20BM Toolholder for Parting & Grooving: державка: Sandvik Coromant RF123J051-20BM (CoroCut 1-2, shank 1¼"×1¼"), різальна пластина (insert): N123J2-0500-0002- CM (CoroCut 1-2, seat size J). Калібр-пробка двостороння 39,54H11 за стандартом ISO 1938. Шаблон (1×45°) 347-456. Штангенциркуль 530-312 Mitutoyo
	1×45°		12	
Позиція VIII				
Точити фаску	1×45°	витримуючи розмір	2	Різець прохідний прямий лівий 20×16, φ=45°,
Точити торець начисто	3		43 _{-0,3}	державка: RF123F20-1616B (CoroCut 1-2), змінна пластина: N123F2-0250-0002-CM (CoroCut 1-2 insert) (2 шт.). Різець підрізний відігнутий лівий 20×16, тримач: Sandvik Coromant RF123F20- 2020B - штанга 20×20 мм, серії CoroCut 1-2, різальна пластина: Sandvik Coromant N123F2-0250-0002-CM - змінна пластина CoroCut 1-2. Штангенциркуль 530-312 Mitutoyo
	22		70 _{-0,5}	

Продовження таблиці 3.9

1	2	3	4	5
Позиція II Завантажувально-розвантажувальна. Контроль розмірів здійснюють, використовуючи інструменти, що зазначені в описі переходів				
015 8316 Внутрішньо-шліфувальна				
Шліфувати отвір наскрізний	5	витримуючи розмір	Ø38 H7 (+0,025)	А 24 R BF, Ø 30 (32) × 10–13 × Н, max 35 m/s згідно стандарту FEPA / EN 12413, де позначено: А 24 R BF - електрокорунд, зерно 24, твердість R, зв'язка смолиста/армована; Ø 30 (32) - зовнішній діаметр кола ~30-32 мм (під отвір Ø 38 мм); 10–13 - товщина/ширина кола; max 35 m/s - робоча швидкість. Оправка 236-458. Калібр-пробка 38H7 КРМ 20-034.00СК. Взірці шорсткості ISO 21920
020 4209 Горизонтально-протяжна				
Протягнути шпонковий паз	2	витримуючи розміри	12Js9; 43,3 ^{+0,2}	Шпонкова протяжка КРМ 20-143.02.00 12 Js9(±0,021). Патрон автоматичний 345-768. Калібр-пробка 12Js9 шпонковий 459-346. Планшайба стандартна з спеціальним адаптером 345-768. Навушники 3М Peltor Optime I/II/III
025 5012 Вертикально-свердлильна				
Свердлити одночасно чотири наскрізних отвори Ø12,1H12(+0,18)	8, 9, 10, 11	витримуючи розміри	ø96±0,07; ∠ 80°±5';	Свердло Ø12,1 Sandvik Coromant CoroDrill 870 HSS Drill Bit. Калібр-пробка двосторонній- двох граничний 12,1H12 за стандартом ISO 1938. Кондуктор КРМ 20-143.05.00 СК ; Свердлильна головка КРМ 20-143.04.00 СК. Ганчір'я ТУ 63-178-82

Кінець таблиці 3.9

1	2	3	4	5
030 3708 Свердлильна з ЧПК				
Зенкувати чотири фаски послідовно	14, 15, 16, 17	витримуючи розмір	$1 \times 45^\circ$.	Зенківка конічна $3,2 \times 90^\circ$ Karnasch HSS-XE Blue-Tec 90° Countersink за стандартом ISO 3293:2016 Шаблон фасковий ($1 \times 45^\circ$) 456-869. Ганчір'я ТУ 63-178-82. Навушники 3М Peltor Optime I/II/III

3.6 Розрахунок необхідної кількості устаткування, його завантаження та типу виробництва

Розрахунок необхідної кількості устаткування та його завантаження, що виконані за методиками, що описані в праця [11, 30], наведено у таблиці 3.10. За такими результатами побудовано графік завантаження устаткування (рис. 3.1).

Таблиця 3.10 - Розрахунок необхідної кількості устаткування, його завантаження та типу виробництва

№ з/п	Назва показника	Розрахункові залежності та значення відповідних параметрів				
1	2	3	4	5	6	7
1	Коефіцієнт виконання норм	$K_B = 1,0$				
2	Штучний час $T_{шт}$	0,45	0,79	0,24	0,1	
3	Дійсний річний фонд часу роботи устаткування	$F_D = 3979 \text{ год}$ (для 2-х змінної роботи)				

Кінець таблиці 3.10

1	2		3	4	5	6	7
4	Кількість верстатів	Розрахун- кова	$M_p = \frac{T_{um} \cdot N_{np}}{\Phi_o \cdot 60}$				
			0,30	0,53	0,16	0,32	0,07
5		Прийнята P	1	1	1	1	1
6	Коефіцієнт завантаження	фактичний	$\eta_{з.ф.} = \frac{M_p}{P}$				
			0,30	0,53	0,16	0,32	0,07
7		середній	$K_{зсер} = \frac{0,3+0,53+0,16+0,32+0,07}{1+1+1+1+1} = \frac{1,38}{5} = 0,28$				
	Номінальний коефіцієнт завантаження устаткування		для дрібносерійного виробництва $\eta_{з.н.} = 0,6 \dots 0,75$ (при двозмінній роботі) Для серійного 0,75–0,85				
	кількість операцій, що виконуються на робочому місці		$O = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.}}$				
			3	2	5	3	12
	Сумарне число на ланій дільниці	різних операцій	$\Sigma O = 5$				
		робочих місць	5				
	Коефіцієнт закріплення операцій КЗО		$K_{з.о.} = \frac{\Sigma O}{\Sigma P}$				
			4				
	Тип виробництва		Крупносерійний ($K_{зо} \approx 3-10$)				

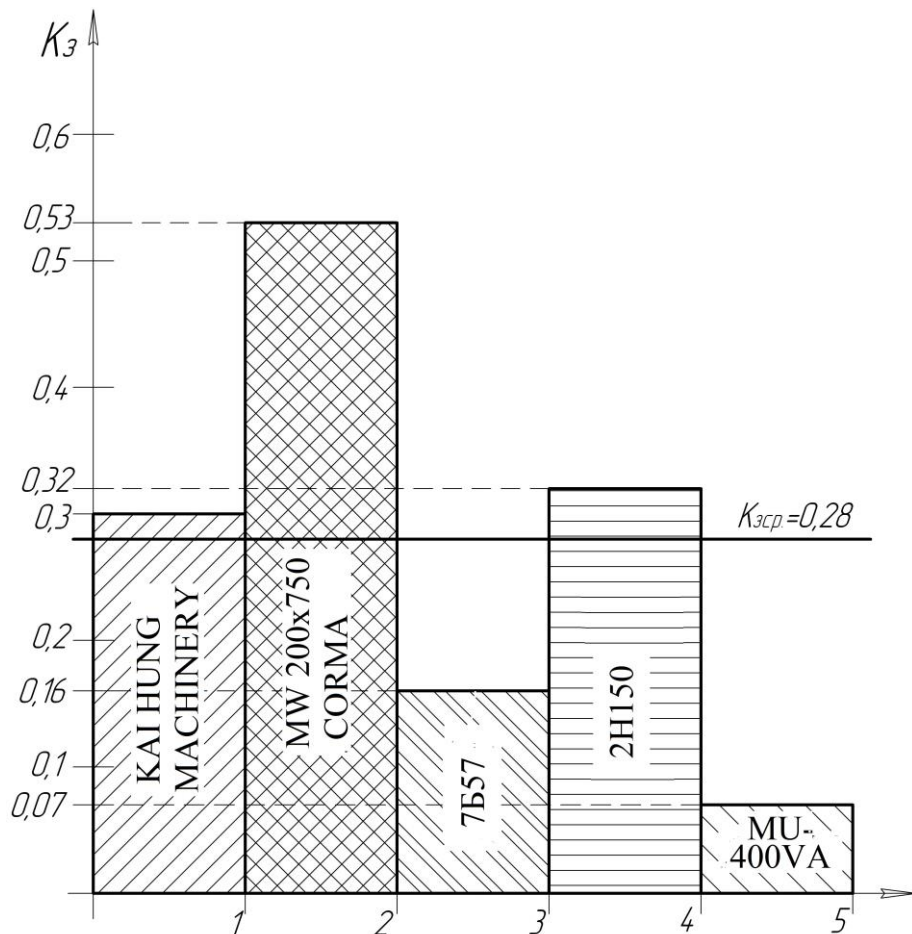


Рисунок 3.1 – Графік завантаження устаткування.

Таким чином для даного типу виробництва прийнятним є використання спеціалізованого і спеціального устаткування, спеціального технологічного спорядження, універсального, спеціального і комбінованого ріжучого та вимірювального (калібри, шаблони, контрольні прилади) інструментів, багатоінструментального налагодження, системи РТК.

Спосіб отримання заготовки обраний правильно, так як для такого типу виробництва характерні точні методи лиття, зокрема в кокіль, під тиском тощо.

3.7 Розрахунків припусків розрахунково-аналітичним методом для переходу обробки центрального отвору $\varnothing 38H7^{(+0,025)}$ на операції Автоматна токарна

Згідно розробленого плану обробки центрального отвору $\varnothing 38H7^{(+0,025)}$ на операції Автоматна токарна спочатку здійснюють чорнове і напівчистове розточування, потім шліфування кругле внутрішнє напівчистове і згодом чистове. Для цього використовують таке технологічне спорядження: патрон трьох кулачковий самоцентрований 345-890 (затиск по чорновій поверхні $\varnothing 80\text{мм}$ та торцем), і патрон цанговий самоцентрований розтискний 347-890 (затиск по чистових поверхнях).

Початкова заготовка виконана литою з точністю 6-0-0-6 згідно ДСТУ 8981:2020.

Як відомо, метою розрахунків припусків на обробку розрахунково-аналітичним методом є визначення проміжних розмірів при механічному обробленні по технологічних переходах [30].

Шорсткість поверхні отвору - $Ra0,8$.

Розрахунок мінімального припуску на обробку та відповідних проміжних розмірів наведено у таблиці 3.11.

У зведеному вигляді основні складники проведених розрахунків подано у таблиці 3.12. Відповідна схема графічного розташування припусків та допусків для обробки такої поверхні наведена на рисунку 3.2.

Таблиця 3.11 – Розрахункові залежності та відповідні результати розрахунків припусків на обробку розрахунково-аналітичним методом для переходу обробки центрального отвору $\varnothing 38H7(^{+0,025})$ на операції Автоматна токарна

№ з/п	Назва показника згідно [30]	Розрахункові залежності та значення відповідних параметрів часу, с
1	2	3
Розточування чорнове і напівчистове (до H11)		
1	Шорсткість та дефектний шар виливка в коіль у мкм відповідно	$R_{zi-1}=200,0; T_{i-1}=200,0$
2	Похибка встановлення в патроні у мкм	$\varepsilon_{yl}=(400-400\cdot 0,2)=320,0$
3	Жолоблення ливарних заготовок, мкм	$\rho_{жол.}=\Delta K\cdot d=0,7\cdot 40=28,0$
4	Питома кривизна ливарної заготовки	$\Delta K=0,7\text{ мкм/мм}$
5	Допуск розміру b	$\delta_b=0,4\text{ мм}$
6	Похибка зміщення поверхонь виливка внаслідок зміщення стержня	$\rho_{зм.}=\delta_b$
7	Просторове відхилення ливарної заготовки при встановленні за зовнішнім діаметром і торцем, мм	$\rho_{i-1}=\sqrt{\rho_{жол.}^2+\rho_{зм.}^2}$ $\rho_{i-1}=\sqrt{0,028^2+0,4^2}=0,227$
8	Мінімальний припуск у мм	$2Z_{1\min}=2(0,2+0,2+\sqrt{0,227^2+0,32^2})=1,585$
9	Розрахунковий розмір	$D_{p.1-i}=D_{\max \text{ деталі}}-2Z_{i\min}, \text{ мм};$ $D_{p.1}=D_{p.2}-2Z_2=38,005-0,301=37,704$
10	Допуск δ_i	$\delta_1=0,16\text{ мм}$
11	Граничний розмір $D_{max i}$, що заокруглений для збільшення припуску	$D_{max 1}=37,70\text{ мм}$
12	Граничний розмір $D_{min i}$	$D_{min i}=D_{max i}-\delta_i, \text{ мм}$ $D_{min 1}=37,70-0,16=37,54\text{ мм}$

Продовження таблиці 3.11

1	2	3
13	Мінімальний припуск на обробку	$2Z_{i\min} = 2(R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2})$
14	Розрахункові граничні значення припусків $2Z_{i\min}$, $2Z_{i\max}$	$2Z_{i\max} = D_{\min i} - D_{\min i-1};$ $2Z_{i\min} = D_{\max i} - D_{\max i-1};$ $2Z_{1\max} = 37,54 - 35,56 = 1,98;$ $2Z_{1\min} = 37,70 - 36,12 = 1,58$
15	Шліфування кругле внутрішнє напівчистове (до Н8)	
16	Шорсткість	$R_{zi-1} = 32,0 \text{ мкм}$
17	Похибка встановлення в патроні	$\varepsilon_{y2} = (200 - 200 \cdot 0,4) = 120 \text{ мкм}$
18	Коефіцієнт уточнення для наступних переходів	K_y
19	Просторове відхилення (тут ρ_{i-n-1} – таке відхилення на попередній операції)	$\rho_{i-n} = \rho_{i-n-1} \cdot K_y;$ $\rho_{i-2} = \rho_{i-1} \cdot K_y = 0,227 \cdot 0,05 = 0,011 \text{ мм}$
20	Мінімальний припуск у мм	$2Z_{2\min} = 2(0,032 + \sqrt{0,011^2 + 0,12^2}) = 0,301$
21	Розрахунковий розмір	$D_{p,2} = D_{\delta 3} - 2Z_3 = 40,025 - 0,02 = 40,005$
22	Допуск δ_i	$\delta_2 = 0,039 \text{ мм}$
23	Граничний розмір $D_{\max i}$, що заокруглений для збільшення припуску	$D_{\max 2} = 38,005 \text{ мм}$
24	Граничний розмір $D_{\min i}$	$D_{\min 2} = 38,005 - 0,039 = 37,966 \text{ мм}$
25	Мінімальний припуск на обробку	$2Z_{i\min} = 2(R_{zi-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2})$
26	Розрахункові граничні значення припусків $2Z_{i\min}$, $2Z_{i\max}$	$2Z_{2\max} = 37,966 - 37,54 = 0,426;$ $2Z_{2\min} = 38,005 - 37,70 = 0,305$
27	Шліфування кругле внутрішнє чистове (до Н7)	
28	Шорсткість	$R_{zi-1} = 10 \text{ мкм}$
29	Похибка встановлення у мм	$\varepsilon_{y3} = \varepsilon_2 \cdot K_y = 120 \cdot 0,03 = 0,0036$
30	Просторове відхилення у мм	$\rho_{i-3} = \rho_{i-2} \cdot K_y = 0,011 \cdot 0,03 = 0,00033$
31	Мінімальний припуск у мм	$2Z_{3\min} = 2 \cdot 0,01 = 0,02$

Кінець таблиці 3.11

1	2		3
32	Розрахунковий розмір		$D_{p3} = D_{\max \text{ деталі}} = 38 + 0,025 = 38,025$
33	Допуск δ_i		$\delta_3 = 0,025 \text{ мм}$
34	Граничний розмір	заокруглений $D_{\max i}$	$D_{\max 3} = 38,025 \text{ мм}$
35		$D_{\min i}$	$D_{\min 3} = 38,025 - 0,025 = 38 \text{ мм}$
36	Мінімальний припуск на оброблення		$2Z_{i \min} = 2(R_{zi-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2})$
37	Розрахункові граничні значення припусків $2Z_{i \min}$, $2Z_{i \max}$		$2Z_{3 \max} = 38 - 37,966 = 0,034$; $2Z_{3 \min} = 38,025 - 38,005 = 0,02$
38	Початкова заготовка		
39	Розрахунковий розмір		$D_{pзг.} = D_{p1} - 2Z_1 = 37,704 - 1,585 = 36,119$
40	Допуск δ_i для 6-го класу точності розмірів		$\delta_{зг.} = 0,56 \text{ мм}$
41	Граничний розмір	$D_{\max i}$, що заокруглений для збільшення припуску	$D_{\max зг.} = 36,12 \text{ мм}$
42		$D_{\min i}$	$D_{\min зг.} = 36,12 - 0,56 = 35,56 \text{ мм}$
43	Розрахункові граничні значення припусків $2Z_{i \min}$, $2Z_{i \max}$ у мм		$2Z_{\text{заг.ном.}} = \Sigma 2Z_{i \max} = 0,034 + 0,426 + 1,98 = 2,44$; $2Z_{\text{дет.ном.}} = \Sigma 2Z_{i \min} = 0,02 + 0,305 + 1,58 = 1,905$
44	Загальний номінальний припуск $2Z_{зг.ном.}$ та номінальний розмір заготовки $D_{зг.ном.}$		$2Z_{зг.ном.} = 2Z_{зг.ном.} + ES_{зготовки} - ES_{деталі}$; $D_{зг.ном.} = D_{дет.ном.} - 2Z_{зг.ном.}$; $2Z_{\text{заг.ном.}} = 1,905 + 0,28 - 0,025 = 2,16$; $D_{зг.ном.} = 38 - 2,16 = 35,84$
45	Умова достовірності проведених розрахунків для ... за формулою $2Z_{i \max} - 2Z_{i \min} = \delta D_{i-1} - \delta D_i$	напівчистового розточування	$2Z_{1 \max} - 2Z_{1 \min} = 1,98 - 1,58 = 0,4$ $\delta D_{зг.} - \delta D_1 = 0,56 - 0,16 = 0,4$
46		напівчистового шліфування	$2Z_{2 \max} - 2Z_{2 \min} = 0,426 - 0,305 = 0,121$; $\delta D_1 - \delta D_2 = 0,16 - 0,039 = 0,121$
47		чистового шліфування	$2Z_{3 \max} - 2Z_{3 \min} = 0,034 - 0,02 = 0,014$; $\delta D_2 - \delta D_3 = 0,039 - 0,025 = 0,014$
58	Підсумок		Розрахунки виконані вірно



Рисунок 3.2 – Схема розміщення припусків, допусків і проміжних розмірів на обробку центрального отвору $\varnothing 38H7^{(+0,025)}$ на операції 010 Автоматна токарна

3.8 Розрахунок припусків табличним методом

Таблична методика визначення операційних і проміжних припусків полягає у використанні стандартизованих довідкових таблиць, у яких для кожної операції (точіння, фрезерування, шліфування тощо) наведені рекомендовані припуски залежно від початкової заготовки (литва, кування,

прокату), способу попередньої обробки, матеріалу, габаритів та точності поверхні, типу та жорсткості устаткування [25].

Таблиця 3.13 – Розрахункові припуски і розміри механічного оброблення конструктивних елементів оброблюваної деталі, що визначені табличним методом

№ з/п	Конструктивний елемент та його характерний розмір і шорсткість			Технологічні переходи механічного оброблення та кв. точності	Припуск, напуск/допуск, мм	Операційні розміри
1	Циліндрична поверхня	охоплююча	Ø130h14, Ra25	Початкова заготовка Поздовжнє точіння	1,3×2=2,6/0,8 1,3×2=2,6/1,0	Ø132,6±0,40 Ø130h14 _(-1,0)
2			Ø82 _{-0,5} , Ra25	Початкова заготовка Поздовжнє точіння	24,3×2=48,6/0,8 24,08×2=48,15/1,2 0,225×2=0,45/0,5	Ø132,6±0,40 Ø82,45h15 _(-1,2) Ø82 _{-0,5}
3		охоплена	Ø60 ^{+0,12} _{-0,06} , Ra6,3	Початкова заготовка Розточування: - чорнове, 14; - напівчистове, 11	1,4×2=2,8/0,70 0,9×2=1,8/0,740 0,5×2=1/0,18	Ø57,2±0,35 Ø59H14 ^(+0,74) Ø60 ^{+0,12} _{+0,06}
4	Торцева поверхня	зовнішня	43 _{0,3} , Ra12,5	Початкова заготовка Підрізання торця: - чорнове, 15 кв.; - напівчистове, 12 кв.	1,3×2=2,6/0,640 1,0×2=2/1,20 0,3×2=0,60/0,30	45,6±0,32 43,6h15 _(-1,2) 43 _{-0,3}
5		внутрішня	40 _{-0,3} , Ra25	Початкова заготовка Підрізання торця: - чорнове, 14 кв.; - напівчистове, 12 кв.	4,3/0,30 4,05/0,740 0,25/0,30	44,3 _{-0,3} 40,25h14 _(-0,74) 40 _{-0,3}
6		зовнішня	9,3h14, Ra25	Початкова заготовка Підрізання торця чорнове, 15 кв Підрізання торця напівчистове, 14 кв	3,0/0,440 2,75/0,580 0,25/0,360	15,3±0,220 12,55h15 _(-0,58) 12,3h14 _(-0,36)

Суть методики полягає в наступному [25].

1. Вибирають таблицю для заданого виду обробки та типу поверхні.
2. Знаходять інтервал розмірів деталі або товщини шару.
3. Зчитують рекомендований припуск або його складові (максимальний, мінімальний, нерівномірність).
4. Підсумовують припуски по всьому маршруту, отримуючи повний і проміжні припуски.

Перевагами такого методу є: швидкість, уніфікованість, мінімізація помилок і забезпечення стабільної якості обробки.

У таблиці 3.13 наведено розрахункові припуски і розміри механічного оброблення конструктивних елементів оброблюваної деталі, що визначені табличним методом.

3.9 Розрахунок режимів різання розрахунково-аналітичним методом

Розрахунково-аналітичний метод визначення режимів різання ґрунтується на використанні емпіричних та напівемпіричних залежностей, що встановлюють зв'язок між параметрами обробки, властивостями матеріалу заготовки, інструменту та необхідною якістю поверхні. Цей метод забезпечує високу точність прогнозування режимів різання, оскільки спирається на експериментально підтверджені математичні моделі [26, 27].

Основними елементами режиму різання є: швидкість різання, подача, глибина різання, а також частота обертання шпинделя та хвилинна продуктивність обробки. Їх значення визначаються з аналітичних формул, що враховують фізико-механічні властивості матеріалу, тип обробки, геометрію інструменту, твердість заготовки та категорію точності.

Спочатку визначають швидкість різання за спеціальною формулою.

Після визначення швидкості різання обчислюють частоту обертання шпинделя.

Подачу S обирають на основі рекомендацій для кожного виду операції з урахуванням шорсткості, міцності деталі та жорсткості системи «верстат-інструмент-заготовка». Глибину різання t визначають залежно від припуску на обробку та жорсткості інструмента.

Остаточні значення режиму перевіряють за умовою допустимості сил різання та потужності приводу. Далі визначають потужність різання.

Якщо отримані значення перевищують можливості устаткування, режим коригують - зменшують подачу або глибину різання.

Таким чином, розрахунково-аналітичний метод дозволяє отримати оптимальні режими різання, що забезпечують продуктивність, точність і довговічність інструменту, а також гарантують безпечну роботу верстата. Метод широко застосовується в інженерній практиці при проектуванні технологічних процесів механічної обробки.

У таблиці 3.14 наведено розрахункові залежності та відповідні результати розрахунків режимів різання розрахунково-аналітичним методом для 7-ої позиції.

Таблиця 3.14 – Розрахункові залежності та відповідні результати розрахунків режимів різання розрахунково-аналітичним методом (позиція 7)

№ з/п	Назва показника		Розрахункові залежності та значення відповідних параметрів		
			Різець 1	Різець 2	Різець 3
1	2		3	4	5
	Глибина різання t , мм		1,0	0,99	1,0
		сумарна	$1.0+0,99+1,0=2,99\text{мм}$		
3	Довжина різання $l_{\text{різ.}}$, мм;		1,0	56,30	1,0
4	Величини ... інструменту у мм	підводу $l_{\text{підв}}$	3,0		
		врізання $l_{\text{вріз}}$	0	0	0
		перебігу $l_{\text{перебігу}}$	0	3,0	0

Продовження таблиці 3.14

1	2		3	4	5
5	Додаткова довжина ходу $l_{доо}$, зална від особливостей налагодження та конфігурації і розмірів заготовки, мм.		0	0	4,0
6	Довжини робочих ходів супортів на кожній технологічній позиції		$L_{p.x.} = l_{\partial\partial\zeta} + l_{\tilde{r}\tilde{a}\tilde{a}} + l_{\tilde{a}\partial\partial\zeta} + l_{\tilde{r}\tilde{a}\tilde{a}\tilde{a}\tilde{a}\tilde{a}} + l_{\tilde{a}\tilde{a}\tilde{a}}$		
7			4,0	62,3	4,0
8	Подачі мм/об	розрахована	0,60		
9		уточнена згідно паспорту верстата	0,570		
10	Період стійкості в хвилинах машинної роботи верстату		$T_M = 150,0$		
11	Коефіцієнт часу різання, зміни стійкості в залежності від числа одночасно працюючих інструментів		$\lambda = L_{пиз.}/L_{p.x.}$		
			$\frac{1,0}{4,0} = 0,25$	$\frac{56,3}{62,3} = 0,90$	$\frac{1,0}{4,0} = 0,25$
12	Період стійкості інструментів $x\delta$		$T_P = T_M \cdot \lambda$		
13	Так як $\lambda > 0,7$, то для подальших розрахунків приймаємо $\lambda = 1$		37,50	150,0	37,50
14	Коефіцієнт та показники степені, які впливають на швидкість різання		$C_V = 340; x = 0,15; y = 0,34; m = 0,20$		
15	Період стійкості інструмента $x\delta$;		T	-	-
16	Уточнюючий коефіцієнт, який враховує вплив	матеріалу заготовки	$K_{MV} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{540} \right)^{1,0} = 1,39;$ $\sigma_s = 540 \text{ МПа} ; n_v = 1,0$		
17		стану поверхні заготовки	$K_{IV} = 0,8$ (нормальна поверхня)		
18		матеріалу інструмента Т15К6	$K_{I-V} = 1,0$		
19		головного кута в плані $\phi = 95^\circ$	$K_{\phi V} = 0,7$		
20		допоміжного кута в плані $\phi = 15^\circ$	$K_{\phi IV} = 0,97$		
21		радіусу при вершині різця	$K_{rV} = 0$	-	-
22	Уточнюючий коефіцієнт швидкості різання		$K_V = K_{MV} \cdot K_{IV} \cdot K_{I-V} \cdot K_{\phi V} \cdot K_{\phi IV} \cdot K_{rV}$ $K_V = 1,39 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 0,97 = 0,76$		

Продовження таблиці 3.14

1	2		3	4	5
23	Розрахункова швидкість різання, м/хв		$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v =$ $V_{VII} = \frac{340}{150^{0,2} \cdot 0,99^{0,15} \cdot 0,57^{0,34}} \cdot 0,76 = 116,96 \frac{м}{хв}$		
24	Уточнена швидкість, м/хв		$V_{VII} = 116,96 \cdot 0,9 = 105,26 \text{ м / хв}$		
25	Частота обертання шпинделя	розрахункова	$n_{VII} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 105,26}{3,14 \cdot 37,56} = 892,50 \text{ хв}^{-1}$		
	верстата в об/хв	уточнена згідно паспорту	$n_{umVII} = 856 \text{ хв}^{-1}$		
26	Час робочого ходу, хв		$t_p = \frac{L_{p.x.}}{S_o \cdot n_{\phi i}} \cdot t_{pVII} = \frac{62,3}{0,56 \cdot 856} = 0,12 \text{ хв}$		
27	Значення робочого часу є більше за час на лімітуючій позиції: висновок		необхідна зміна режимів різання за рахунок збільшення частоти обертання шпинделя		
28	Частота обертання шпинделя, об/хв	розрахункова	$n_{um.kVIII} = 34/0,75 \cdot t_{pVII} = 377,78 \text{ хв}^{-1}$		
29		уточнена за паспортними даними верстата	$n_{um.kVII} = 379 \text{ хв}^{-1}$		
30	Час робочого ходу перерахований, хв		$t_{p.kVIII} = \frac{34}{0,75 \cdot 379} = 0,12 \text{ хв}$		
31	Фактична швидкість різання, м/хв		$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{um.}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 37,56 \cdot 856}{1000} = 101$		
32	Коефіцієнт, який враховує вплив	якості оброблюваного матеріалу	$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_e}{750} \right)^n = \left(\frac{540}{750} \right)^{0,75} = 0,78$		
33		кута φ та матеріалу ріжучої частини Т15К6 $K_{\phi P}$	1,0 для $\varphi=45^\circ$	0,89 для $\varphi=95^\circ$	1,0 для $\varphi=45^\circ$
34		кута γ° та матеріалу ріжучої частини Т15К6 $K_{\gamma P}$	1,10 для $\gamma=0^\circ$	1,25 для $\gamma=-15^\circ$	1,10 для $\gamma=0^\circ$
35		кута λ та матеріалу ріжучої частини Т15К6 $K_{\lambda P}$	1,0 для $\lambda=0^\circ$	1,0 для $\lambda=0^\circ$	1,0 для $\lambda=0^\circ$
36		радіуса інструменту K_{rP}	0	0	0
			для ріжучої частини із Т15К		

Кінець таблиці 3.14

1	2	3	4	5
37	Поправочний коефіцієнт, який враховує фактичні умови різання	$K_P = K_{MP} \cdot K_{\phi P} \cdot K_{\gamma P} \cdot K_{\lambda P} \cdot K_{rP}$		
		0,86	0,87	0,86
38	Коефіцієнт, та показники степені, які впливають на розрахункове значення сили різання	C_P	300	300
		x	1,0	1,0
		y	0,750	0,750
		n	-0,150	-0,150
39	Сила різання, H	$P_Z = 10 \cdot C_P \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_P$		
		840,54	841,81	840,54
40	Сумарна сила різання багатопозиційної обробки, H	$\Sigma P_{ZVII} = 840,54 + 841,81 + 840,54 = 2522,89H$		
41	Потужність різання, kBm	$N_{piz} = \frac{P_Z \cdot V}{1020 \cdot 60} =$ $= \frac{2522,89 \cdot 100,96}{1020 \cdot 60} = 4,16kBm$		

3.10 Розрахунок режимів різання табличним методом

Табличний метод визначення режимів різання базується на використанні нормативних таблиць, довідників та стандартів, у яких наведено рекомендовані значення швидкості різання, подачі, глибини різання та інших параметрів для різних видів обробки, матеріалів заготовок і інструментів [30]. Цей метод є найбільш доступним та широко застосовуваним у виробничій практиці, особливо на етапі оперативного планування механічної обробки.

Табличні дані формуються на основі великої кількості експериментів та узагальненого виробничого досвіду. Вони враховують основні фактори, що впливають на процес різання: твердість і оброблюваність матеріалу, вид інструментального матеріалу (швидкорізальна сталь, твердий сплав,

кераміка), геометрію та стан інструменту, точність і шорсткість поверхні, характеристики верстата та умови охолодження.

Процес розрахунку режимів різання табличним методом охоплює такі основні етапи:

1. Визначення вихідних даних: матеріал заготовки, її твердість, вид обробки, інструмент, тип верстата, необхідна точність та параметри шорсткості.

2. Вибір глибини різання t . Значення береться з таблиць залежно від припуску на обробку, жорсткості системи та виду операції (чорнова, напівчистова, чистова).

3. Вибір подачі s . Подача встановлюється відповідно до діаметра інструменту, типу операції та вимог до якості поверхні. Таблиці подач зазвичай містять діапазони для кожного виду обробки.

4. Визначення швидкості різання V . У таблицях для кожної пари «матеріал заготовки – матеріал інструменту» наведено рекомендовану швидкість. Значення коригується поправочними коефіцієнтами на:

- твердість матеріалу,
- охолодження,
- глибину різання та подачу,
- стан інструмента.

5. Розрахунок частоти обертання шпинделя з урахуванням діаметру оброблюваної поверхні або інструменту.

6. Перевірка потужності різання. За таблицями сил різання або питомих сил визначають споживану потужність і порівнюють її з можливостями верстата.

Табличний метод забезпечує швидкість отримання результату та мінімізує розрахункові помилки, оскільки інженер користується вже

готовими й узагальненими даними. Він особливо ефективний у випадках, коли немає потреби у складних аналітичних розрахунках або коли потрібно швидко підібрати режими під конкретне виробниче завдання.

Завдяки простоті, надійності та достатній точності табличний метод широко застосовується у машинобудуванні при складанні технологічних карт, маршрутів та операційних ескізів.

У таблиці 3.15 наведено розрахункові залежності та відповідні результати розрахунків режимів різання табличним методом для 5-ої позиції на операції 010. Результати розрахунків подані у технологічній документації.

У таблиці 3.16 наведено розрахункові залежності та відповідні результати розрахунків потужності обробки.

Таблиця 3.15 – Розрахункові залежності та відповідні результати розрахунків режимів різання табличним методом (позиція 5)

№ з/п	Назва показника		Розрахункові залежності та значення відповідних параметрів		
			Різець 1	Різець 2	Різець 3
1	2		3	4	5
	Глибина	на конкретній позиції	0,250	1,60	0,30
	різання t , мм	сумарна	1,6+0,25+0,3=2,15мм		
3	Довжина різання $l_{різ.}$, мм;		24,30	1,60	8,63
4	Величини ... інструменту у мм	підводу $l_{підв}$	3,0		
		врізання $l_{вріз}$	0	0	1,0
		перебігу $l_{перебігу}$	0	3,0	3,0
5	Додаткова довжина ходу $l_{дод.}$, що залежить від особливостей наладки та розмірів і конфігурації заготовки, мм.		0	0	0

Продовження таблиці 3.15

1	2		3	4	5
6	Довжини робочих ходів супортів на кожній позиції		$L_{p.x.} = l_{\delta\delta\zeta} + l_{\Gamma\delta\hat{a}} + l_{\hat{a}\delta\delta\zeta} + l_{\hat{a}\delta\delta\hat{a}\delta\hat{a}\delta\hat{a}} + l_{\hat{a}\hat{a}}$		
7			27,30	4,60	15,63
8	Подача мм/об	розрахована	$S_{ov}=0,6 \cdot K_S \cdot K_{BПД}=0,6 \cdot 1,2 \cdot 1=0,72 \text{ мм/об}$		
9		уточнена згідно паспорту верстата	0,750		
10	Період стійкості в хвилинах машинної роботи верстата		$T_M = 150,0$		
11	Коефіцієнт часу різання, зміни стійкості в залежності від кількості одночасно працюючих інструментів		$\lambda = L_{piz.} / L_{p.x.}$		
			$\frac{24,3}{27,3} = 0,89$	$\frac{1,6}{4,6} = 0,35$	$\frac{8,63}{15,63} = 0,55$
12	Період стійкості інструментів хв		$T_p = T_M \cdot \lambda$		
13	Так як $\lambda > 0,7$ то для подальших розрахунків приймаємо $\lambda = 1,0$		150 бо $\lambda_{VI} > 0,7$	52,50	82,50
14	Табличне значення швидкості різання, м/хв		$V_{табл}$		
			120,0		
	Уточнюючий коефіцієнт який залежить від	оброблюваного матеріалу	$K_1 = 1,0$		
		періоду стійкості та марки твердого сплаву	$K_2 = 0,90$		
		виду обробки	$K_3 = 1,20$		
	Швидкість різання		$V = V_{табл.} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$ $V_V = 120 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 1,2 = 129,6 \text{ м/хв}$		
	Частота обертання шпинделя, об/хв	розрахункова	$n_v = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 129,6}{3,14 \cdot 126,6} = 326,02 \text{ хв}^{-1}$		
		уточнена згідно паспорту верстата	$n_{umVn} = 313 \text{ хв}^{-1}$		
	Час робочого ходу, хв		$t_p = \frac{L_{p.x.}}{S_o \cdot n_{\phi i.}} t_{pV} = \frac{27,3}{0,75 \cdot 313} = 0,116 \text{ хв}$		
	Фактична швидкість різання, м/хв		$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{um.}}{1000} = 124,430$		

Кінець таблиці 3.15

1	2		3	4	5
	Табличне значення тангенціальної сили різання, H		$P_{Z\partial\partial\partial\partial}$		
			450,0	2500	850
	Поправочний коефіцієнт, який залежить від	оброблюваного матеріалу K_1	0,750	0,750	0,750
		швидкості різання та переднього кута K_2	1,0	1,0	1,0
	Сила різання, H		$P_Z = P_{Z\partial\partial\partial\partial} \cdot K_1 \cdot K_2$		
			337,5	1875	637,5
	Сумарна сила різання на позиції		$\Sigma P_{ZV} = 337,5 + 1875 + 637,5 = 2850H$		
	Потужність різання, kBm		$N_{\pi\pi\pi} = \frac{P_Z \cdot V}{1020 \cdot 60} =$ $= \frac{2850 \cdot 124,43}{1020 \cdot 60} = 5,79kBm$		

Таблиця 3.16 – Розрахункові залежності та відповідні результати розрахунків потужності механічного оброблення

№ з/п	Назва показника	Розрахункові залежності та значення відповідних параметрів
1	2	3
	Сумарна потужність	$\Sigma N_{\pi\pi\pi} = N_{\pi\pi\pi III} + N_{\pi\pi\pi IV} + N_{\pi\pi\pi V} + N_{\pi\pi\pi VI} + N_{\pi\pi\pi VII} + N_{\pi\pi\pi VIII}$ $\Sigma N_{\pi\pi\pi} = 8,17 + 6,45 + 5,79 + 3,81 + 4,16 + 5,43 = 33,81kBm$
	Потужність приводу головного руху верстата мод. 8-Stations 8-Spindles NC Trunnion Type Rotary Transfer Machine	$N_D = 55 kBm$

Кінець таблиці 3.16

1	2	3
	Коефіцієнт корисної дії верстата	$\eta=0,80$
	Умова можливості обробки деталі на верстаті	$N_{\text{різ}} \leq N_{\text{ун}} \quad N_{\text{ун}} = N_{\text{д}} \cdot \eta, \text{ кВт}$ $N_{\text{ун}}=55 \cdot 0,8=44 \text{ кВт}; \quad N_{\text{різ}}=33,81 \text{ кВт} < N_{\text{ун}}=44 \text{ кВт}$
	Висновок	Обробка можлива

3.11 Розрахунок режимів різання на основі нейронних мереж

На основі нейронних мереж отримані такі режими різання для отримання отвору $\varnothing 40\text{H7}$.

Розточування (грубе, твердосплавний інструмент): $V_c \approx 120\text{--}200 \text{ м/хв}$, подача $0,08\text{--}0,25 \text{ мм/об}$, глибина різання по радіусу до $1,0\text{--}1,6 \text{ мм}$ (з урахуванням жорсткості і потужності верстата).

Напівчистове: $V_c \approx 80\text{--}150 \text{ м/хв}$, подача $0,03\text{--}0,10 \text{ мм/об}$, припуск на фініш $0,05\text{--}0,2 \text{ мм}$.

Внутрішнє шліфування (чорновий): периферійна швидкість круга $v = 20\text{--}30 \text{ м/с}$; подача поступального супорта дуже мала ($0,002\text{--}0,01 \text{ мм/хід}$); видалення $0,05\text{--}0,1 \text{ мм}$ діаметру за прохід (залежить від зерна).

Внутрішнє шліфування (фініш): $v = 25\text{--}35 \text{ м/с}$; подача мікронна ($0,001\text{--}0,004 \text{ мм/хід}$); кількість проходів поки діаметр стабілізується (між вимірами).

Приклад перетворення $v \rightarrow \text{rpm}$ для круга $D=50 \text{ мм}$: $\text{rpm} \approx (60 \cdot v)/(\pi \cdot D)$
 $\rightarrow$ для $v=30 \text{ м/с}$ і $D=0,05 \text{ м}$: $\text{rpm} \approx (60 \cdot 30)/(\pi \cdot 0,05) \approx 11\,459 \text{ об/хв}$.

3.12 Технічне нормування ТП

Технічне нормування ТП охоплює усі технологічні операції виготовлення втулки і може виконуватись на основі розрахунково-аналітичного методу та наближених аналітичних залежностей. На операцію 010 розрахунок нами проведено згідно даних праць [27, 30] розрахунково-аналітичним методом. Результати розрахунків наведено у таблиці 3.17.

Таблиця 3.17 – Розрахункові залежності та відповідні результати розрахунків норм часу розрахунково-аналітичним методом для операції 010 Автоматна токарна

№ з/п	Назва показника згідно [27, 30]		Розрахункові залежності та значення відповідних параметрів часу, с
1	2		3
1	Тривалість	транспортування оброблюваної заготовки від завантажувальної до робочої позиції	$T_1=8,10$
2		синхронізації найшвидкохіднішій позиції	$T_2=2,0$
3		швидкого відповідно підведення та відведення супорта	$T_3+T_5=0,017(L_{підв.}+L_{відв.})=2,0$
4		робочих ходів	$T_4 = 0,12xв = 7,2с$
5		циклу напівавтомату	$T_{ц} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + 5,5$ $T_{ц} = 8,1+2+2+7,2+5,5 = 24,8 с = 0,41 хв$
6	Довжина траєкторії	підведення, мм	27,70
7	швидкого лімітуючого інструменту	відведення, мм	

Кінець таблиці 3.17

1	2		3
8	Час на вимірювання		перекривається часом циклу роботи напівавтомату
9	Оперативний час		$T_{OP} = T_{Ц} = 0,41 \text{ хв}$
10	Час на обслуговування	технічне	2% від основного часу Σt_p : $T_{\text{тех.обсл.}} = T_o \cdot 2\% = 0,12 \cdot 0,02 = 0,0024 \text{ хв}$
11		організаційне	2,9% від оперативного часу $T_{\text{орг.обсл.}} = T_{OP} \cdot 2,9\%$ $T_{\text{орг.обсл.}} = 0,41 \cdot 0,029 = 0,012 \text{ хв}$
12	Затрати часу на перерви, відпочинок і особисті потреби		6% від оперативного часу T_{OP} $T_{\text{відп.}} = T_{OP} \cdot 6\% = 0,0246 \text{ хв}$
13	Штучний час $T_{шт}$		$T_{шт} = T_{Ц} + T_{\text{тех.обсл.}} + T_{\text{орг.обсл.}} + T_{\text{відп.}}$ $T_{шт} = 0,41 + 0,0024 + 0,012 + 0,0246 = 0,45 \text{ хв}$

Розрахункові залежності та відповідні результати розрахунків елементів технічного нормування ТП для операцій 015-030 подано у таблиці 3.18.

Таблиця 3.18 – Розрахункові залежності та відповідні результати розрахунків елементів технічного нормування ТП для операцій 005-040

Номер, код і назва технологічної операції	Основний час T_o , хв	Коефіцієнт штучного часу ψ_{ϵ}	Штучний час $T_{шт}$, хв
005 0400 Переміщення			6.8
010 5714 Автоматна токарна			0,45
015 8316 Внутрішньо-шліфувальна	0,520	1,55	0,79
016 0130 Промивання			
020 4209 Горизонтально-протяжна	0,230	1,10	0,24
025 5012 Вертикально-свердлильна	0,360	1,3	0,47
030 3708 Свердлильна з ЧПК	0,300		0,40
035 0130 Промивання			1,82
040 0168 Приймальний контроль			5,20

3.13 Протяжка КРМ 20-143.02.00

Деталь «Протяжка» КРМ 20-143.02.00 є різальним інструментом багатозубого типу, призначеним для чистової та напівчистової обробки внутрішніх профільних поверхонь отворів шляхом протягування. Протяжка застосовується на горизонтальних або вертикальних протяжних верстатах у серійному та масовому виробництві, де потрібні висока точність розмірів і стабільна шорсткість обробленої поверхні.

Основним її призначенням є формування внутрішнього профілю деталі типу втулка із заданими геометричними параметрами (діаметр, форма профілю, шорсткість), що забезпечує взаємозамінність деталей і зменшення кількості окремих операцій механічної обробки.

3.13.1 Загальна характеристика конструкції

Протяжка виконана у вигляді суцільного стрижневого інструмента з послідовно розташованими ділянками різного функціонального призначення. Конструкція є осьово-симетричною та включає такі основні елементи:

- хвостовик (захватна частина);
- напрямна (калібрувальна) частина на вході;
- різальна частина з робочими зубами;
- калібрувальна частина на виході;
- перехідні та допоміжні елементи (фаски, радіуси, канавки).

Матеріал протяжки — швидкорізальна сталь Р6М5 ДСТУ 7674–2005, що забезпечує необхідну зносостійкість, теплостійкість і міцність різальних кромek при значних контактних навантаженнях.

3.13.2 Хвостовик і напрямна частина

Хвостовик протяжки розташований у передній частині інструмента та призначений для закріплення протяжки в тяговому механізмі верстата. Геометрія хвостовика забезпечує надійну передачу зусилля протягування та правильне осьове положення інструмента під час роботи.

Безпосередньо за хвостовиком розміщена напрямна частина, яка входить у попередньо оброблений отвір заготовки. Вона забезпечує центрування протяжки відносно осі отвору та зменшує бокові навантаження на різальні зуби, що позитивно впливає на точність і довговічність інструмента.

3.13.3 Різальна частина

Різальна частина є основним функціональним елементом протяжки. Вона складається з послідовно розташованих зубів, кожен з яких знімає шар матеріалу визначеної товщини. Висота зубів поступово зростає, що забезпечує поетапне зняття припуску та зменшення сил різання.

Крок зубів, форма передньої та задньої поверхонь, а також кути різання підібрані з урахуванням матеріалу оброблюваної деталі та умов різання. Така конструкція дозволяє досягти стабільного процесу різання, рівномірного зношування зубів і високої якості обробленої поверхні.

3.13.4 Калібрувальна частина

Після різальної частини розташована калібрувальна частина, зуби якої не знімають матеріал, а виконують функцію остаточного формування розміру та згладжування мікронерівностей поверхні. Саме ця частина забезпечує досягнення заданого поля допуску та шорсткості отвору.

3.13.5 Взаємодія з оброблюваною деталлю

Запропонована протяжка використовується для обробки заготовки втулки, виготовленої зі сталі 10552 DIN 1681. Заготовка має попередньо сформований отвір, який після протягування набуває остаточного профілю та розмірів. Застосування протяжки дозволяє об'єднати кілька операцій (розточування, чистову обробку, калібрування) в одну, що підвищує продуктивність і точність виготовлення деталі.

Таким чином, протяжка КРМ 20-14.3.02.00 є високоточним багатозубим різальним інструментом, конструкція якого забезпечує ефективне, стабільне та продуктивне формування внутрішніх поверхонь втулок. Рациональне поєднання хвостовика, прямої, різальної та калібрувальної частин дозволяє отримувати деталі з високими показниками точності та якості поверхні, що відповідає вимогам сучасного серійного виробництва.

3.14 Технологічне спорядження для реалізації технологічної операції одночасного свердління 4-ох отворів Ø13H12

3.14.1 Опис конструктивного виконання технологічного спорядження для реалізації технологічної операції одночасного свердління 4-ох отворів Ø13H12

Для реалізації технологічної операції 025 одночасного свердління 4-ох отворів Ø12H12 на вертикально-свердильному верстаті 2H150 доцільно використати спеціальний накладний кондуктор КРМ 20-143.05.00СК зі змінними втулками та відповідна 4-х шпиндельна

свердлильна головка КРМ 20-143.04.00СК. Центри згаданих отворів розміщені на діаметрі $\varnothing 100 \pm 0,07$ мм при кутовому розміщенні $\alpha = 80^\circ \pm 5'$.

Таким чином, кондуктор забезпечує:

- точне взаємне розташування отворів $\varnothing 12H12$;
- дотримання міжосьових розмірів $\varnothing 100 \pm 0,07$ мм;
- витримування кутової величини $80^\circ \pm 5'$ за рахунок втулок та базових елементів.

У таблиці 3.19 описана функціональна структура накладного кондуктора КРМ 20-143.05.00СК.

У такій конструкції основа 1 є опорною частиною пристосування. На ній розміщені: дві гільзи (поз. 3), встановлені за перехідною посадкою, а також обмежувальні гвинти М12-6g×15.14Н (поз. 14), які задають крайні положення колон.

Колони (поз. 4) встановлюються у гільзи та забезпечують напрямні рухи кондукторної плити у вертикальному напрямку; передачу зусилля затиску від свердлильної головки через пружини; фіксацію висоти плити за допомогою двох гайок М33×1,5-6Н (поз. 11).

На колонах також розміщено пружини (поз. 5) створюють зусилля підтискання та хомути (поз. 6), що забезпечують піднімання плити при розтискуванні.

Робочим елементом конструкції є кондукторна плита (поз. 2), яка несе на собі 4 постійні втулки (поз. 21), що встановлені з натягом; також вона утримує 4 швидкозмінні втулки (поз. 20), що фіксуються гвинтами (поз. 15); забезпечує установку таких елементів базування як зрізаний палець (поз. 7), кільце (поз. 9), циліндричний палець (поз. 8) та штифт 12m6×20 (поз. 19).

Всі згадані елементи базування закріплені за допомогою гвинтів М8-6g×20.56 та М10-6g×25.56 з відповідними шайбами.

Таблиця 3.19 - Функціональна структура накладного кондуктора

Конструктивного елементу:		
позна- чення	назва	функція
1	2	3
1	Основа кондуктора	встановлення двох гільз з перехідною посадкою
2	Кондукторна плита	встановлення з посадкою з натягом 4-х постійних втулок 21, закріплення швидкозмінних втулок 20, кріплення по перехідній посадці зрізаного пальця 7
3	Гільзи	Містить колони 4
4	Колонна	Направлення переміщення. встановлення кондукторної плити 2, пружини 5 та 2 хомутів 6
5	Пружина	Підтискання плити і затиск
6	Хомут	Фіксація плити
7	Зрізаний палець	Направлення плити
8	Циліндричний палець	Розміщення штифта 19
9	Кільце	Встановлення циліндричного пальця 8 кріплення до плити кільця 9 та циліндричного пальця 8
10	Втулка	Направлення
11	Гайки М33×1,5-6Н	Фіксація розміщення кондукторної плити на колонах
12	Гвинти М8-6g×20.56 (4 шт.)	Кріплення зрізаного пальця 7
13	Гвинти М10-6g×25.56	Кріплення до плити кільця 9 та циліндричного пальця 8

Кінець таблиці 3.19

1	2	3
14	Гвинт M12-6g×15.14H	Обмеження переміщення колон
15	Гвинти	Кріплення 4-х швидкозмінних втулок 20
16	Рим-болти M12	Транспортування кондуктора
17	Шайба 8.65Г.099	Кріплення зрізаного пальця 7
18	Шайба 10.65Г.099	Кріплення до плити кільця 9 та циліндричного пальця 8
19	Штифт 12m6×20	Фіксація переміщення
20	Швидкозмінні втулки	Направлення свердла
21	Постійні втулки	Встановлення 4-х швидкозмінних втулок 20

У конструкції передбачені два види втулок (поз. 20 та 21): постійні, що забезпечують точність положення швидкозмінних втулок, а також швидкозмінні, які направляють свердла й забезпечують точність обробки.

Базовими елементами конструкції є циліндричний палець, що виконує попереднє орієнтування деталі, штифт 12m6×20, що знімає один ступінь свободи та зрізаний палець, що працює як додатковий елемент базування під час затиску.

Для транспортування пристосування у конструкції передбачено рим-болти (поз. 16).

3.14.2 Базування, фіксація, затиск і розтискування деталі в кондукторі

Базування виконується згідно з правилами 6-точкового закріплення.

Етапи початкового встановлення деталі є такими.

1. Оброблювану заготовку подають у кондуктор вручну чи маніпулятором.

2. Заготовка орієнтується по циліндричному пальцю (групове спрямування з зазором) та штифту $12\text{m}6\times 20$, який обмежує один ступінь свободи.

Фіксація при затисканні здійснюється після зближення кондукторної плити до деталі. У цьому випадку зрізаний палець точно притискає та орієнтує деталь, обмежуючи 2 ступені свободи, а плита контактує з опорними поверхнями деталі, обмежуючи ще 3 ступені свободи.

Таким чином забезпечується позбавлення усіх 6-ти ступенів свободи, а базування відповідає вимогам точності.

Система затискання реалізується наступним чином.

1. Свердлильна головка опускається вниз із неробочої позиції.
2. Головка натискає на колони через хомути.
3. Пружини на колонах стискаються та створюють зусилля притискання.
4. Кондукторна плита рівномірно притискає деталь.
5. Зрізаний палець забезпечує точне позиціонування отворів відносно втулок.

Це одночасно забезпечує затиск та гарантує повторюваність положення деталі.

Розтискування здійснюють при підніманні свердлильної головки. У цьому випадку хомути захоплюють плити й піднімають її разом із колонами, а гвинти-підіймачі (поз. 14) обмежують хід і не дають колоні вийти з гільз. Внаслідок цього з'являється зазор для зняття обробленої деталі та встановлення нової.

3.14.3 Монтаж пристосування на верстат 2Н150

Для монтажу пристосування на верстаті необхідно:

1. Встановити кондуктор на стіл верстата.
2. Встановити 4-шпиндельну головку на колони пристосування та сумістити її осі зі шпинделем верстата. Така головка встановлюється в шпиндель верстата за допомогою повідкового патрону 11.
3. За допомогою пробних свердел відкоригувати положення плити.
4. Зафіксувати кондуктор через два Т-пази (22 мм) та установчі болти.
5. Після цього — зафіксувати хомути на колонках.

3.14.4 Принцип роботи багатошпиндельної свердлильної головки КРМ 20-143.04.00СК

Багатошпиндельна свердлильна головка КРМ 20-143.04.00 закріплюється на шпинделі верстату за допомогою хомутів (поз. 3), що забезпечує жорстке та надійне кріплення під час роботи. Обертний рух передається від повідкового патрона до зубчастого колеса (поз. 7), яке є проміжним елементом передачі крутного моменту. Далі обертання передається на чотири шестерні (поз. 8), розташовані на відповідних шпинделях інструменту, що дозволяє синхронно обертати всі свердла.

Свердло фіксується у шпинделі за допомогою затискної втулки (поз. 35), яка забезпечує точне центрування і надійне утримання інструмента під час обертання. Затискну втулку встановлюють в перехідну втулку (поз. 34), що дозволяє адаптувати різні діаметри інструментів до одного типу шпинделя та забезпечує надійну передачу крутного моменту без люфтів. Таким чином, конструкція забезпечує одночасне і стабільне обертання декількох свердел, точне центрування інструментів та надійне кріплення головки до шпинделя верстата.

3.15 Розрахунок геометричних параметрів калібр-пробки для контролю отвору $\varnothing 38 H7$

Розрахунок геометричних параметрів калібр-пробки для контролю отвору $\varnothing 38 H7$ здійснюємо за методикою, яка описана в праці [24] та ISO 286.

Розрахункові залежності та відповідні результати розрахунків наведено у таблиці 3.20.

Графічна ілюстрація розміщення полів допусків і відповідних розмірів калібр-пробки і контрольованого отвору $\varnothing 38 H7 (+0,025)$ наведено на рисунку 3.3.

На такому рисунку позначено поле допуску: 1 – контрольованого отвору, 2 – величини зношення прохідного калібру, 3 – на технологічне виконання робочих поверхонь вимірювального інструменту.

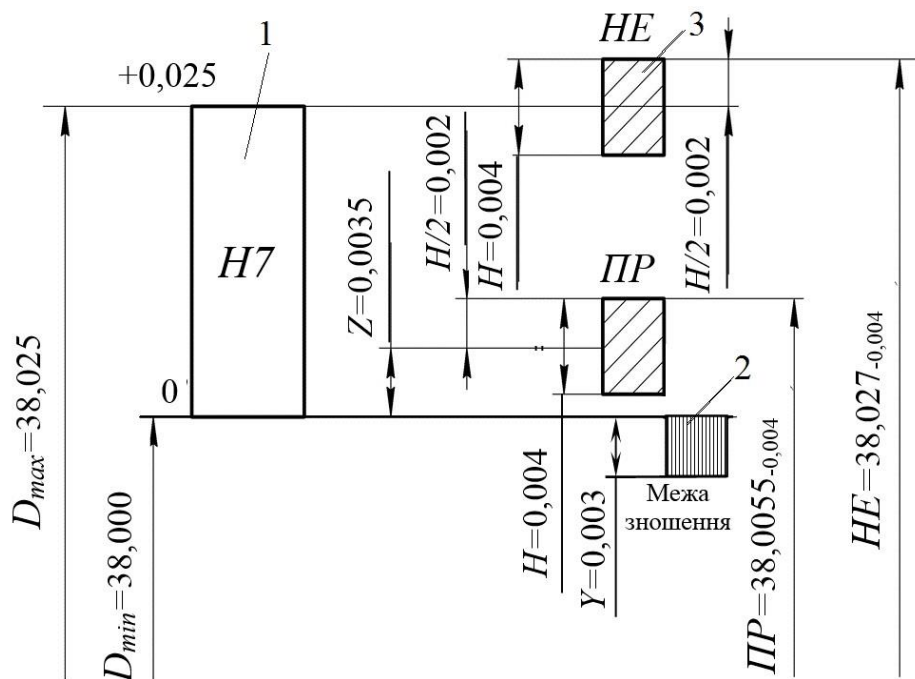
Спроектована калібр-пробка наведена на кресленні КРМ 20-143.03.00СК.

Таблиця 3.20 – Розрахункові залежності та відповідні результати розрахунків геометричних параметрів калібр-пробки для контролю отвору $\varnothing 38 H7$

№ з/п	Назва показника згідно ISO 286		Розрахункові залежності та значення відповідних параметрів
1	2		3
1	Нормативна величина відхилення середини поля допуску прохідної частини калібр-пробки відносно мінімального граничного розміру отвору у мкм		$Z=3,50$
2	Нижнє граничне відхилення отвору, мм		$EI=0$
3	Верхнє граничне відхилення отвору, мм.		$ES=0,0250$
4	Діаметр	мінімальний	$D_{min}=D+EI, \text{ мм}; D_{min}=38+0=38,0$
5	отвору у мм	максимальний	$D_{max}=D+ES, \text{ мм};$ $D_{max}=38+0,025=38,025 \text{ мм}$

Кінець таблиці 3.20

1	2		3
6	Допуск на виготовлення калібр-пробки		$H=4,0 \text{ мкм}$
7	Граничне значення зношення прохідної частини калібр-пробки;		$Y=3,0 \text{ мкм}$
8	Найбільший розмір сторони	прохідної	$PP_{\max} = D_{\min} + Z + H / 2 ;$ $PP_{\max} = 38 + 0,0035 + \frac{0,004}{2} = 38,0055 \text{ мм}$
		не прохідної	$HE_{\max} = D_{\max} + H / 2 ;$ $HE_{\max} = 38,025 + \frac{0,004}{2} = 38,027 \text{ мм}$
9	Найменший граничний розмір прохідного зношеного калібру		$PP_{\text{зн.}} = D_{\min} - Y ;$ $PP_{\text{зн.}} = 38 - 0,003 = 37,997 \text{ мм}$
10	Підсумкові розміри частини калібр-пробки	прохідної	$PP = \varnothing 38,0055_{-0,004}$
		непрохідної	$HE = \varnothing 38,027_{-0,004}$

Рисунок 3.3 – Графічна ілюстрація розміщення полів допусків і відповідних розмірів калібр-пробки і контрольованого отвору $\varnothing 38H7 (+0,025)$

3.16 Висновки до розділу

Розроблено технологічний процес виготовлення втулки ОЛВ12.121.11 та вибрано і спроектовано верстатно-інструментальне спорядження для його реалізації. В рамках цього вирішено такі завдання:

- вибрано технологічний спосіб отримання початкової заготовки і виконано його техніко-економічне обґрунтування;
- проаналізовано марку матеріалу деталі та її технологічні характеристики та визначено способи отримання початкової заготовки та виконано їх порівняння за різними критеріями;
- проведено техніко-економічне обґрунтування раціонального способу отримання початкової заготовки;
- здійснено кодування поверхонь та на його основі виконано вибір та обґрунтування структури технологічного процесу та технологічних баз;
- вибрано технологічне устаткування та спорядження, розроблено зміст переходів та визначено необхідну його кількість, показники завантаження та типу виробництва;
- розраховано припуски табличним методом та розрахунково-аналітичним методом;
- розраховано режими різання розрахунково-аналітичним і табличним методами та з використанням нейронних мереж;
- виконано технічне нормування розробленого ТП;
- вибрано та описано конструкцію протяжки КРМ 20-143.02.00СК для отримання шпонкового пазу та кондуктора КРМ 20-143.05.00СК і свердлильної головки КРМ 20-143.04.00СК для отримання 4-ох отворів $\varnothing 13H12$, визначено особливості їх базування, фіксації, затиску і розтискування деталі в кондукторі, монтажу пристосування на верстаті мод. 2Н150;
- виконано розрахунок геометричних параметрів калібр-пробки КРМ 20-143.03.00СК для контролю отвору $\varnothing 38H7$.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при отриманні заготовки втулки зі сталі 1.0552 (C35E) методом лиття в кокіль

Отримання заготовки втулки зі сталі 1.0552 (C35E) DIN 1681 методом лиття в кокіль супроводжується дією комплексу небезпечних та шкідливих виробничих факторів, пов'язаних із процесами плавлення металу, транспортування і заливання розплаву, експлуатацією ливарного устаткування та допоміжних механізмів [7, 9]. Основними джерелами небезпеки на цій стадії технологічного процесу є високі температури розплавленого металу і кокілю, теплове випромінювання, бризки розплаву, утворення шкідливих газів і аерозолів, а також підвищені рівні шуму та фізичні навантаження.

Під час плавлення та заливання сталі в кокіль у повітря робочої зони можуть надходити окисли заліза, пари мастильних і антипригарних матеріалів, а також продукти термічного розкладу формувальних покриттів. Ці речовини подразнюють органи дихання та зору і при тривалій дії можуть викликати професійні захворювання. Контроль вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони здійснюється відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин у повітрі робочої зони».

Одним із найнебезпечніших факторів є термічний вплив розплавленого металу, температура якого при литті сталі перевищує 1500 °С. Контакт із розплавом або нагрітими елементами кокілю може призвести до тяжких опіків. Додаткову небезпеку становить можливість викидів і розбризкування металу у разі наявності вологи в кокілі або на інструменті. У зв'язку з цим кокілі, ливарний інструмент і заливальні ковші повинні бути попередньо висушені та підігріті.

Процес лиття в кокіль супроводжується інтенсивним тепловим випромінюванням, яке створює несприятливі мікрокліматичні умови на робочих місцях. Вимоги до параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях встановлюються ДСН 3.3.6.042-99 та ДСН 3.3.6.039-99 (у частині впливу теплового навантаження), а також регламентуються санітарними нормами з охорони праці. Для зменшення теплового навантаження необхідно передбачати загальнообмінну та місцеву вентиляцію, теплові екрани та раціональні режими праці і відпочинку.

Під час відкривання кокілю, виймання виливка та його транспортування виникає небезпека механічного травмування, затискання рухомими частинами механізмів, падіння виливків або елементів спорядження. Переміщення заготовок, що мають значну масу та високу температуру, повинно здійснюватися із застосуванням вантажопідіймальних механізмів відповідно до вимог НПАОП 0.00-1.01-07 «Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів».

Ливарне устаткування, механізми відкривання кокілів, вентиляційні установки та допоміжні агрегати створюють підвищений рівень шуму, що негативно впливає на органи слуху та нервову систему працюючих. Допустимі рівні шуму на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99 «Державні санітарні норми виробничого шуму», а за необхідності застосовуються засоби індивідуального захисту органів слуху.

Електроустаткування плавильних печей, приводів кокільних машин і допоміжних механізмів є джерелом електричної небезпеки. Захист від ураження електричним струмом повинен забезпечуватися відповідно до ДСТУ 7237:2011 «Електробезпека. Захисне заземлення та занулення» та ДСТУ ІЕС 61140:2005 «Захист від ураження електричним струмом».

Для зниження рівня виробничих ризиків при литті заготовок у кокіль необхідно застосовувати комплекс інженерно-технічних та організаційних заходів, зокрема:

- механізацію і автоматизацію операцій заливання та відкривання кокілів;
- використання дистанційного керування ливарним устаткуванням;
- устаткування робочих місць місцевими відсмоктувачами та тепловими екранами;
- забезпечення працівників спеціальним одягом, взуттям та засобами індивідуального захисту (вогнестійкі костюми, захисні щитки, рукавиці, респіратори);
- проведення обов'язкового навчання та інструктажів з охорони праці перед допуском до виконання ливарних робіт.

Застосування зазначених заходів дозволяє суттєво знизити рівень небезпечних і шкідливих факторів при отриманні заготовки втулки методом лиття в кокіль та забезпечити відповідність умов праці вимогам чинних нормативно-правових актів України з охорони праці.

4.2 Загальна характеристика комплексу потенційних небезпек та шкідливих умов праці при реалізації технологічного процесу механічної обробки втулки ОЛВ 12.121.11

Реалізація технологічного процесу виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11 на ділянці механічної обробки машинобудівного підприємства супроводжується виникненням комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на умови праці, працездатність та стан здоров'я працюючих. Джерелами цих факторів є робота багатошпиндельного роторного оброблюючого центру 8-Stations 8-Spindles NC Trunnion Type Rotary Transfer Machine фірми KAI HUNG MACHINERY CO., LTD, внутрішньо-шліфувального верстату верстат MW 200x750 CORMA, горизонтально-протяжного верстату мод. 7Б57, вертикально-свердлильного верстату мод. 2Н150 та вертикального п'яти-

осьового оброблюючого центру MU-400VA, а також допоміжного транспортного і вантажопідіймального устаткування.

До основних шкідливих факторів належать: забруднення повітря робочої зони аерозолями металів і абразивного пилу, підвищені рівні шуму та вібрації, несприятливі параметри освітлення, можливий вплив теплового випромінювання від оброблюваних деталей і устаткування, а також небезпека ураження електричним струмом і механічного травмування.

Під час механічної обробки різанням та шліфуванням у повітря робочої зони надходить металевий (зокрема сталевий) пил, який негативно впливає на органи дихання, зору та шкірні покриви працівників. Пилові частинки, потрапляючи до організму, можуть викликати подразнення слизових оболонок, гострі та хронічні запальні процеси, а також сприяти розвитку професійних захворювань. Крім того, осідання пилу на рухомі частини механізмів прискорює їх зношення, а накопичення на електрообладнанні може призводити до порушення ізоляції та аварійних ситуацій.

Основним методом оцінки запиленості повітря робочої зони є ваговий метод у поєднанні з визначенням дисперсного складу пилу, оскільки пилові частинки розміром 5–10 мкм частково затримуються у верхніх дихальних шляхах, а частинки розміром менше 0,3 мкм практично не затримуються і можуть проникати в легені. Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони», гранично допустима концентрація чавунного пилу в повітрі робочої зони становить 6 мг/м³, що відповідає 4-му класу небезпеки (малонебезпечні речовини).

Робота металорізальних і шліфувальних верстатів супроводжується підвищеними рівнями шуму та вібрації, які негативно впливають на центральну нервову систему, органи слуху та загальний функціональний стан організму. Тривала дія шуму та вібрації призводить до зниження концентрації уваги, швидкої втомлюваності, погіршення зору і слуху, а також

підвищує ризик травматизму через несвоєчасне сприйняття попереджувальних сигналів.

За частотною характеристикою шум на даній ділянці належить до II класу, оскільки найбільші рівні шуму в спектрі зосереджені в діапазоні частот нижче 800 Гц. Відповідно до ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації», рівні вібрації на робочих місцях при 8-годинній тривалості робочої зміни не повинні перевищувати встановлених гранично допустимих значень залежно від частотного діапазону та виду вібрації.

Важливим чинником забезпечення безпечних і комфортних умов праці є раціональна система освітлення виробничих приміщень. Достатній рівень освітленості зменшує зорову втому, підвищує точність виконання операцій, знижує рівень виробничого травматизму та кількість браку. Вимоги до освітлення робочих місць встановлюються відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

Згідно з ДБН В.2.5-28:2018, роботи, що виконуються на ділянці механічної обробки різанням, за характеристикою зорової роботи належать до робіт середньої та підвищеної точності. Мінімальна освітленість визначається залежно від розміру об'єкта розпізнавання, контрасту об'єкта з фоном і характеру фону. Для даної ділянці мінімальний розмір об'єкта розпізнавання становить 0,3–0,5 мм, що відповідає 8-му розряду зорової роботи; контраст - середній, фон - світлий. Нормована штучна освітленість при загальному освітленні повинна бути не менше 300 лк, коефіцієнт природної освітленості при боковому освітленні - не менше 2 %, а при суміщеному верхньому і боковому освітленні - не менше 1,2 %.

Додаткову небезпеку на ділянці становить ураження електричним струмом, яке може виникнути внаслідок несправності електрообладнання, пошкодження ізоляції, порушення вимог захисного заземлення або занулення. Вимоги щодо електробезпеки електроустановок регламентуються

ДСТУ 7237:2011 «Електробезпека. Захисне заземлення та занулення» та ДСТУ ІЕС 61140:2005 «Захист від ураження електричним струмом».

У процесі роботи обладнання на ділянці утворюються небезпечні зони, у межах яких існує ризик травмування працівників. До таких зон належать:

- зона вильоту та дії стружки при токарній, свердлильній і протяжній обробці;
- простір під вантажем при його переміщенні вантажопідіймальними механізмами;
- зони навколо рухомих частин верстатів, конвеєрів та інших механізмів.

Для запобігання потраплянню працівників у небезпечні зони необхідно застосовувати інженерно-технічні заходи (огородження, захисні екрани, блокувальні пристрої, аварійні вимикачі), а також організаційно-технічні заходи (професійне навчання, первинний та повторний інструктажі з охорони праці, попереджувальні та заборонні знаки, раціональне розміщення обладнання і робочих місць).

4.3 Загальний аналіз впливу вібрації на організм людини та відповідні заходи щодо зниження вібрації технологічного устаткування на ділянці

При сучасному розвитку автоматизації та механізації, застосуванні потужних механічних установок, неодмінною умовою роботи цехів машинобудівних заводів є наявність сильних коливальних рухів – вібрацій, які позначаються на стані здоров'я працюючих.

Вібрація впливає на клітинну будову органів тіла, викликаючи зміни у тканинах, м'язах, зокрема в серцевих, а також на нервову систему, порушуючи регуляцію діяльності внутрішніх органів і обмін речовин. В

результаті вібрації може послабитись реакція організму на подразнення зовнішнього середовища.

Дія вібрації на організм людини залежить від її частоти та амплітуди. Чим більша амплітуда чим більша амплітуда, тим більша енергія коливального руху і тим сильніший вплив на людський організм. При інтенсивних та частих вібраціях у робітників може виникнути невроз рук, захворювання суглобів. Значна вібрація є професійною шкідливістю.

Отже, вібрація є шкідливою для здоров'я, вона може призвести до виробничого травматизму і професійних захворювань, а тому треба усувати їх як у виробничих приміщеннях, так і на території заводу, і вживати проти них захисних заходів.

У цьому плані існує безліч різноманітних засобів. Один з них – заміна вібраційного процесу без вібраційним, ударні дії – безударними. Наприклад, ретельне складання всіх рухомих частин агрегату, при якому зводяться до мінімуму помилки у зчленуванні деталей (перекоси, неправильна відстань між центрами та інші), сприяє зменшенню співударяння, виникнення шуму та вібрацій.

Якщо не можна зменшити їх у самому джерелі утворення до допустимого рівня, в конструкцію агрегату слід включити пристрої, що перешкоджають поширенню назовні, тобто ізолюють чи вбирають вібрацію. Наприклад, добрим засобом ізоляції фундаментів будівлі від коливань є акустичні розриви, розташовані по периметру фундаменту. Акустичним розривом називається щілина між вібруючою масою і тією масою, яку необхідно захистити від струсів. Щілина йде по всьому периметру фундаменту і є його повітряним ізолятором. Заповнюють її матеріалами, які слабо проводять звук і коливання (повстю, пергаментом, пакетами з толі чи руберойду, тирсою, шлаком); при цьому утворюється так званий акустичний шов.

Крім цього, щоб запобігти руйнуванню будівельних конструкцій від даного впливу, виробниче устаткування проектованої ділянки встановлюємо на спеціальні віброізолюючі фундаменти (див. рис. 4.1).

Проведемо розрахунок амортизатора роторного оброблюючого центру 8-Stations 8-Spindles NC Trunnion Type Rotary Transfer Machine фірми KAI HUNG MACHINERY CO., LTD, використовуючи методологію підручника [15], враховуючи що $n_{\max} = 800$ об/хв.; $P = 120$ кН.

Приймаємо загальну масу фундаменту 500 кН (маса фундаменту повинна бути не менша ніж у три рази більша маси установки).

Вибираємо амортизатори із гуми марки ІРП-1346, у якої: $\sigma = 3 \cdot 10^5$ Па; $E_0 = 3,9 \cdot 10^6$ Па.

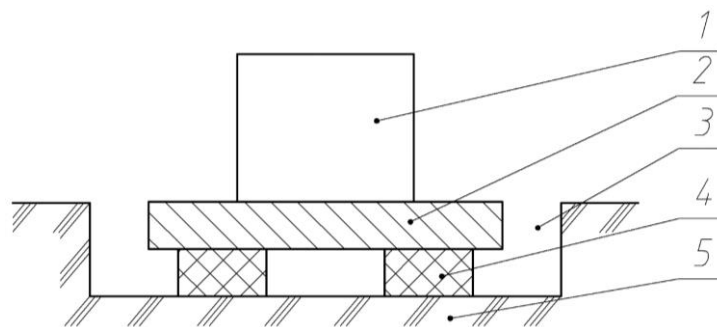


Рисунок 4.1 – Схема встановлення верстата: 1 – верстат; 2 – перекриття; 3 – акустичний шов; 4 – амортизатор; 5 – фундамент.

Визначаємо частоту власних коливань установки на амортизаторах:

$$f_0 = \frac{n}{3 \cdot 60},$$

де n – кількість обертів на установці, $n_{\max} = 800$ об/хв.

$$f_0 = \frac{800}{3 \cdot 60} = 4,44 \text{ об/с}$$

Колова частота коливань установки рівна:

$$\omega_0 = 2\pi f_0$$

$$\omega_0 = 2 \cdot 4,44 \cdot \pi = 28 \text{ Гц} ,$$

Загальна жорсткість усіх амортизаторів у вертикальному напрямку визначається за формулою:

$$K_z = m \cdot \omega_0^2 ,$$

де m – маса ізолюючої установки, $m = 500 \cdot 10^3 / (10 \cdot 9,81) = 5096,84$ Н·с²/м;

$$K_z = 5096,84 \cdot 28^2 = 3995922 \text{ Па/м}$$

Площа поперечного перерізу усіх амортизаторів визначається за формулою:

$$F_p = \frac{P}{\sigma}$$

$$F_p = \frac{50000}{3 \cdot 10^5} = 0,1666 \text{ м}^2 ,$$

Робоча висота амортизатора рівна:

$$H = \frac{E_{\partial} \cdot F_p}{K_z} ,$$

$$H = \frac{3,9 \cdot 10^6 \cdot 0,1666}{3995922} = 0,1627 \text{ м}$$

При шести амортизаторах площа одного рівна $0,1666/6 = 0,028 \text{ м}^2$.

Якщо амортизатор квадратний, то розмір його сторони рівний $\varepsilon = \sqrt{0,028} = 0,1673 \text{ м}$.

Таким чином, розрахований верстата амортизатор повинен забезпечити необхідну віброізоляцію.

Слід відзначити, що на ділянці механічного оброблення джерелом коливань є також і транспортна обладнання. У зв'язку з цим для послаблення так званих корпусних вібрацій крізь перекриття останні слід робити у вигляді плаваючих конструкцій, шляхом вкладання підлог на пружну основу (див. рис. 4.2).

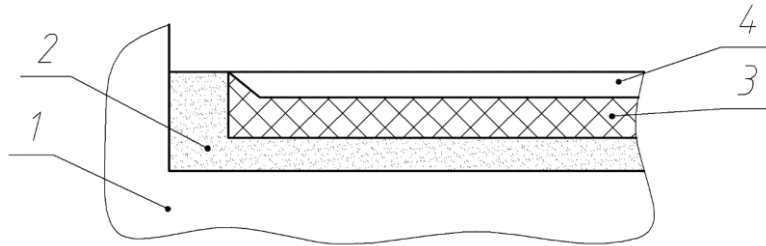


Рисунок 4.2 – Схема плаваючої підлоги на монолітній бетонній несучій основі: 1 – несуча конструкція перекриття; 2 – пружний матеріал; 3 – плаваюча підлога; 4 – верхнє покриття.

Необхідною умовою для зниження дії вібрації на організм людини, є дотримання індивідуальних засобів захисту: одягати м'які рукавиці з подвійною прокладкою на долонній поверхні; для зменшення відчуття вібрації і стрясань органів черевної порожнини слід щільно оперізувати живіт та користуватись спеціальним взуттям на товстій зубчастій гумовій підшві.

В цілому, здійснюючи захисні заходи від виробничих вібрацій та шкідливого впливу їх на організм людини у даній проектованій ділянці слід керуватися існуючими стандартами:

- ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації»;
- ДСТУ EN ISO 5349-1:2014 «Механічна вібрація. Вимірювання та оцінювання впливу локальної вібрації на людину. Частина 1. Загальні вимоги»;

- ДСТУ EN ISO 5349-2:2014 «Механічна вібрація. Вимірювання та оцінювання впливу локальної вібрації на людину. Частина 2. Практичні настанови щодо вимірювань на робочому місці»;
- ДСТУ ISO 2631-1:2019 «Механічна вібрація та удар. Оцінювання впливу загальної вібрації на людину».

4.4 Загальні положення про моніторинг і прогнозування надзвичайних ситуацій

З метою забезпечення здійснення комплексу заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, зменшення можливих матеріальних збитків і людських втрат, а також підвищення рівня безпеки населення і територій, в Україні організовується та здійснюється постійний моніторинг і прогнозування надзвичайних ситуацій. Зазначені заходи є складовою єдиної державної системи цивільного захисту та регламентуються вимогами Кодексу цивільного захисту України.

Відповідно до Кодексу цивільного захисту України, моніторинг і прогнозування надзвичайних ситуацій спрямовані на своєчасне виявлення небезпечних природних і техногенних процесів, оцінювання ризиків їх розвитку та прогнозування можливих наслідків для населення, об'єктів господарювання і навколишнього природного середовища.

Моніторинг надзвичайних ситуацій являє собою систему безперервних спостережень, лабораторного та інструментального контролю, спрямованих на оцінку стану захисту населення і територій від небезпечних факторів, що можуть призвести до виникнення надзвичайних ситуацій, а також на своєчасне виявлення тенденцій зміни цих факторів. Таке визначення узгоджується з положеннями Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про єдину державну систему цивільного захисту».

Спостереження, лабораторний та інший контроль у межах системи моніторингу включають збирання, накопичення, опрацювання, аналіз і передавання інформації про:

- стан навколишнього природного середовища;
- рівні забруднення атмосферного повітря, ґрунтів та водних ресурсів;
- забруднення продуктів харчування, продовольчої сировини і питної води небезпечними хімічними та радіоактивними речовинами;
- біологічне зараження збудниками інфекційних захворювань;
- технічний стан потенційно небезпечних і об'єктів підвищеної небезпеки.

Зазначені заходи здійснюються з урахуванням вимог законів України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», а також нормативних документів у сфері радіаційної, хімічної та техногенної безпеки.

Для проведення моніторингу і прогнозування надзвичайних ситуацій в Україні створюється та функціонує державна система моніторингу і прогнозування НС, яка є складовою функціональних і територіальних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту. Порядок функціонування цієї системи, організація спостережень, обсяги лабораторного контролю, а також перелік органів управління, установ і організацій, що належать до суб'єктів моніторингу та прогнозування, визначаються Кабінетом Міністрів України.

Суб'єкти моніторингу, спостереження, лабораторного контролю та прогнозування надзвичайних ситуацій на регіональному, місцевому та об'єктовому рівнях визначаються відповідними місцевими державними адміністраціями, органами місцевого самоврядування та суб'єктами господарювання з урахуванням характеру потенційних загроз і специфіки виробничої діяльності. На об'єктовому рівні відповідальність за організацію

моніторингу покладається на керівників підприємств відповідно до вимог Кодексу цивільного захисту України.

Прогнозування надзвичайних ситуацій здійснюється на основі аналізу результатів моніторингу, статистичних даних, математичного моделювання та експертних оцінок. Основною метою прогнозування є визначення імовірності виникнення надзвичайних ситуацій, можливих масштабів їх розвитку, зон ураження, а також очікуваних соціальних, екологічних та економічних наслідків. Результати прогнозування використовуються під час розроблення планів реагування на надзвичайні ситуації, планів локалізації та ліквідації аварій, а також заходів з цивільного захисту.

Створення і функціонування системи моніторингу і прогнозування ґрунтується на таких основних принципах:

- узгодженості нормативно-правового, організаційного та методичного забезпечення, а також сумісності технічних, інформаційних і програмних засобів складових системи;
- систематичності та безперервності спостережень за станом довкілля і техногенними об'єктами, що можуть становити загрозу виникнення надзвичайних ситуацій;
- своєчасності отримання інформації, комплексності її опрацювання та цільового використання в системі цивільного захисту;
- об'єктивності первинної, аналітичної та прогнозованої інформації, а також оперативності її доведення до органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, суб'єктів господарювання, засобів масової інформації та населення;
- відкритості інформації у межах, визначених законодавством України, і забезпечення інформування населення про загрози та можливі наслідки надзвичайних ситуацій.

Таким чином, моніторинг і прогнозування надзвичайних ситуацій є важливими інструментами превентивної діяльності у сфері цивільного захисту, що забезпечують своєчасне прийняття управлінських рішень,

зниження рівня ризиків та підвищення загального рівня безпеки функціонування об'єктів господарювання і територій України.

4.5 Моніторинг надзвичайних ситуацій на ділянці виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11

Моніторинг надзвичайних ситуацій на ділянці виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11 є складовою об'єктового рівня єдиної державної системи цивільного захисту та здійснюється відповідно до вимог Кодексу цивільного захисту України, Правил техногенної безпеки, Правил пожежної безпеки в Україні, а також внутрішніх нормативних документів машинобудівного підприємства.

Технологічний процес виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11 виконується із застосуванням багатошпindelного роторного оброблюючого центру 8 Stations 8 Spindles NC Trunnion Type Rotary Transfer Machine фірми KAI HUNG MACHINERY CO., LTD, внутрішньо-шліфувального верстата MW 200×750 CORMA, горизонтально-протяжного верстата мод. 7Б57, вертикально-свердлильного верстата мод. 2Н150, вертикального п'ятиосьового оброблюючого центру MU-400VA, а також допоміжного транспортного і вантажопідіймального устаткування. Наявність значної кількості високошвидкісного та енергонасиченого обладнання зумовлює підвищений рівень техногенних ризиків.

До основних потенційних джерел надзвичайних ситуацій на даній ділянці належать:

- рухомі та обертові елементи багатошпindelного роторного оброблюючого центру;
- зони різання та шліфування з інтенсивним утворенням металевої стружки та пилу;
- застосування мастильно-охолоджувальних рідин, які можуть створювати пожежо- та вибухонебезпечні аерозолі;

- електрообладнання верстатів з числовим програмним керуванням;
- вантажопідіймальні механізми та внутрішньоцеховий транспорт.

Моніторинг надзвичайних ситуацій на дільниці здійснюється шляхом виробничого контролю параметрів виробничого середовища, технологічних процесів і технічного стану обладнання. Зокрема, контролю підлягають:

- Запиленість повітря робочої зони, що виникає під час токарної, свердлильної, протяжної та шліфувальної обробки. Вимірювання концентрацій металевого пилу проводяться відповідно до ДСН 3.3.6.042-99, з метою недопущення перевищення гранично допустимих концентрацій.
- Рівні шуму та вібрації, які формуються внаслідок роботи багатошпиндельного роторного оброблюючого центру, шліфувального та протяжного верстатів. Контроль здійснюється відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 та ДСН 3.3.6.039-99.
- Параметри мікроклімату (температура, вологість, швидкість руху повітря), особливо в зоні роботи верстатів із ЧПК, відповідно до санітарних норм.
- Стан систем вентиляції та аспірації, які забезпечують видалення пилу, аерозолів мастильно-охолоджувальних рідин і тепловиділень.
- Електробезпека обладнання, зокрема справність заземлення, ізоляції та захисних відключень згідно з вимогами ПУЕ та ДСТУ ІЕС 61140.
- Пожежна безпека у зонах зберігання мастильних матеріалів і експлуатації електрообладнання, відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні.

Особливе значення має моніторинг технічного стану багатошпиндельного роторного оброблюючого центру та п'ятиосьового оброблюючого центру, зокрема контроль режимів різання, температури вузлів, рівня вібрацій і справності систем автоматичного захисту та аварійного зупинення. Це дозволяє своєчасно виявляти передаварійні стани та запобігати виникненню надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Організація моніторингу надзвичайних ситуацій на дільниці виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11 передбачає:

- ідентифікацію небезпечних і потенційно небезпечних виробничих факторів;
- розроблення та актуалізацію плану реагування на надзвичайні ситуації об'єктового рівня;
- призначення відповідальних осіб за здійснення контролю та оперативного інформування;
- регулярне проведення інструктажів, навчань і тренувань персоналу щодо дій у разі аварій, пожеж або інших надзвичайних ситуацій.

4.6 Особливості моніторингу та управління ризиками на дільниці виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11 в умовах воєнного стану

В умовах дії правового режиму воєнного стану в Україні характер і рівень потенційних небезпек на машинобудівному підприємстві суттєво ускладнюються. Відповідно до вимог Кодексу цивільного захисту України, Закону України «Про правовий режим воєнного стану», а також рішень органів державної влади і місцевого самоврядування, система моніторингу надзвичайних ситуацій на дільниці виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11 повинна функціонувати з урахуванням додаткових загроз воєнного характеру.

У період воєнного стану зростає ймовірність:

- порушення безперебійного енергопостачання, що може призвести до аварійних зупинок багатошпindelного роторного оброблюючого центру, п'ятиосьового оброблюючого центру MU-400VA та іншого обладнання з ЧПК;
- пошкодження інженерної інфраструктури підприємства (електромереж, систем вентиляції, пожежогасіння);

- підвищеної пожежної небезпеки внаслідок аварійних режимів роботи електрообладнання та застосування резервних джерел живлення;
- загроз повітряного удару, що можуть спричинити руйнування виробничих приміщень, травмування персоналу та виникнення вторинних надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

З урахуванням зазначених факторів моніторинг надзвичайних ситуацій на дільниці повинен доповнюватися контролем:

- стійкості електроживлення та працездатності систем аварійного зупинення верстатів;
- справності резервних джерел живлення та систем освітлення безпеки;
- доступності та готовності захисних споруд або найпростіших укриттів для персоналу;
- оперативного оповіщення працівників про загрози повітряної тривоги та інших небезпечних подій.

Особлива увага в умовах воєнного стану приділяється організаційним заходам цивільного захисту: уточненню маршрутів евакуації з дільниці, позначенню безпечних зон, проведенню додаткових інструктажів персоналу щодо дій під час повітряної тривоги, аварійного вимкнення обладнання та залишення небезпечних зон. Зазначені заходи здійснюються відповідно до вимог Типового положення про об'єктову ланку цивільного захисту та рекомендацій ДСНС України.

Таким чином, у період воєнного стану система моніторингу надзвичайних ситуацій на дільниці виготовлення втулки ОЛВ 12.121.11 набуває підвищеного значення та повинна забезпечувати не лише контроль виробничих ризиків, а й готовність персоналу та обладнання до дій в умовах комбінованих загроз техногенного і воєнного характеру.

4.7 Висновки до розділу

У розділі 4 проведено аналіз умов праці та безпеки при виготовленні втулки ОЛВ 12.121.11 на машинобудівному підприємстві з урахуванням усіх стадій технологічного процесу. Встановлено, що на етапі отримання заготовки методом лиття в кокіль і під час механічної обробки на металорізальному обладнанні на працівників впливають небезпечні та шкідливі виробничі фактори, зокрема підвищені температури, металевий і абразивний пил, шум, вібрація, електричні та механічні небезпеки.

Оцінка умов праці показала необхідність дотримання вимог чинних нормативних документів України щодо гранично допустимих рівнів запиленості, шуму, вібрації, освітлення та електробезпеки, а також застосування комплексу інженерно-технічних і організаційних заходів для зниження виробничих ризиків.

У розділі також розглянуто питання моніторингу та прогнозування надзвичайних ситуацій відповідно до Кодексу цивільного захисту України. Визначено, що для ділянки характерні техногенні ризики, пов'язані з роботою енергонасиченого обладнання та інженерних систем. В умовах воєнного стану обґрунтовано необхідність посилення контролю енергопостачання, пожежної безпеки та готовності персоналу до дій у разі надзвичайних ситуацій.

Реалізація запропонованих заходів забезпечує відповідність умов праці вимогам чинного законодавства України, сприяє зниженню виробничого травматизму та підвищує рівень безпеки і стійкість технологічного процесу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблено інформаційну модель типових технологічних маршрутів виробництва деталей штамів та прес-форм для інструментального цеху. На її основі запропоновано типові технологічні маршрути виготовлення згаданих деталей та методику вибору таких маршрутів із використанням неймережевих моделей підтримки технологічних рішень.

На цій основі розроблено технологічний процес виготовлення втулки ОЛВ12.121.11 та вибрано і спроектовано верстатно-інструментальне спорядження для його реалізації. В рамках цього вирішено такі завдання:

- вибрано технологічний спосіб отримання початкової заготовки і виконано його техніко-економічне обґрунтування;
- проаналізовано марку матеріалу деталі та її технологічні характеристики та визначено способи отримання початкової заготовки та виконано їх порівняння за різними критеріями;
- проведено техніко-економічне обґрунтування раціонального способу отримання початкової заготовки;
- здійснено кодування поверхонь та на його основі виконано вибір та обґрунтування структури технологічного процесу та технологічних баз;
- вибрано технологічне устаткування та спорядження, розроблено зміст переходів та визначено необхідну його кількість, показники завантаження та типу виробництва;
- розраховано припуски табличним методом та розрахунково-аналітичним методом;
- розраховано режими різання розрахунково-аналітичним і табличним методами та з використанням нейронних мереж;
- виконано технічне нормування розробленого ТП;
- вибрано та описано конструкцію протяжки КРМ 12.121.11.03 для отримання шпонкового пазу та кондуктора і свердлильної головки для

отримання 4-ох отворів $\varnothing 13H12$, визначено особливості їх базування, фіксації, затиску і розтискування деталі в кондукторі, монтажу пристосування на верстаті мод. 2H150;

– виконано розрахунок геометричних параметрів калібр-пробки для контролю отвору $\varnothing 38H7$.

Проведено комплексний аналіз умов праці та потенційних небезпек при виготовленні втулки ОЛВ 12.121.11 на всіх етапах технологічного процесу, включно з ливарними та механічними операціями. Визначено основні шкідливі й небезпечні виробничі фактори (запиленість, шум, вібрація, теплові та електричні впливи) і оцінено відповідність умов праці вимогам чинних нормативно-правових актів України.

Обґрунтовано комплекс інженерно-технічних та організаційних заходів щодо зниження виробничих ризиків, підвищення безпеки праці та попередження надзвичайних ситуацій на рівні виробничої ділянки. Також враховано особливості забезпечення безпеки виробництва в умовах воєнного стану та визначено напрями посилення готовності персоналу і стійкості технологічного процесу до техногенних і воєнних загроз.

Основні результати роботи доповідались на міжнародній науково-технічній конференції “Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні” (9 – 10 грудня 2025 р., м. Одеса). Матеріали висвітлені у двох тезах [5, 6].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Creating a 3D model. Study guides for lab classes № 4 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production“ course. Editors: Vasylyk V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 40 p.

2. Creating a parametric drawing in the automatic parameterization mode. Study guides for lab classes № 3 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production“ course. Editors: Vasylyk V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 28 p.

3. Creating Parametric Drawing. Study guides for lab classes № 2 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production“ course. Editors: Vasylyk V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 38 p.

4. Sketching by Non-parametric Drawing. Study guides for lab classes № 1 in the “CAM and CAE Systems of Machine Building Production“ course. Editors: Vasylyk V., Danylchenko L., Radyk D. – Ternopil: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, 2021. – 28 p.

5. Vasylyk V., Oleksandr Dudin, Bohdan Fetsych, Nazarii Makovynskyi, Oleksandr Korniev, Farhad Huseinov Information model of typical technological routes for manufacturing die and mold parts for a toolshop. New and unconventional technologies in cost-effective use of resources and energy: materials of International Scientific and Technical Conference (Odesa, December 9–10, 2025) / Odesa National Maritime University [et al.] – Odesa: Odesa National Maritime University, 2025. – P. 31-33.

6. Vasylyk V., Oleksandr Dudin, Bohdan Fetsych, Nazarii Makovynskyi, Oleksandr Korniev, Farhad Huseinov Typical technological routes for manufacturing die and mold components using neural network-based models for technological decision support. New and unconventional technologies in cost-effective use of resources and energy: materials of International Scientific and

Technical Conference (Odesa, December 9–10, 2025) / Odesa National Maritime University [et al.] – Odesa: Odesa National Maritime University, 2025. – P. 33-35.

7. Vasylyk V., Danylchenko L., Radyk D. Technological methods of workpieces manufacturing. Metal Casting: Manual / V. Vasylyk, L. Danylchenko, D. Radyk. Edited by L. Dzhydzhora. – Ternopil: Osadtsa U.V., 2021. – 203 p.

8. Vasylyk V., Pylypets M., Danylchenko L., Radyk D. (2021) Use of computer-integrated technologies in training of engineering specialists. In: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, Proceedings of the International Conference Advanced Applied Energy and Information Technologies, Ternopil, December 15-17, 2021, pp. 74-80.

9. Vasylyk V.V. Technologies of workpieces manufacturing by casting: manual / V.V. Vasylyk, L.M. Danylchenko, D.L. Radyk. – Ternopil : Published TNTU named after Ivan Puluj, 2023. – 492 p.

10. Багрова І. В. Нормування праці: навч. посіб. Київ : Центр навчальної літератури, 2003. 212 с.

11. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування : навч. Посібник для студ. вищих техн. навч. закладів / С.Г. Бондаренко. – Львів: «Магнолія 2006», 2007. – 500 с.

12. Вартість виливків зі сталі: веб сайт. URL: <https://flagma.ua/uk/virobnictvo-chavunnogo-ta-stalevogo-litty-a-014147809.html> (дата звернення: 08.12.2025).

13. Вартість металобрухту: веб сайт. URL: <https://metal-lom.com/ua/tsina-metalobruhtu/> (дата звернення: 08.12.2025).

14. Васильків В. В., Радик Д. Л. Експериментальні дослідження в технології машинобудування. Навч. посіб. з дисципліни ”Наукові дослідження і теорія експерименту”. Тернопіль: ТНТУ, 2012. 386 с.

15. Гасило Ю. А., Крюковська О. А., Левчук К. О., Романюк Р. Я. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навч. посіб. Кам’янське : ДДТУ, 2017. 369 с.

16. Дичковський М. Г. Спеціальна технологічна оснастка. Тернопіль : ТНТУ, 2014. 243 с.
17. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: Навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.
18. ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення. – [Чинний від 2021-05-01]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 55 с.
19. Дячун А. Є., Капаціла Ю. Б., Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин». Тернопіль : ТНТУ, 2016. 75 с.
20. Ефективність інвестиційних проєктів у механічній інженерії : навчально- методичний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальності 131 - Прикладна механіка галузі знань, 13 - Механічна інженерія / Укладачі : Василь Васильків, Ігор Ткаченко, Лариса Данильченко, Марія Сіправська, Ігор Ярема. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2024. – 208 с.
21. Ефективність інженерних рішень : навчальний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальності 131-Прикладна механіка галузі знань 13-Механічна інженерія / Укладачі Л.М. Данильченко, В.В. Васильків, І.Г. Ткаченко, М.Д. Сіправська. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ, 2024.–248 с.
22. Жидецький В.Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.
23. Запорожець О. І. Основи охорони праці: Підручник / О. І. Запорожець, О. С. Протоєрейський, Г. М. Франчук, І. М. Боровик. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 264 с
24. Кухарський О.М. Методичні вказівки на тему “Проектування калібра-пробки, калібра-скоби” для виконання конструкторської частини дипломного проекту. Тернопіль, 2005.
25. Кухарський, О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.

26. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / [М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура.] – 3-е вид. перероб. і доп. – Львів: Новий Світ-2000, 2020. – 471 с.

27. Паливода Ю. Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навч.-метод. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 240 с.

28. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів: навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.

29. Терміни та визначення в технічній творчості та наукових дослідженнях. Методичний посібник / Уклад. Пилипець М.І, Васильків В.В., Радик Д.Л. – Тернопіль: Вид.-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2011. – 256 с.

30. Технологія машинобудування: Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт: навч. посібник / [І.І. Юрчишин, Я.М. Литвиняк, І.Є. Грицай, М.Л. Кукляк, Я.М. Кусий, В.В. Ступницький, В.А. Яцюк, А.М. Кук, Є.М. Махоркін, В.П. Свізінський]/ Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 528 с.

31. Радик Д., Васильків В., Дудін О. До питань використання комп'ютерного обладнання при складанні технологічного процесу виготовлення штампів та пресформ для інструментального цеху // Матеріали 11-ї наукової конференції ТДТУ імені Івана Пулюя. - Тернопіль: ТДТУ імені Івана Пулюя. - 2007. - С. 58.

32 Окіпний І. Б., Сенчишин В. С., Ткаченко І. Г., Комар Р. В., Дячун А. Є. Кваліфікаційна робота магістра : методичні вказівки для здобувачів другого (освітньо-професійного) рівня вищої освіти за спеціальністю G9 Прикладна механіка галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 40 с.