

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(назва факультету)

Інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітній рівень)

на тему: **Розроблення технології виготовлення корпусу 350.37.003
з дослідженням програмного комплексу для моделювання
ливарних процесів**

Виконав: студент 6 курсу, групи МПм-62
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

Собко В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Данильченко Л.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Дячун А.Є.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Ярема І.Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет *інженерії машин, споруд та технологій*

Кафедра *інжинірингу машинобудівних технологій*

Освітньо-кваліфікаційний рівень *магістр*

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність *131 «Прикладна механіка»*

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри *Окіпний.І.Б.*

« 16 » *листопада* 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Собку Владиславу Вадимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розроблення технології виготовлення корпусу 350.37.003 з дослідженням програмного комплексу для моделювання ливарних процесів*

Керівник проекту (роботи) *Данильченко Лариса Миколаївна, к.т.н., доцент*

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

Затверджені наказом по університету від « 16 » *листопада* 2023 року № 4/7-1057

2. Термін подання студентом проекту (роботи) *27 грудня 2023 р.*

3. Вихідні дані до проекту (роботи) *Креслення деталі, характеристика, технічні вимоги.*

Базовий технологічний процес виготовлення корпусу.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналітична частина. Актуальність теми роботи. Методи вирішення поставленої проблеми.

Аналіз конструкції деталі та базового технологічного процесу її виготовлення. Науково-дослідна

частина. Технологічно-конструкторська частина. Службове призначення та характеристики

об'єкту виробництва. Розроблення маршрутно-операційного технологічного процесу

виготовлення виробу з вибором заготовок, технологічного обладнання, оснащення,

інструментів. Вибір, опис конструкції та принципу дії пристосувань.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

Заготовка – 1 А1. КТП – 2 А1. КН – 1 А1.

Складальне креслення фрезерних пристосувань - 3 А1.

Складальне креслення контрольного пристосування - 1 А1.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>ст. викладач Клепчик В.М.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. Ткаченко І.Г.</i>		

7. Дата видачі завдання 19.11.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Аналітична частина</i>	<i>30.11.2023 р.</i>	
2	<i>Науково-дослідна частина</i>	<i>05.12.2023 р.</i>	
3	<i>Технологічно-конструкторська частина</i>	<i>15.12.2023 р.</i>	
4	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>20.12.2023 р.</i>	
5	<i>Графічна частина</i>	<i>25.12.2023 р.</i>	

Студент

(підпис)

Собко В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Данильченко Л.М.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1. Аналіз і дослідження технологій виробництва корпусних деталей. Актуальність теми кваліфікаційної магістерської роботи	8
1.2. Методи розв'язку поставлених задач	12
1.3. Висновки та формулювання завдань магістерської роботи	13
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	
2.1. Актуальність наукових досліджень для розвитку сучасного ливарного виробництва	15
2.2. Характеристики предмету і об'єктів дослідження	15
2.3. Дослідженням комплексу програмного забезпечення для моделювання ливарних процесів	19
2.4. Результати дослідження переваг і недоліків комп'ютерних систем для моделювання процесів литва	26
3. ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	
3.1. Встановлення типу й форми організації виробництва	31
3.2. Обґрунтування й вибір оптимального методу отримання заготовки	32
3.3. Аналітичне визначення припусків	35
3.4. Технологічні вимоги до точності оброблювальних поверхонь корпусу	39
3.5. Проектування й нормування операцій проектної технології	41
3.6. Вибір і обґрунтування пристосування для фрезерування	49
3.6.1. Силовий розрахунок приводу	51
3.6.2. Визначення точності фрезерного пристосування	53

3.6.3. Опис принципу роботи пристосування	54
3.7. Розрахунок спеціального різального інструменту	55
3.8. Визначення точності контрольного пристосування	55
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
4.1. Аналіз виробничих факторів і рекомендації зі зниження небезпечних факторів	58
4.2. Розроблення заходів з техніки безпеки і охорони праці на робочих місцях дільниці з виготовлення корпусу	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	64
ДОДАТКИ	67

РЕФЕРАТ

Корпусні деталі служать базовими деталями для чисельних пристосувань, деталей машин й механізмів різноманітного призначення, розроблення яких потребує підвищених вимог до точності, міцності, зносостійкості та їх герметичності. Завдання проектування передових техпроцесів виготовлення корпусів із використанням сучасного устаткування, комп'ютеризацією методів оброблення є своєчасними й актуальними, що взято за тему дослідження, визначену в кваліфікаційній роботі.

За мету в роботі було обрано аналіз існуючих технологій виробництва корпусних деталей, і на цій основі, розроблення проєктного варіанту техпроцесу виробництва корпусу 350.37.003 із використанням програмних засобів і систем для оптимізації й вибору найоптимальнішого методу отримання заготовки.

Завдання кваліфікаційної магістерської роботи полягали у наступному:

- аналіз існуючої технології виробництва корпусу,
- обґрунтування й вибір методу одержання заготовки;
- проєктування операцій оброблення поверхонь корпусу;
- визначення режимів для операцій та їх нормування;
- призначення обладнання та вибір схем їх базування;
- вибір верстатних споряджень;
- вибір і розрахунок різальних й контрольних інструментів;
- вироблення рекомендацій та вимог для усунення негативних факторів на виробничій дільниці цеху.

Об'єкт досліджень - корпус 350.37.003.

При виконанні проєкту використовувались теоретичні й аналітичні методи, функціональні та статистичні методи, включно графічні й статистичні, методи синтезу й порівняння а також моделювання з метою вибору найоптимальнішого методу виготовлення заготовки корпусної деталі.

Для проведення досліджень використано інформацію та базові матеріали типових технологій; літературні джерела та рекомендовані посібники технології машинобудування; методичні рекомендації щодо проектування й модернізації технологічних процесів; а також довідники; державні та галузеві стандарти, патенти тощо.

Науковою новизною є вироблення проєктної технології: вибрано оптимальніший метод отримання заготовки, за рахунок використання верстату з ЧПК об'єднано 2 операції; застосовано й розраховано спеціальне устаткування й спорядження.

Прийняті й розроблені в роботі рішення матимуть практичне застосування, результати полягають у: кількість операцій зменшена за рахунок їх об'єднання, зменшений операційний час, а також кількість верстатів, що дозволило зменшити загальну кількість персоналу, витрати на заробітну плату, електроенергію тощо.

Результати та висновки досліджень апробовано на науково-технічній конференції ТНТУ.

ВСТУП

На теперішній час важливим напрямком зростання продуктивності праці, зменшення вартості виробництва продукції є вдосконалення відомих технологій та їх перехід на більш прогресивніші. Це завдання вітчизняної економіки повинно вирішуватись з огляду всебічного аналізу як конструкції деталей і машин, так і технології їх виробництва з використанням прогресивніших видів заготовок.

Проектування технологій є важливим етапом виробничих процесів. Правильно розроблена технологія здатна забезпечити мінімальні витрати на виробничі потужності при максимальній продуктивності. Тому, в процесі проектування машин і їх деталей розв'язуються ті питання, що включають аналіз призначення, конструктивних особливостей об'єкту виробництва, який розглядається у кваліфікаційній роботі. На підставі проведеного аналізу проведено визначення технологічності конструкції розглянутого виробу, щоб надалі не виникали труднощі при запровадженні виробу у виробництво.

Оскільки розроблювана технологія розробляється знову, тому необхідно проаналізувати наявний технологічний процес або типовий для виявлення відповідності новим виробничим умовам.

Грамотно обраний метод отримання заготовки так само визначає продуктивність проектної технології та її маловідходність.

Забезпечення продуктивності під час розроблення технології неможливо здійснити без розв'язання низки завдань, до яких належать: вибір методів оброблення поверхонь; обґрунтований вибір технологічних баз; розрахунки мінімальних припусків, режимів різання; вибір устаткування й технологічного оснащення, різальних інструментів та нормування операцій мехоброблення. У представленій магістерській роботі розглянуто й вирішено всі вище перераховані питання за заданих нових виробничих умов.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз і дослідження технологій виробництва корпусних деталей. Актуальність теми кваліфікаційної магістерської роботи.

Огляд відомих технологій виробництва корпусних деталей показує, що залишається ще ряд невирішених завдань, пов'язаних із необхідністю їх удосконалення відповідно до появи нових схем виготовлення, розвитку передових технологій, що знайшло відображення у працях провідних українських вчених-технологів: В. Булгакова, А. Гавриша, Б. Гевка, Є. Горбатюка, Б. Данилишина, Н. Капустіна, М. Кузнєцова, Ю. Петракова, А. Петренка, П. Руденка та ін. Аналізуючи обсяг проведених у галузі наукових пошуків і прикладних досліджень, наведених у літературних джерелах щодо покращення базових технологій, робимо висновок про існуючі шляхи й резерви для їх удосконалення із використанням комп'ютеризованих засобів і інформаційних передових технологій, в основу яких покладено на комплексний інтегрований підхід до конструкцій технічних об'єктів та процесів їх проєктування [5].

Виготовлення корпусів є розповсюдженою технологією завдяки їх використанню у різних технічних пристроях, механізмах, вузлах і машинах. На теперішній час у різних галузях використовуються різні за формою, призначенням і розмірами корпуси. Виготовлення корпусів також пов'язане із використанням різноманітного устаткування - верстатів, програмних комплексів, спеціального устаткування. Більшість корпусних деталей є складними за формою й геометрією, яка зазвичай, є несиметричною, окрім того, поверхні корпусів мають різну шорсткість й точність. При обробленні корпусів необхідно дотримуватись вимог, передбачених технічним завданням щодо точності розмірів з метою забезпечення їх довговічності.

Важлива технологічна властивість корпусних деталей полягає у їх використанні в якості відповідальних елементів вузлів й машин, оскільки деякі їх

поверхні відповідно до технічних вимог вимагають оброблення поверхонь вищої за інші поверхні точності, при цьому вони виступають в якості баз при складанні елементів й деталей вузлів.

Зазначені властивості й особливості корпусів характеризують техніко-технологічні вимоги до їх виробництва:

1. Висока якість матеріалу заготовки та забезпечення жорсткості, дотримання вимог щодо міцності й довговічності механізмів, точне оброблення, запобігання деформаціям корпусних заготовок при механічному обробленні.

2. Досягнення точності поверхонь згідно вимог за шорсткістю:

а) точність форми заданих поверхонь базування; допусків та припусків на взаємне розміщення й допустимих відхилень на перпендикулярність, паралельність й прямолінійність;

б) точність досягнення розмірів і форм отворів;

в) співвісність отворів між собою й встановленими базами, а також дотримання передбачених вимогами відхилень на прямолінійність, паралельність й перпендикулярність;

г) паралельність й співвісність усіх отворів, розташованих у робочих елементах або поверхнях деталі;

д) паралельність торцевих поверхонь.

Загалом, технологічні процеси виробництва корпусів включають такі типові операції:

- старіння, фрезерування й стругання (за необхідності);
- свердління отворів;
- оброблення напрямних поверхонь;
- хонінгування отворів, їх доведення декількома проходами (переважно таке оброблення виконується на операції з'єднання елементів корпуса із складальними одиницями з метою одержання видимого зображення функціональності готової деталі на деформаційні відхили);

- у випадку вертикального розміщення осей отворів їх обробляють алмазним розточуванням або хонінгуванням.

Методи базування корпусних деталей переважно проводять за двома схемами відносно:

- остаточно обробленої поверхні, прийнятої за технологічну базу, щодо якої в подальшому отримують всі інші отвори;

- остаточно обробленого отвору, щодо якого в подальшому отримують інші поверхні.

Базування по площині на практиці є більш простим і зручним, хоча, для великих отворів (понад 100 мм) із високою точністю, рекомендовано брати за базу остаточно оброблений отвір, у цьому випадку оброблення забезпечує підвищену якість розточеної поверхні, як і тоді, коли необхідно дотримуватись високої точності відстані між площиною й отворами. Базування відносно поверхонь не дозволяє отримувати задані розміри відстані до поверхні й точні розміри діаметрів отворів.

Для одержання поверхонь корпусів, переважно плоских, використовуються такі верстатні засоби:

- різальні інструменти фрезерної, токарної, розточувальної або стругальної груп верстатів;

- абразивні - полірувальної або шліфувальної груп верстатів.

Серед найпоширеніших методів оброблення корпусів є фрезерування. На практиці ефективними методами оброблення є використання торцевих фрез і фрезерних головок, які містять комплект торцевих фрез і змінні ножі до них.

Забезпечення покращення якості й точності корпусних деталей є актуальним завданням щодо проведення досліджень з вдосконалення технології їх виробництва з врахуванням наступних техніко-технологічних особливостей:

1. Конструкції корпусів мають вплив на теплові процеси, які мають місце під час розточування отворів, це негативно впливає на точність й співвісність отворів. Окрім того, зона оброблення може піддаватись суттєвому нагріву корпусної заготовки, внаслідок чого піддаватись коробленню та відхилам

розмірів заготовки. Тому, на практиці симетричні корпусні заготовки, завжди обробляють з одночасним розсвердлюванням отворів, а не послідовним, це дозволяє одержати більш якісну оброблену поверхню.

2. Від особливостей конструкцій корпусів суттєво залежить точність їх встановлення, при недотриманні заданої точності можливим є виникнення похибок заданих розмірів поверхонь і відхили їх форми. Якщо похибки встановлення й базування досягають граничних значень, то такі відхили, що залежать від конструктивних особливостей, не піддаються виправленню, навіть на чистових операціях їх оброблення. Важливим є ще на початкових стадіях проектування спорядження детально аналізувати, розраховувати та обирати таку схему базування, яка забезпечить необхідну технологічну точність оброблення на усіх операціях. Існують різні методи визначення похибок базування та відхилень, результати застосування аналітичних або розрахункових повинні підтверджуватись експериментально.

Загальна похибка закріплення залежить від її складових, в значній мірі – від похибки затискання. Корпусні заготовки слід затискати й закріплювати одночасно, у випадку послідовного затиску може призвести до збільшення похибок як базування, так і закріплення.

3. Хімічний склад матеріалів корпусних заготовок впливає на якість їх оброблення, що закладено у співвідношенні параметрів якості та механічними й хімічними показниками. Так, для корпусних заготовок з однаковим матеріалом, параметри зносостійкості можуть бути різними внаслідок різниці відстані між включеннями у кристалічній решітці. Тому, обраний спосіб для виготовлення заготовки й механічний процес оброблення дає можливість коригувати величину зносостійкості корпусів. Важливим є те, що ще на початкових стадіях розроблення техпроцесу слід ретельно обирати матеріал та проектувати так конструкцію вилівка, щоб забезпечити необхідні параметри точності окремо на кожній операції з метою запобігання деформування, короблення тощо. Крупногабаритні корпуси найбільше схильні до різних відхилень в їх обробленні. Найчастіші відхили – це викривлення поверхонь,

прогини у місцях свердління отворів. У таких випадках доцільно застосовувати відпал з низькими температурами або проводити інші заходи (примусове остигання форм, використання охолоджувальних пристроїв), які дозволяють здійснювати контроль за перебігом процесів охолодження.

4. Свердління або розточування отворів у корпусних деталях відносяться до відповідальних операцій, які вимагають точне налагодження устаткування, задану жорсткість верстатного обладнання й елементів технологічної системи та використання спеціального оснащення, що дозволяє коригувати параметри налагодження та контролювати їх відхили.

5. Запровадження гнучкого автоматизованого виробництва корпусів дозволить поєднувати різні операції лезового оброблення, термооброблення й складання, забезпечуючи при цьому задану якість оброблювальних поверхонь і їх точність.

1.2. Методи розв'язку поставлених задач.

З метою вирішення поставлених завдань на проектування проектної технології й пошуку методів покращення базового техпроцесу проаналізуємо деталь "корпус" і вимоги до її технологічності. До технологічних деталей відносяться такі, які дозволяють їх виготовлення з максимальними показниками продуктивності, матеріаломісткості й енергомісткості. Такі показники поділяються на кількісні й якісні.

Технологічною вважається деталь, яка дозволяє можливість її оброблення з максимальною працемісткістю, продуктивністю і мінімальними витратами на її виготовлення. Корпус виготовляється із чавуну марки СЧ 20. Оскільки корпус є основною складовою частиною вузла верстата, то вимоги до точності його поверхонь і площин є високими, базова поверхня А повинна забезпечувати утримання та базування вузла верстату, вимоги щодо шорсткості площини А - $Ra = 1,2$; вона служить базовою поверхнею для досягнення розміру отвору \emptyset

$40H7^{(+0,02)}$ із допуском 0,011 мм. Кріплення траверси здійснюється шістьма гвинтами М 8, які фіксуються двома штифтами \varnothing 6 мм. Для цього в корпусі виконано 2 отвори \varnothing 5,85 мм під штифти (схеми кріплення подано у додатках А. 1, А. 2). Корпус також містить дві вибірки з розмірами $B = 55$ мм і $R = 15$ мм, які використовуються для встановлення напрямних в процесі складання вузла. Різальний інструмент кріпиться за допомогою цанги у шпинделі.

Габаритні розміри корпусу – 220 мм × 110 мм × 60 мм (креслення вузла представлено в додатку А 3). Заготовка корпусу одержується литвом, оскільки сірий чавун в якості матеріалу володіє високими ливарними показниками, стійкістю щодо вібрацій, простотою оброблення поверхонь та відносною дешевизною. Отвір $\varnothing 40H7^{(+0,02)}$ служить для закріплення вузла у корпусі з вказаною шорсткістю, положення шпинделя фіксується гвинтами М 8 через розрізні пази. Як вже зазначалось, корпус базується площиною А, яка використовується як установочна база для подальшого оброблення, містить наскрізні отвори, які є зручними для їх отримання за 1 прохід і для підводу різальних інструментів.

Для проведення якісного аналізу технологічності корпусу розраховано значення коефіцієнтів точності й шорсткості для розмірів поверхонь, зведених у таблицю додатків А. 4. Аналітично отриманий коефіцієнт точності показує, що за цим показником корпус є технологічною деталлю. Проте, за коефіцієнтом використання матеріалу – не технологічна, відходи матеріалу перевищують 65 відсотків. Підсумовуючи виконані розрахунки за кількісними й якісними параметрами, приходимо до висновку, що корпус можна вважати не технологічною деталлю й складною у виготовленні.

1.3. Висновки та формулювання задач на кваліфікаційну роботу

З врахуванням актуальності тематики кваліфікаційної роботи, сформулюємо її основні задачі.

1. Проведення аналізу базового техпроцесу одержання корпусу.

2. Розроблення проєктної технології за умов визначеного типу та обсягу виробництва.
3. Вибір оптимального методу отримання заготовки.
4. Оптимізація технологічних та силових параметрів у запропонованій технології.
5. Розроблення й розрахунок необхідного устаткування, пристроїв, вимірювального та контрольного оснащення.
6. Введення в проєктну технологію засобів автоматизації з метою скорочення тривалості операцій й технологічного циклу вцілому; механізації для безперебійного транспортування заготовок; використання автоматизованих робочих місць в операціях складання.
7. Внесення пропозиції з поліпшення умов виробництва й техніки безпеки.

2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Актуальність наукових досліджень

Моделювання процесів литва є одним із передових напрямків модернізації ливарного виробництва. Наукові дослідження кваліфікаційної роботи полягали у вивченні сучасного рівня й перспектив інноваційних комп'ютерних технологій у вітчизняному та світовому ливарному виробництві; основних напрямках стратегії подальшого розвитку ливарних операцій; огляді найвідоміших систем комп'ютерного їх моделювання, які дозволяють створювати моделі та контролювати якість виливків із метою підвищення їх точності й уникнення дефектів.

Однак, вирішальне значення має вибір програмного забезпечення в процесі моделювання, що вимагає достовірної інформації про можливості комп'ютерних програм та принципи їх функціонування.

Метою досліджень є порівняльний аналіз найвідоміших систем, за допомогою яких моделюються виливки, а також можливості їх використання для різних методів литва. Програмні засоби порівнювалися за призначенням, функціональними можливостями, кількістю технологічних операцій, що моделюються, чисельними методами розв'язання диференціальних рівнянь процесів формоутворення виливка, а також за ступенем повноти врахування чинників, що використовуються при моделюванні. Результати досліджень можуть слугувати рекомендаціями для фахівців і керівників ливарних підрозділів, цехів підприємств щодо вибору необхідного програмного забезпечення з урахуванням їхніх вимог і особливостей процесів литва.

2.2. Характеристики предмету і об'єктів дослідження

Ливарне виробництво є основною базою машинобудівного та металургійного комплексу, і від його розвитку залежать темпи розвитку цих

галузей в цілому. Однак, виготовлення литих деталей із кращими властивостями є дуже важливим виробничим завданням, над вирішенням якого постійно працюють науковці та промисловці.

Металургія й ливарне виробництво відносяться до наукомістких, складних й взаємопов'язаних галузей. Металурги, технологи та ливарники, окрім завдань безпосереднього управління технологічними процесами, в своїй діяльності часто стикаються із необхідністю виконання досить складних технологічних і інженерно-економічних оцінок.

Із аналізу сучасного стану та перспектив розвитку інноваційних технологій випливає, що для проведення модернізації у ливарному виробництві, перш за все, необхідно суттєво збільшити інвестиції в науку, а саме в дослідження й розроблення; проектування прогресивних технологій, обладнання і машин; дослідно-конструкторські роботи, придбання патентів або ліцензій, програмних продуктів; освіти та підготовку кадрів [9]. Для найбільш ефективної реалізації пріоритетних напрямів необхідний цілий комплекс технологічних і організаційних рішень.

Інформаційні технології - це такі інноваційні технології, які можуть зробити найбільший внесок у прискорення економічного зростання та підвищення конкурентоспроможності продукції. Вони реалізуються через комп'ютерне проектування, електронний архів, в якому міститься вся інформація, і звідки вона надходить до технологів, конструкторів, а від них опосередковано - до об'єктів проектування. При цьому виявляється велика кількість недоліків у організації вітчизняного виробництва та з'являється можливість їх усунення [6].

Наразі однією із головних ідей розвитку ливарної промисловості має стати неоіндустріалізація, яка являє собою процес масштабної модернізації на основі безвідходних технологій автоматизованого, комп'ютеризованого та роботизованого виробництва [1].

Перелічені чинники дають змогу визначити базові орієнтири стратегії подальшого розвитку й вдосконалення ливарних виробництв. Ці напрямки охоплюють практично весь спектр проблем сучасної промисловості, а саме:

- стан і перспективи розвитку світового та вітчизняного ливарного виробництва;
- передові технології з використанням нових матеріалів і устаткування;
- управління якістю виливків, їх діагностика та сертифікація;
- всебічне запровадження адитивних технологій на ливарних виробництвах.

Як видно з вищесказаного, однією із основних стратегічних тенденцій подальшого становлення ливарної промисловості на сучасному етапі є розвиток імітаційного моделювання й цифрових технологій.

Математичне моделювання литва вважається найбільш ефективним, надійним і поширеним у світі методом відпрацювання технології виробництва виливків, що дозволяє знизити затрати як на проєктування, так і на виробництво. Комп'ютерний аналіз на етапі віртуального проєктування технології литва (до виготовлення виливків) дозволяє:

- зменшити можливі прорахунки і помилки, які неминуче виникають при литві;
- знизити фінансові й часові витрати;
- підвищити конкурентоспроможність, якість і надійність виливків.

При цьому відбувається економія матеріалів, енергоносіїв, робочого часу, економиться обладнання, а натомість отримується великий масив унікальної інформації про особливості литва. Лише комп'ютерне моделювання таких технологій дозволяє зазирнути всередину виробу і відслідковувати природу процесів, які відбуваються в ньому, зрозуміти та попередити або усунути причини виникнення дефектів.

Впровадження адитивних технологій також дозволяє підвищити ефективність операцій зі створення й оброблення інформації - відбувається

реальний перехід від паперового до електронного документообігу. При цьому знижуються витрати, працемісткість проектування, терміни освоєння виробництва нових складних виробів. Наприклад, витрати на підготовку технічної документації скорочуються на 40...45%, а терміни випуску нових складних виробів зменшуються більш, ніж на 38% [1].

Розвиток технологій з імітаційного моделювання у ливарному виробництві передбачає:

- автоматизоване проектування ливарної технології;
- моделювання литої форми - системи синтезу всіх елементів процесу;
- проектування ливарної технології та оснащення у САД-системі з подальшим її виготовленням на верстатах із ЧПК;
- запровадження системи швидкого прототипування;
- комп'ютерне керування технологічним ливарним обладнанням.

Комп'ютерні програми для моделювання процесів литва призначені для вирішення наступних завдань:

1. Розроблення складних або принципово важливих технологій литва.
2. Визначення параметрів, які є найбільш важливими внаслідок впливу на якісні параметри й вихід придатних виробів.
3. Визначення причин дефектів у вже використовуваних технологіях.
4. Визначення стійкості технології до змін зовнішніх чинників.
5. Прийняття нових технологічних рішень для отримання складних виливків.

Вміння правильно вирішувати ці завдання набуває важливої, а часто і вирішальної конкурентної переваги. Однією із причин є та, що використання комп'ютерного моделювання передбачає високу культуру проектування, моделювання й виробництва.

На теперішній час у ливарному виробництві використовуються десятки різних програмних продуктів, спрямованих на вирішення завдань, що стоять перед технологами. Вони різняться за своїми характеристиками,

використовують різні математичні алгоритми та фізичні моделі, які задовільняють потреби конкретного споживача. Лише порівняння результатів комп'ютерного моделювання із результатами промислових і експериментальних досліджень дозволяє оцінити об'єктивність й адекватність використовуваного програмного продукту.

2.3. Дослідження комплексу програмного забезпечення для моделювання ливарних процесів

На сьогодні у світі існує велика кількість програмних пакетів для комп'ютерного моделювання виливків. У світовій практиці основне поширення отримали програми, представлені в таблиці 2.1.

На даний час у США, Англії та Європі найбільшого визнання набули дві системи моделювання: Procast і Magmasoft. Крім того, окремий сегмент ринку в Європейських країнах займають три системи: Wincast, Solidcast і Novasolid/Flow. У Східній Європі та країнах Азії найпопулярнішими програмними комплексами є Polygon і LWM/Flow.

Таблиця 2.1. Програмні пакети моделювання литва [5]

Country-Vendor	Casting Simulation Software	Country-Vendor	Casting Simulation Software
Australia	CastFlow Castherm	Japan	JSCAST
		Korea	AnyCasting
China	InteCast	Russia	Polygon
Finland	CastCAE		LVMFlow
France	ProCast QuikCast PAM-Cast CalcoSo		FlowVision
		Spain	Vulcan
		Sweden	Nova-Solid/Flow
Germany	MagmaSoft WinCast	USA	PowerCast
Great Britain	MavisFlow		SolidCast
India	AutoCast		CAPCast
			Flow3DCast
			RAPIDCast

Сучасні програми для моделювання виливків базуються на фізичних теоріях теплових, дифузійних, гідродинамічних і деформаційних явищ. Вони можуть адекватно моделювати одночасно багато підпроцесів, перебіг яких пов'язаний із заповненням форм розплавленим сплавом; кристалізації багатокомпонентного сплаву та подальшого охолодження виливків. Можливості програм включають гідродинамічний розрахунок заповнення форм, аналіз температурних полів під час кристалізації та утворення усадкових дефектів, розрахунок напружень і залишкових деформацій у виливках, оптимізацію ливникових систем.

Всі програми різняться за призначенням (табл. 2.2), функціональними можливостями, кількістю модельованих технологічних операцій, ступенем повноти врахування впливових чинників, а також використовуваним обладнанням.

Таблиця 2.2. Процеси литва, що моделюються обраним програмним забезпеченням

Casting process	AutoCast	CAPCast	CastCAE	Flow3D Cast	Magma Soft	Nova-Solid/Flow	ProCast	SolidCast	Polygon
Sand casting	+	+	+	—	+	+	+	+	+
High pressure die casting	—	+	+	+	+	+	+	—	+
Low pressure die casting	—	+	+	—	+	+	+	+	+
Continuous casting	—	—	—	+	—	—	+	—	—
Gravity die casting	+	—	+	+	+	+	+	+	+
Investment casting	+	+	+	—	+	+	+	+	+
Lost foam casting	—	—	—	+	+	+	+	—	—
Centrifugal casting	—	—	—	+	+	+	+	—	+
Tilt pouring	—	—	—	+	+	+	+	—	+
Squeeze casting	—	+	—	+	—	—	+	—	—

Основними проблемами при виборі конкретної програми для є переважно відсутність достовірної інформації про можливості самого пакету програм, принципи роботи з ним, а також відсутність спеціально навчених висококваліфікованих фахівців. Суттєвим стримуючим чинником для вітчизняних підприємств при виборі таких програм є їх висока вартість.

Основною відмінною рисою програмних продуктів є використовуваний чисельний метод розв'язання задач диференціальних рівнянь для моделювання виливків під тиском (табл. 2.3).

Таблиця 2.3. Чисельні методи, які використовуються в окремих програмних продуктах при моделюванні ливарних процесів

Solution method	AutoCast	CAPCast	CastCAE	Flow3D Cast	Magma Soft	Nova-Solid/Flow	ProCast	SolidCast	Polygon
Finite Element Method	—	—	—	—	—	—	+	—	+
Finite Difference Method	—	—	—	+	+	—	—	+	—
Finite Volume Method	—	—	+	+	—	—	—	—	—
Vector Finite Element Method	+	—	—	—	—	—	—	—	—

Метод кінцевих різниць (FDM) використовується в таких пакетах, як Magmaoft, Solidcast, CastCAE, JSCast, AnyCasting та інших, дозволяє швидко отримати картину напружень усадкових дефектів у проєктованому виливку та своєчасно скоригувати перебіг литва. В його основі лежать диференціальні рівняння, в яких оператори замінюються кінцево-різницевиими співвідношеннями різного ступеня точності. Як правило, вони будуються на ортогональних сітках, це дозволяє факторизувати оператори й звести розв'язок багатовимірної задачі до послідовних одновимірних задач, а значить, значно спростити й прискорити розв'язок загальної системи рівнянь. До недоліків можна віднести недосконалу апроксимацію на межі складних областей, що не є

надто принциповим для залежностей теплопровідності, але досить суттєвим для співвідношень гідродинаміки.

Для усунення зовнішнього усадження для відповідальних виливків такий метод не знаходить розповсюдження, оскільки математичний апарат методу недостатньо точно працює у разі неоднорідних виливків, в яких товщина стінки перевищує крок сітки. Розбиття вихідної геометричної моделі відбувається шляхом накладання прямокутної сітки з постійним кроком, що призводить до різкого збільшення кількості розрахункових комірок у разі отримання неоднорідних виливків великих габаритних розмірів.

Метод скінченних елементів (FEM) використовується у таких програмах, як Polygon, Wincast, CAPcast та інших, дозволяє повністю врахувати геометрію виливка й виявити навіть незначні окремі дефекти. Він базується на інтегральних рівняннях тепло- та масоперенесення [6]. Розрахункова область, в якій розв'язуються рівняння, розбивається на скінченні елементи, найчастіше - тетраедри, в межах яких моделюються апроксимації функцій на основі системи базисних функцій, визначених поелементно. Проектуючи такі інтегральні рівняння на ці базиси, отримуємо систему скінченно-різницевої залежностей. Така система є значно складнішою за використовувану в FDM, її розв'язок вимагає великої пам'яті та тривалий час.

Перевагою методу FEM є правильне визначення меж. До недоліків можна віднести наявність точного генератора скінченних елементів, а також складність залежностей та невизначеність їх факторизації. Встроєні генератори сіткових моделей викликають значні похибки в програмних пакетах. Така проблема може вирішуватись за рахунок використання зовнішніх генераторів для побудови скінченно-елементної сітки, а це, в свою чергу, може призвести до підвищення витрат на пакети програм, тривалості оброблення даних, а також потребує наявності висококваліфікованих спеціалістів.

На перший погляд, методи FDM і FEM відрізняються представленням геометрії, в першому методі геометрія представлена цеглинками-

паралелепіпедами, а в іншому - використовується досить гладка сітка скінченних елементів-тетраєдрів з різною конфігурацією та розмірами.

Метод FEM має значно складніший математичний апарат, який точно описує ті процеси, які відбуваються в побудованій геометричній моделі. При використанні для моделювання відливків методи FDM і FEM можуть відрізнитися за адекватністю розрахунків. Слід зазначити, що практично всі універсальні програмні пакети моделювання, особливо такі, як ANSYS, Nastran, Patran тощо останнім часом не використовують метод FDM, натомість - використовують лише FEM. По такому шляху просуваються і більш складні ливарні пакети, такі як Procast, Wincast, Polygon. Справа в тому, що FDM не підходить для складної геометрії в задачах зі значним впливом обмежених течій. В умовах литва це означає, що скінченно-різницеві методи можуть бути адекватно використані для одноразових форм з низькою теплопровідністю, коли відсутній стрибок змодельованої функції, наприклад, температури сплаву, на межі ливарної форми.

Для литва під тиском, особливо для складних конструктивних форм, FDM завжди дає систематичні похибки, які відсутні в методі FEM. Крім того, FEM є менш ресурсомістким і швидшим методом. Для однакових геометрій обидва методи дають однаковий розв'язок, але FDM за умов однакової адекватності з FEM завжди потребує приблизно на порядок менше обчислювальних операцій й ресурсів, а тривалість розрахунку зменшується у декілька разів.

Використання FDM для побудови моделі виправдано лише для вирішення гідродинамічних задач під час заливання форми, оскільки величини й напрямки векторів швидкостей змінюються із більшою дискретністю, ніж описаний за допомогою скінченно-елементною сіткою, не втрачаючи при цьому переваг FEM за швидкістю розрахунку.

У таких програмних пакетах, як Procast, Flow3Dcast і Polygon, всі основні ливарні задачі вирішуються на основі методу FDM, а для гідродинамічних задач використовуються або FDM, або проміжні методи. Частіше візуалізація

умовного розв'язку в таких прикладних пакетах виконується в скінченно-елементній сітці, що є швидшим і зручнішим.

Недоліком є те, що більшість програм на основі методу FEM мають складний інтерфейс, що за відсутності досвіду роботи із програмними продуктами у технологів ливарного виробництва зводить переваги використання будь-якої програми моделювання на нівець.

Метод скінченних об'ємів (FVM) використовується в програмах Nova-solid/Flow і CastCAE, і є інтегральною схемою. У певному сенсі він є розвитком FEM, хоча іноді його розглядають як деякий проміжний метод між FDM і FEM. Напевно, це не зовсім вірно, хоча FVM враховує довільно орієнтовані межі всередині сітки, але передбачає ортогональне розбиття (дискретизацію) різниць на паралелепіпеди і має низку інших властивостей, притаманних FDM.

FVM є зручним методом для використання інтегральних формулювань при розгляді граничних умов, дозволяє контролювати елементи сітки на межі вилівка-форма і моделювати процеси заповнення рідким сплавом і затвердіння заготовки. FVM успішно вирішує задачі заливання, де застосування методу FEM ускладнене, а FDM не дає відповідної заданої геометрії заповненої порожнини.

Програмні продукти Flow3Dcast і LVMflow також використовують метод FVM, який поєднує простоту та факторизацію FDM, а також задовільну апроксимацію меж між різними матеріалами й фазами. Він дозволяє проводити моделювання максимально швидко без втрати точності розрахунків і забезпечує надійні результати навіть при використанні грубих сіток. У будь-якому випадку, метод FVM ще не набув широкого поширення для моделювання, ймовірно, пояснюється це проміжним типом методу. У тих випадках, коли необхідно забезпечити довільно орієнтовані межі, доцільно використовувати метод FEM, а тоді, коли слід представити геометрію набором паралелепіпедів, простіше вирішити задачу за допомогою класичного методу FDM.

Метод векторних елементів (VEM) використовується в програмі Autocast, він заснований на визначенні найбільшого теплового градієнту в будь-якій точці виливка, який задається векторною сумою векторів потоку матеріалу в усіх напрямках від цієї точки. Об'єм виливка розбивається на пірамідальні сектори з обраної точки. Для кожного сектора розраховується тепловміст і площа поверхні або охолодження для побудови вектора потоку. Розрахунок проводиться у напрямку результуючого вектора до тих пір, поки він не стане нульовим. Траєкторією лінії подачі вважається крива, вздовж якої виконуються повторення. Можна виявити різні гарячі точки у виливку, якщо розрахунок починається із множини точок, розташованих у різних ділянках виливка.

VEM є відносно простим порівняно з іншими чисельними методами, проте забезпечує надійні й достовірні результати. На відміну від методів FEM або FDM, VEM виправляє невеликі погрішності при обчисленні векторів потоку у вихідних точках, автоматично виправляючи їх в наступних повтореннях. Крім того, VEM вимагає менше пам'яті і працює швидше.

Метод граничних елементів (BEM) є найбільш точним методом, оскільки в своїй базовій постановці він передбачає в межах граничного елемента апроксимацію розподілу шуканого екзосекансу (наприклад, температурного), безпосередньо відповідно до отриманого диференціального рівняння, яке описує змодельований процес.

Крім того, при використанні BEM проходить просторове впорядкування, яке теоретично прискорює розв'язок і зменшує вимоги до обчислювальних ресурсів. Однак, для моделювання процесів литва BEM практично не використовується, оскільки, незважаючи на його переваги, він вимагає однорідності фізичних властивостей в межах великих граничних елементів. Це не відповідає суті більшості процесів литва, пов'язаних зі значною зміною параметрів в локальних областях, наприклад, в області тепловіддачі під час затвердіння.

Практика показує, що оптимальним підходом є вибір не лише одного чисельного методу для моделювання процесів литва, а використання комбінації

різних методів, що дозволяє підвищити швидкість, точність і адекватність отриманих результатів експериментальним даним.

2.4. Результати дослідження можливостей та недоліків комп'ютерних програм і систем для моделювання процесів литва

У ході дослідження було вивчено можливості, переваги й недоліки найбільш поширених програмних засобів для моделювання процесів литва.

MagmaSoft - багатофункціональна спеціалізована програма, що дозволяє моделювати різноманітні процеси литва. Це один із перших комерційних ливарних пакетів, який фактично вперше продемонстрував, що складні процеси литва можуть бути широко змодельовані на досить високому рівні. Теплові, гідродинамічні та деформаційні процеси в MagmaSoft вирішуються чисельними методами. Проблема прогнозування макропористості та порожнин також вирішується чисельно, хоча моделі, що використовуються в цьому пакеті, є спрощеними і повністю не враховують складний й динамічний характер структурування сплавів під час затвердіння. Прогнозування мікропористості, структурних, механічних і інших характеристик виливків здійснюється на рівні критеріального аналізу. Перевагою MagmaSoft є наявність досить великої кількості емпіричних критеріїв, які на рівні критеріального аналізу дають можливість прогнозувати різні властивості, в тому числі структуру та механічні характеристики виливків. Крім того, програма неявно інтегрує в систему різні накладні коефіцієнти для різноманітних способів литва, сплавів і матеріалів, що частково компенсує спрощення моделей і алгоритмів.

MagmaSoft має зручний генератор різницевих сіток. Якщо вихідна геометрія виливків є відносно простою, якщо не ставиться завдання точного дотримання співвідношень товщин стінок і достатньої кількості скінченно-різницевих елементів по товщині стінки, то генерація розрахункової різницевої геометричної моделі не представляє особливих труднощів.

Недоліком цієї системи є те, що критерії, які використовуються, є прихованими і їх неможливо правити, налаштовувати й доповнювати, що суттєво знижує можливість їх адекватного застосування. Сказане вище стосується і вибору початкових умов, які є закритими для користувача й визначаються методом кастингу. Такий підхід є доступним для типових, широко використовуваних технологій. Однак, відсутність закладеної в систему інформації про можливий відбір параметрів призводить до того, що результати розрахунків інколи носять умовний характер. В цілому, Magmasoft - це система, орієнтована на вирішення типових завдань литва, за винятком спеціальних методів литва і технологій виготовлення виливків складної геометрії. Програма має достатню точність отриманих результатів і великий набір параметрів для моделювання. Багаторічний досвід використання прикладних пакетів Magmasoft із ливарними підприємствами по всьому світу забезпечив йому репутацію простого, надійного та точного пакета.

Комп'ютерна система Procast, на відміну від Magmasoft, являє собою великий набір складних і універсальних моделей для вирішення складних виробничих завдань у ливарному виробництві, що значно підвищує адекватність результатів. Ця система моделює теплові, гідродинамічні й деформаційні процеси, а також процеси кристалізації й структурування.

Програма здатна прогнозувати виникнення деформацій і залишкових напружень у виливку та аналізу таких процесів, як виготовлення стрижнів, відцентрове литво, безпорожнинне литво і безперервне литво. Точний опис геометрії, завдяки застосуванню FEM, дозволяє системі Procast моделювати процес заповнення форми надлишковим матеріалом і отримувати достовірну інформацію про ерозію піщаної чи металевої форми, наявність повітряних кишень, оксидів і турбулентних потоків, присутність розливів і холодних з'єднань; контроль за довжиною потоку, проливами й переливами. Procast надає комплексне рішення для моделювання безперервного й напівбезперервного литва заготовок. Програма може моделювати стаціонарний режим, початкову й кінцеву стадії процесу. Модуль зворотного розрахунку

автоматично розраховує параметри матеріалу або процесу на основі температур, виміряних у заданих точках у заданий час. Первинне й вторинне охолодження можна визначити за допомогою зворотного розрахунку.

Ця комп'ютерна система має власний генератор скінченно-елементних сіток, який можна успішно використовувати для геометрії середньої складності. Для моделей складної геометрії зазвичай використовуються спеціалізовані зовнішні генератори, які на даний час є доступними на ринку.

До складу Procast входить велика база даних матеріалів для ливарних моделей. Вона постійно поповнюється достовірними даними, перевіреними в умовах існуючого ливарного виробництва і включає унікальну термодинамічну базу даних, яка дозволяє користувачеві, ввівши хімічний склад матеріалу, автоматично отримати температурні криві, необхідні для точного розрахунку параметрів процесу литва. Основні переваги цього пакету включають можливість враховувати складні термічні граничні умови та напрямок затвердіння, складну реологію в розрахунках деформації, можливість моделювати складні процеси й чисельно розраховувати структуру виливків. Для проведення чисельних розрахунків структури в Procast необхідно правильно вибрати модель кристалізації та її параметри. Недоліком програми є занадто низький рівень вирішення проблеми усадження, а також висока вартість, але вона виправдана можливостями програми.

Таким чином, Procast можна рекомендувати як базову систему для виливків і технологій будь-якої складності, за винятком тих випадків, коли необхідно імітувати утворення усадкових дефектів із урахуванням реального динамічного характеру структурування двофазної зони й падіння тиску за рахунок появи фільтраційного потоку в цій зоні при усадці. Пакет Procast є ефективним тоді, коли технологам потрібно вирішити проблеми деформації зі складною реологією та структурою виливка.

Wincast — це програмний комплекс для моделювання процесів литва, здатний контролювати заливку металу (гідродинамічний й термічний аналіз), кристалізацію металу (розташування теплових вузлів і дефектів усадження),

натяг вилівка (технологічні й експлуатаційні напруження), структуроутворювальні процеси, термооброблення й зварювання. Основу модульної системи складають базові й додаткові модулі для послідовного або паралельного проходження різних етапів моделювання, а розв'язування задач може здійснюватися з урахуванням їх перехресного впливу.

У порівнянні з Procast, Wincast має більш зручну схему побудови сітчастих моделей, і не поступається точністю обчислень. Перевагами цієї моделі є: точна апроксимація складних поверхонь; більш чітке зображення тонких стінок і складних перетинів із меншою кількістю елементів; можливість проведення термічного, гідродинамічного та міцнісного контролю на одній сітці; менша кількість теплових одиниць, скорочений час розрахунку.

Точність теплових розрахунків забезпечується правильною апроксимацією поверхонь кінцевими елементами та врахуванням температурної залежності властивостей сплавів і допоміжних матеріалів. Надійність гідродинамічного й міцнісного аналізів гарантується сумісним розрахунком температурних полів на тій же кінцево-елементній п'ятигранній сітці з високим рівнем регульованості. Генерація точної кінцево-елементної сітки для 3D-геометрії будь-якої складності, побудована в зовнішній САПР або за допомогою засобів програми, забезпечує точні інженерні прогнози за короткий час. Перевагою Wincast є те, що базу даних, організовану в текстовому форматі, легко редагувати й доповнювати. Пакет містить властивості сплавів і матеріалів у формі табличної функції температури. Завдяки гнучкому препроцесору програма забезпечує точне відображення геометрії й наявність автоматичної генерації сітки. Серед недоліків слід відзначити незручний інтерфейс, а також використання спрощених моделей при вирішенні теплової задачі (затвердіння) і задачі усадження-фільтрація (утворення мікро- та макропористості). Неможливість автоматичного генерування розрахункової сітки вимагає додаткової підготовчої роботи для її побудови. Однак, у Wincast процеси деформації моделюються на досить високому рівні в результаті охолодження вилівка.

Solidcast — це комп'ютерна система початкового рівня, яка призначена для вирішення поточних виробничо-технологічних завдань, а також оптимізації технології литва для кожного виливка на основі оптимізації геометрії литниково-живильної системи й технологічних параметрів процесу литва.

Обчислювальні можливості пакету дозволяють користувачеві простежити динаміку заповнення форми металом і процес кристалізації виливка у формі; отримати інформацію про час кристалізації, швидкість охолодження, дефекти усадження; визначити можливі зони появи дефектів. Вбудований гідродинамічний модуль дозволяє імітувати перебіг розплаву в формі, в результаті чого можна виявляти й прогнозувати такі дефекти, як ерозія форми, литі шви, поверхневі забруднення, пропуски виливка.

В результаті розрахунку технолог отримує інформацію про розподіл температурних полів у виливку й формі, значеннях швидкості течії розплаву, тиску розплаву на стінки форми в будь-якій точці.

Solidcast має вбудований генератор сіток у двох варіантах і автоматичний генератор графіків та діаграм в постпроцесорі, що дозволяє порівнювати результати моделювання декількох варіантів технології виготовлення одного виливка. Наявність в комп'ютерній системі Solidcast можливості автоматичної генерації обчислювальної сітки дозволяє оптимізувати ливарну форму залежно від виходу брухту й розміру опини. Крім того, цей програмний продукт дозволяє створити унікальну базу даних про використовувані технологічні процеси. Вбудована база даних формувальних матеріалів і сплавів є відкритою для користувачів, вона постійно змінюється й доповнюється.

До недоліків Solidcast відносяться: незручний інтерфейс, неможливість врахувати попереднє заповнення форми; незручне відображення результатів розрахунків для візуального аналізу; надмірна тривалість комп'ютерних обчислень. Широкий функціонал і унікальна цінова політика розробників роблять Solidcast кращим за співвідношенням ціна-функціонал-продуктивність, оскільки одна придбана ліцензійна програма може використовуватися на п'яти робочих місцях в межах одного підприємства.

3. ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Встановлення типу й форми організації виробництва

Вихідними умовами передбачено, що річний обсяг випуску корпусів дорівнює 30 тис. Отже, проведені розрахунки для базового техпроцесу підтверджують, що тип виробництва – крупносерійний. Такому виробництву притаманне вузька номенклатура виробів, які переважно виготовляються великими партіями більших обсягів, ніж у серійному чи одиничному.

Відмінність крупносерійного від серійного виробництва також полягає у використанні в останньому універсальних автоматів і напівавтоматів з універсальним спорядженням, верстатів з ЧПК, - це зменшує тривалість виробничого й технологічного циклу, працездатність виготовлення і вартість деталей. В умовах серійного типу використовується частіше стандартний різальний інструмент. Для крупносерійного виробництва характерною є диференціація техпроцесу - як поділ його на самостійні підпроцеси або операції, розміщені на обладнанні, яке встановлюється відповідно до послідовності операцій оброблення заготовок. Така диференціація дозволяє обробляти заготовки, які виготовляються як литвом, так і штампуванням.

До переваг крупносерійного виробництва відносять: можливість оброблення деталей з конструктивними особливостями та взаємозамінності деталей під час складальних операцій за великих обсягів та тривалості циклів.

До недоліків відносять: невисока якість виробництва; підвищена собівартість деталей; необхідність у застосуванні пригонювальних операцій після складання. Ці недоліки варто враховувати при проектуванні запропонованої проектною технологією й вирішенні основних задач у кваліфікаційній роботі, що має на меті вдосконалення техпроцесу з огляду на можливі іноваційні зміни з поліпшення якості деталей, так і умов праці.

3.2. Обґрунтування й вибір оптимального методу отримання заготовки

Вибір методу одержання заготовки для корпусу є важливою стадією в структурі техпроцесу в цілому. Адже, від результатів її проектування залежить, як саме в подальшому буде структуруватись технологія; які технологічні засоби будуть застосовуватись; яке устаткування й оснащення необхідно проектувати натомість застарілого; яке обладнання й пристосування можна використати з мінімальними затратами на їх модернізацію тощо. На етапі технологічної підготовки, який започатковує саме проектування заготовки, необхідно брати до уваги й аналізувати наявні види ресурсів, можливості й перспективи конкретного підприємства щодо технічного переозброєння, реорганізації виробничих відділів й підрозділів, цехів із метою зменшення витрат на сировину й матеріали, енергоносії, механічні операції, тобто все, що включає затрати на випуск й збут якісної готової продукції.

В літературних джерелах [2,3,7,8] автори наводять загальні рекомендації щодо критеріїв вибору методів виготовлення заготовок, використання й дотримання яких підтверджується результатами практичної діяльності заготівельних виробництв. До основних вимог належать:

- аналіз конструкції й розмірів заготовок,
- аналіз, і за необхідності, вибір матеріалу деталей,
- річний обсяг виготовлених деталей й типу виробництва,
- аналіз вимог щодо якості поверхонь та методів їх досягнення,
- аналіз наявного верстатного парку, устаткувань й засобів механізації,
- обґрунтування економічної доцільності обраного методу.

Переважно корпусні заготовки одержують литвом. Вибір виду литва залежить, перш за все, від конструкції, її складності й конфігурації деталі.

В умовах підприємства налагодженим є процес виготовлення заготовок для корпусу 350.37.003 литвом у піщані форми з використанням машинного

формування, для якого виготовляють спеціальні металеві моделі під розміри корпусу.

Враховуючи невисоку ступінь точності, яка отримується при цьому, а також нерівності площин, й часто, високі припуски за відносно швидкого спрацювання моделей, рекомендовано в роботі застосування більш точного методу - литва в кокіль з точки зору подальшого зниження працеміскості операцій мехоброблення.

Обґрунтування доцільності застосування такого методу проводять за показниками економії затрат на виготовлення заготовки, а саме її собівартості.

Для вибору оптимального варіанту порівнюють економічні показники, пов'язані із затратами, виходячи із собівартості цих заготовок за двома методами.

Загальну собівартість заготовок визначають за рівнянням:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_m \cdot K_c \cdot K_g \cdot K_m \cdot K_g \cdot K_o \right) - (Q - q) \frac{S_{\text{від}}}{1000},$$

де C_i – оптова ціна 1 тони заготовок, грош. од.;

$S_{\text{від}}$ – вартість 1 тони некондиційних відходів, грош. од.;

Q, q – маси відповідно 1 заготовки та 1 деталі, кг;

K_m, K_c - коефіцієнти відповідно класів точності й складності,

K_m, K_g , - коефіцієнти відповідно матеріалів й ваги заготовок,

K_o, K_g , - коефіцієнти відповідно річного обсягу й типу виробництва.

За обраними коефіцієнтами згідно [6] виконаємо розрахунки собівартості, результати яких зведено у таблицю Б. 1 додатку для порівняння.

Розрахуємо коефіцієнт габаритного об'єму, за яким визначається група складності заготовок:

$$K_v = \frac{B \cdot H \cdot L}{Q},$$

де B, H, L – відповідно висота, ширина й довжина виливка, мм.

Для двох методів приймаємо класи точності згідно рекомендацій [2]. Для литва у піщані форми цей показник становить 8 т, для литва в кокіль 7 т. Обраховані для обидвох способів розміри виливків за визначеними припусками, подані у таблиці Б. 2 додатку.

Для обґрунтованого вибору визначаємо й порівнюємо об'єми заготовок у базовому й проектному варіантах:

$$V_o = 214,4 \cdot 109 \cdot 28 + 3,14 \cdot 28^2 \cdot 109 + \frac{1}{2} \cdot 25^2 \cdot 109 = 923129 \text{ мм}^3 = 923,1 \text{ см}^3;$$

$$V_n = 216,8 \cdot 111,4 \cdot 29,8 + 3,14 \cdot 29,8^2 \cdot 11,4 + \frac{1}{2} \cdot 25^2 \cdot 111,4 = 1065318 \text{ мм}^3 = 1065,3 \text{ см}^3.$$

Відповідно маси заготовок дорівнюють:

$$m_o = V_1 \cdot \rho = 923,1 \cdot 7,15 = 6933,37 \text{ г} = 6,93 \text{ кг};$$

$$m_2 = V_2 \cdot \rho = 1065,3 \cdot 7,15 = 7989,75 \text{ г} = 7,99 \text{ кг},$$

де ρ - густина матеріалу, для чавуну марки СЧ 20 $\rho = 7,15 \text{ г/см}^3$ [3].

Тоді

$$K_v = \frac{2,1 \cdot 1,05 \cdot 0,57}{6,93}.$$

Для базової й проектної технологій визначаємо собівартості виливок із використанням результатів обчислень й прийнятих складових:

$$S_o = \left(\frac{19600}{1000} \cdot 6,93 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,65 \cdot 0,83 \right) - (6,93 - 5,5) \cdot \frac{3500}{1000} = 68,07 \text{ грош. од.};$$

$$S_2 = \left(\frac{16400}{1000} \cdot 7,99 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,75 \cdot 0,83 \right) - (7,99 - 5,5) \cdot \frac{3500}{1000} = 74,03 \text{ грош. од.}$$

Отже, отримані розрахунки доводять, що різниця собівартостей є очевидною, тому литво в кокіль є більш оптимальним методом, який дозволяє суттєво зменшити затрати на річний обсяг виливок.

3.3. Аналітичне визначення припусків

Розрахуємо припуски для вибраної поверхні $\varnothing 40H7^{(+0,02)}$ на підставі її маршруту оброблення (табл. Б. 3 додатків). Елементи припусків обираємо за операційними переходами.

Як правило, відхили форми поверхні проявляються у її коробленні та установленні [6].

Значення короблення наближено обчислюють за рівнянням:

$$\rho_{кор} = \Delta k \cdot l,$$

де l - довжина (максимальна) отвору, $l = 105$ мм;—оброблюваного;
 Δk - питоме значення короблення в осьовому перерізі,
 приймаємо $\Delta k = 1$ мкм / мм;

$$\rho_{кор} = 1 \cdot 105 = 105 \text{ мкм.}$$

Приймаємо похибки установлення для заготівельної операції рівною 0, для наступної (зенкування чорнове) - 25 мкм.

Для розрахунку мінімального припуску використовується залежність [6]:

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + F_{i-1} + \bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_{yi})$$

де Rz_{i-1} , Rz_{i-1} – відповідно висота і глибина нерівностей профілей поверхні на попередніх переходах, мм;

$\bar{\rho}_{i-1}$ – сумарні відхили взаємного розміщення й форми поверхні на попередніх переходах, мм;

$\bar{\varepsilon}_{yi}$ – сумарна похибка установлення на даному переході;

$$2Z_{\min(\text{чор.з})} = 2(320 + 320 + 105 + 30) = 2 \cdot 775 = 1550 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min(\text{чист.з})} = 2(50 + 50 + 0 + 0) = 2 \cdot 100 = 200 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min(\text{чор.р})} = 2(25 + 25 + 0 + 0) = 2 \cdot 50 = 100 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min(\text{чист.р})} = 2(16 + 16 + 0 + 0) = 2 \cdot 32 = 64 \text{ мкм}.$$

Розрахуємо граничні відхили розмірів для всіх переходів, які є завжди додатними величинами:

$$Td_{\text{заг}} = 100 \rightarrow (37,3 \pm 0,5);$$

$$Td_{\text{чорн.з}} = 160 \rightarrow (+0,160);$$

$$Td_{\text{чист.з}} = 62 \rightarrow (+0,162);$$

$$Td_{\text{чорн.р}} = 39 \rightarrow (+0,039);$$

$$Td_{\text{чорн.р}} = 25 \rightarrow (+0,02).$$

Отримані розрахункові значення представлені у таблиці Б. 4 додатку, з врахуванням яких представлено схему розміщення допусків й припусків.

Визначимо сумарний припуск для обробленої площини $2Z_{\text{н.заг}}$:

Загальний припуск на оброблення поверхні $2Z_{\text{н.заг}}$ визначено за залежністю:

$$2Z_{\text{н.заг}} = \sum 2Z_{\text{м.о.ном}}$$

де $2Z_{\text{м.о.ном}}$ – сумарне значення номінальних припусків.

Для операцій (переходів) розвертування чистового

$$D_{\min \text{чист.р}} = D_{\text{ном.чист.р}} + EI_{\text{чист.р}};$$

$$D_{\min \text{чист.р}} = 40,0 + 0 = 40,0 \text{ мм};$$

$$D_{\max \text{чист.р}} = D_{\text{ном.чист.р}} + ES_{\text{чист.р}};$$

$$D_{\max \text{чист.р}} = 40,0 + 0,025 = 40,025 \text{ мм}.$$

Мінімальні, максимальні й номінальні припуски розвертування чистового $2Z_{(чист.р)}$ визначаються як:

$$\begin{aligned} 2Z_{\min(чист.р)} &= 0,064 \text{ мм}; \\ 2Z_{\max(чист.р)} &= 2Z_{\min(чист.р)} + Td_{чист.р} + Td_{чор.р}; \\ 2Z_{\max(чист.р)} &= 0,064 + 0,025 + 0,039 = 0,128 \text{ мм}; \\ 2Z_{ном(чист.р)} &= 2Z_{\min(чист.р)} + Td_{чор.р}; \\ 2Z_{ном(чист.р)} &= 0,064 + 0,039 = 0,103 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Для операцій (переходів) розвертування чорного

$$\begin{aligned} D_{\min чор.р} &= D_{ном.чор.р} = D_{\max чист.р} - 2Z_{\max(чист.р)}; \\ D_{\min чор.р} &= 40,025 - 0,128 = 39,897 \text{ мм}; \\ D_{\max чор.р} &= D_{ном.чор.р} + ES_{чор.р}; \\ D_{\max чор.р} &= 39,897 + 0,039 = 39,936 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Аналогічно визначаємо $2Z_{(чорн.р)}$:

$$\begin{aligned} 2Z_{\min(чор.р)} &= 0,100 \text{ мм}; \\ 2Z_{\max(чор.р)} &= 2Z_{\min(чор.р)} + Td_{чор.р} + Td_{чист.з}; \\ 2Z_{\max(чор.р)} &= 0,100 + 0,039 + 0,062 = 0,201 \text{ мм}; \\ 2Z_{ном(чор.р)} &= 2Z_{\min(чор.р)} + Td_{чист.з}; \\ 2Z_{ном(чор.р)} &= 0,100 + 0,062 = 0,162 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Для операцій (переходів) зенкерування чистового

$$\begin{aligned} D_{\min чист.з} &= D_{ном.чист.з} = D_{\max чор.р} - 2Z_{\max(чор.р)}; \\ D_{\min чист.з} &= 39,936 - 0,201 = 39,735 \text{ мм}; \\ D_{\max чист.з} &= D_{ном.чист.з} + ES_{чист.з}; \end{aligned}$$

$$D_{\max \text{чист.з}} = 39,735 + 0,062 = 39,797 \text{ мм.}$$

Аналогічно розраховуємо складові $2Z_{(\text{чист.з})}$:

$$2Z_{\min(\text{чист.з})} = 0,200 \text{ мм;}$$

$$2Z_{\max(\text{чист.з})} = 2Z_{\min(\text{чист.з})} + Td_{\text{чист.з}} + Td_{\text{чор.з}};$$

$$2Z_{\max(\text{чор.п})} = 0,200 + 0,062 + 0,160 = 0,422 \text{ мм;}$$

$$2Z_{\text{ном}(\text{чист.з})} = 2Z_{\min(\text{чист.з})} + Td_{\text{чор.з}};$$

$$2Z_{\text{ном}(\text{чист.з})} = 0,200 + 0,160 = 0,360 \text{ мм.}$$

Для операцій (проходів) зенкерування чорнового

$$D_{\min \text{чор.з}} = D_{\text{ном.чор.з}} = D_{\max \text{чист.з}} - 2Z_{\max(\text{чист.з})};$$

$$D_{\min \text{чор.з}} = 39,797 - 0,422 = 39,375 \text{ мм;}$$

$$D_{\max \text{чор.з}} = D_{\text{ном.чор.з}} + ES_{\text{чор.з}};$$

$$D_{\max \text{чор.з}} = 39,375 + 0,160 = 39,535 \text{ мм.}$$

Отримуємо такі значення елементів припуску $2Z_{(\text{чор.з})}$:

$$2Z_{\min(\text{чор.п})} = 1,550 \text{ мм;}$$

$$2Z_{\max(\text{чор.з})} = 2Z_{\min(\text{чор.з})} + Td_{\text{чор.з}} + Td_{\text{заг}};$$

$$2Z_{\max(\text{чор.п})} = 1,550 + 0,160 + 1,000 = 2,710 \text{ мм;}$$

$$2Z_{\text{ном}(\text{чор.з})} = 2Z_{\min(\text{чор.з})} + Td_{\text{заг}} + EI_{\text{заг}};$$

$$2Z_{\text{ном}(\text{чор.з})} = 1,550 + 1,000 + (-0,500) = 2,050 \text{ мм.}$$

Розрахунок загальних розмірів оброблювальної заготовки матиме вигляд:

$$D_{\min \text{заг}} = D_{\max \text{чор.з}} - 2Z_{\max(\text{чор.з})};$$

$$D_{\min \text{заг}} = 39,535 - 2,710 = 36,825 \text{ мм;}$$

$$D_{\text{ном.заг}} = D_{\text{мін заг}} + EI_{\text{заг}} ;$$

$$D_{\text{ном.заг}} = 36,825 + 0,500 = 37,325 \text{ мм};$$

$$D_{\text{мак заг}} = D_{\text{ном.заг}} + ES_{\text{заг}} ;$$

$$D_{\text{мак чор.р}} = 37,325 + 0,500 = 37,825 \text{ мм}.$$

Тоді загальний припуск дорівнює:

$$2Z_{\text{н.заг}} = 0,103 + 0,162 + 0,360 + 2,050 = 2,675 \text{ мм}.$$

Таблиці Б. 5, Б. 6 додатків містять опис порівнювальних техпроцесів, послідовність операцій й переходів, їх зміст .

3.4. Технологічні вимоги до точності оброблювальних поверхонь

Техпроцеси виготовлення деталей-корпусів мають низку особливостей, що відрізняють їх від інших процесів виробництва. Однією із них є підвищені вимоги до точності й якості оброблювальних поверхонь. Найчастіше досягнення заданих вимог точності виявляється складним виробничим і технологічним завданням.

У таких умовах головною метою технологічної підготовки є точний й виважений аналіз й передбачуваність тих похибок, що можуть з'явитись як при налагодженні, так і обробленні заготовки. Якщо ж говорити про безпосереднє коригування параметрів під час процесу мехоброблення, то такий спосіб забезпечення якості корпусів тягне за собою додаткові витрати часу й матеріальних ресурсів, і, як наслідок, підвищення витратності оброблення.

Для досягнення необхідних розмірів і параметрів точності слід максимально жорстко й точно здійснювати базування корпусів у пристосуванні, яке повинно забезпечувати надійну фіксацію заготовки, щоб унеможливити виникнення додаткових похибок внаслідок впливу сил різання.

Окрім того, похибки оброблення можуть виникати і при технологічному налагодженні – короблення, зазори, нежорсткість технологічної системи загалом, похибка встановлення пристосування на верстат, тобто можлива поява виникнення ексцентриситету між осями пристосування й шпинделя верстата.

Для повної оцінки впливу перерахованих чинників на кінцевий результат оброблення, необхідно правильно визначити сумарну похибку. Серед усієї сукупності похибок налагодження й мехоброблення, найсуттєвішими є ті похибки, які виникають унаслідок деформацій елементів нежорсткої технологічної системи загалом зокрема. Такі деформації виникають на наступних етапах: під час закріплення деталі, технологічного налагодження, безпосередньо під час мехоброблення корпусу та після зняття його з верстата.

Для визначення загальної похибки слід вибирати лише особливо важливі чинники, оскільки деякі похибки можуть виявитись несуттєвими, такі як температурні деформації, зношування лезових інструментів, тому ними, як правило, нехтують.

Дотримання вимог до точності забезпечується такими складовими: шорсткості поверхонь; їх форми й розташування; розмірної точності й заданої твердості.

1. Згідно вимог до шорсткості поверхонь корпусу, то ще на чорнових проходах одержують шорсткість $Ra = 10; 6; 3,2$ мкм за рахунок вибраних лезових інструментів і режимів оброблення. Оптимальні параметри режимів різання й вибір інструментів із тврдосплавними лезами дозволяють отримати задану шорсткість й для поверхні $\varnothing 40H7$.

2. Вимогами щодо точності форми й розташування поверхонь передбачено дотримання допуску 0,05 мм на паралельність площини А та осі отвору $\varnothing 40H7$, який забезпечується жорсткими вимогами до точності поверхні встановлення й попереднім контролем пристосування на забезпечення перпендикулярності траєкторії переміщення супорта щодо установчої бази.

3. Розмірна точність досягається необхідними й достатніми стадіями оброблення, так, для забезпечення точності, передбаченої 9-12 квалітетами для фасок, торців і кріпильних отворів, достатньо застосовувати 1 стадію оброблення. Досягнення точного розміру $\varnothing 40H7$ згідно 7 квалітету здійснюється на 4-ьох стадіях, запропонованих у проєкті.

4. Задана твердість поверхонь корпусу забезпечується обраним методом виготовлення вилівка.

Проєктний маршрут техпроцесу таблично представлено у додатках Б. 5.

3.5. Проєктування й нормування операцій проєктної технології

У кваліфікаційній роботі запропоновано ввести такі проєктні зміни щодо вертикально-фрезерної операції й плоско-шліфувальної операції для оброблення поверхні $h = 25 \pm 0,1$ мм.

Вертикально-фрезерна здійснюється на верстаті 6Т13П (аналог моделі 6Р13) за допомогою торцевої фрези ($\varnothing 180$ мм; $z = 8$), різальні частини вставних ножей якої - твердосплавні пластини матеріалу ВК6-Б.

Припуск на фрезерування поверхні складає 2 мм, такою ж є глибина різання.

На рис. Б.2 додатків зображений операційний ескіз оброблення заготовки на цій операції.

Для вибору подачі скористаємося рекомендаціями [6], для заданих умов приймаємо:

$$S_z = 0,1 \text{ мм/зуб.}$$

Для розрахунку швидкості різання використано формулу:

$$V_{\text{різ}} = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot Z^n \cdot B^z} \cdot K_{Mv} \cdot K_{Pv} \cdot K_{Iv},$$

де $C_v = 175,5$ [6];

x, m, q, n, y, z – показники степенів;

приймаємо: $x = 0,2; m = 0,35; q = 0,15; n = 0; y = 0,56; z = 0,15$; [6],

T - стійкість лезового інструменту, приймаємо $T=220$ [6];

K_{Mv}, K_{Iv}, K_{Iv} - коефіцієнти відповідно, враховуючі якість матеріалу заготовки, стан її поверхонь й взаємовплив матеріалу та швидкості різання;

приймаємо: $K_{Mv} = 1,02; K_{Iv} = 0,95, K_{Iv} = 1,18$; [6].

Після підстановки прийнятих значень:

$$V_{\text{різ}} = \frac{175,5 \cdot 160^{0,25}}{225^{0,35} \cdot 3^{0,2} \cdot 0,1^{0,56} \cdot 12^0 \cdot 105^{0,15}} \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1,18 = 131,09 \text{ м/хв.}$$

Частоту обертів шпинделя визначаємо з рівняння:

$$n_{\text{ун}} = \frac{1000 \cdot V_T}{\pi \cdot D}, \text{ об./хв.};$$

$$n_{\text{ун}} = \frac{1000 \cdot 131,09}{\pi \cdot 160} = 260,9 \text{ об./хв.};$$

приймаємо $n_{\text{ун}} = 250$ об./хв.

Швидкість фрезерування (фактична), яка розраховується за формулою,

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000}, \text{ м/хв};$$

становить:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot 160 \cdot 250}{1000} = 130 \text{ м/хв.}$$

Розрахуємо подачу за хвилину:

$$S_{x\phi} = S_z \cdot Z \cdot n_{\phi}, \text{ мм/хв.};$$

$$S_{x\phi} = 0,1 \cdot 12 \cdot 250 = 300 \text{ мм/хв.}$$

Приймаємо $S_M = 315$ мм/хв.

Силу фрезерування визначено із співвідношення:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot Z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{Mp},$$

де $C_p = 70$; $x = 1,14$; $y = 0,7$; $z = 0,9$; $q = 1,144$; $w = 0$; $K_{Mp} = 1,14$ [6].

Тоді

$$P_z = \frac{10 \cdot 70 \cdot 3^{1,14} \cdot 0,1^{0,7} \cdot 105^{0,9} \cdot 12}{160^q \cdot 250^0} \cdot 1,14 = 2465,6 \text{ Н.}$$

Потужність різання на операції фрезерування

$$N_{риз} = \frac{P_z \cdot V_\Phi}{60 \cdot 1020} = \frac{2465,6 \cdot 130}{60 \cdot 1020} = 5,29 \text{ кВт.}$$

Для перевірки забезпечення приводом необхідної потужності фрезерування визначимо її величину:

$$N_{ун} = N_{ЕД} \cdot \eta, \text{ кВт};$$

$$N_{ун} = 10 \cdot 0,85 = 8,5 \text{ кВт.}$$

Умова $N_{риз} < N_{ун}$ виконується.

Для розрахунку основного часу на даній операції скористаємося формулою:

$$T_{oc} = \frac{L}{S_{xв}} \cdot i, \text{ хв.};$$

де L - робочий хід фрези, мм;

$S_{xв}$ - подача, мм/хв.;

i - кількість проходів;

$$L = (l + l_1 + l_2), \text{ мм};$$

де l – довжина фрезерування; $l = 450$ мм;

l_1 - довжина врізання фрези,

$$l_1 = \sqrt{B \cdot (D - B)} = \sqrt{105 \cdot (160 - 105)} = 75,99 \text{ мм} \approx 76 \text{ мм};$$

l_2 - перебіг фрези; $l_2 = 2$ мм;

$$L = (450 + 76 + 2) = 529 \text{ мм};$$

тоді

$$T_{oc} = \frac{529}{315} \cdot 1 = 1,74 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на фрезерну операцію обчислюємо за залежністю:

$$\sum T_{дон} = T_{дон.уз} + T_{дон.пр} + T_{дон.вим} + T_{дон.пер};$$

де $T_{дон.уз}$, $T_{дон.пр}$, $T_{дон.вим}$, $T_{дон.пер}$ - складові допоміжного часу відповідно для установки й зняття заготовки; зміну режимів фрезерування; вимірювання й переходу;

приймаємо: $T_{дон.уз} = 2,3$ хв.; $T_{дон.пр} = 0,01$ хв.; $T_{дон.вим} = 0,11$ хв.; $T_{дон.пер} = 0,06$ хв.

Тоді

$$\sum T_{дон} = 2,3 + 0,01 + 0,11 + 0,06 = 2,57 \text{ хв.}$$

Розраховуємо час операційний:

$$T_{он} = \sum T_{oc} + \sum T_{д} = 1,74 + 2,57 = 4,31 \text{ хв.}$$

Для визначення підготовчо-заключного часу, визначимо складові формули:

$$\sum T_{нз} = T_{нз1} + T_{нз2} + T_{нз3},$$

де T_{nz1} , T_{nz2} , T_{nz3} - відповідно тривалість налагодження, приймання й здачу оснащення;

приймаємо: $T_{nz1} = 13$ хв.; $T_{nz2} = 3$ хв., $T_{nz3} = 7$ хв. [6];

тоді

$$\sum T_{nz} = 13 + 3 + 7 = 23 \text{ хв.}$$

Визначимо штучний час за залежністю:

$$T_{шт} = T_{он} + T_{обс} + T_{вп},$$

де $T_{обс}$, $T_{вп}$ - норми часу відповідно для обслуговування робочих місць й відпочинку,

$$T_{обс} = 0,035T_{он} = 0,15 \text{ хв.}, [6];$$

$$T_{вп} = 0,03T_{он} = 0,13 \text{ хв.} [6].$$

Звідси

$$T_{шт} = 4,31 + 0,15 + 0,13 = 4,61 \text{ хв.}$$

Для розрахунку часу штучно-калькуляційного скористаємось формулою:

$$T_{ук} = T_{шт} + \frac{T_{nz}}{n},$$

де n - кількість заготовок у партії змінній,

$$n = \frac{N \cdot a}{D},$$

де N – річний обсяг деталей;

a - періодичність партій, $a = 3$ дні;

D - число людино-днів у за році, $D = 254$ днів;

$$n = \frac{30000 \cdot 3}{254} = 402,2 \approx 402.$$

Звідси

$$T_{шк} = 4,61 + \frac{23}{200} = 4,74 \text{ хв.}$$

Визначаємо час фрезерування 1 деталі:

$$T_{шк} = \frac{4,74}{2} = 2,37 \text{ хв.}$$

Розраховані результати розрахунків зведено у таблицю Б. 8 додатку.

Плоско-шліфувальна операція здійснюється на верстаті 3Д722 за допомогою круга шліфувального (\varnothing 450 мм х 63 мм х 205 мм) зерністістю 30, керамічною зв'язкою К2 й структурою № 6.

Операційний ескіз оброблення заготовки представлено на рисунку Б. 3 додатку.

Призначаємо значення глибини шліфування [7]:

$$t_{чорн} = 0,22 \text{ мм - для шліфування чорного,}$$

$$t_{чист} = 0,11 \text{ мм - для шліфування чистового.}$$

Обираємо величину подач [7]:

$$s_{чорн} = 0,02 \text{ мм / хід - для шліфування чорного,}$$

$$s_{чист} = 12,5 \text{ мм / хід - для шліфування чистового.}$$

Вибір швидкості переміщення заготовки у повздовжньому напрямку здійснюємо згідно рекомендованих значень [7]:

$$V_{\partial} = 10 \text{ м/хв.}$$

Потужність шліфування визначаємо за рівнянням:

$$N_{різ} = 1,77 \cdot (V_{\partial} \cdot s_n \cdot s_{ш}) \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3,$$

де s_n , $s_{ш}$ - глибина відповідно подачі інструмента й шліфування, мм/хід;

k_1, k_2 - коефіцієнти відповідно виробничих втрат потужності й к.к.д;
приймаємо: $k_1 = 1,1; k_2 = 1$ [7].

Для визначення коефіцієнта k_3 використано залежність:

$$k_3 = \frac{F_{ш}}{B_3 \cdot L_3} = \frac{420 \cdot 105}{420 \cdot 105} = 1;$$

де $B_3, L_3, F_{ш}$ - відповідно ширина, довжина й площа шліфування.

Після підстановки отриманих складових, отримуємо:

$$N_{риз} = 1,77 \cdot (10 \cdot 12,6 \cdot 0,01) \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 = 2,33 \text{ кВт.}$$

Визначаємо $N_{шт}$ для перевірки умови забезпечення потужності шліфування:

$$N_{шт} = 10 \cdot 0,85 = 8,5 \text{ кВт.}$$

Оскільки $N_{риз} < N_{шт}$, то умова виконується.

Для плоско-шліфувального оброблення основний час визначають із рівняння:

$$T_{ос} = \frac{B \cdot L \cdot h}{1000 V_o \cdot s_{нк} \cdot s_{ш}} \cdot K,$$

де B, L відповідно ширина й довжина різання,

$$B = 105 + 63 + 5 = 173 \text{ мм,}$$

$$L = 420 + 15 = 435 \text{ мм;}$$

$s_{нк}, s_{чорн.ш}$ - відповідно поперечна й вертикальна подачі шліфування,

$$s_{чорн} = 0,02 \text{ мм / хід - для шліфування чорнового,}$$

$$s_{чист} = 0,01 \text{ мм / хід - для шліфування чистового;}$$

h - припуск оброблення,

$$h_{чорн} = 0,2 \text{ мм - для шліфування чорнового,}$$

$h_{\text{чист}} = 0,1$ мм - для шліфування чистового/

Розрахуємо основний машинний час для складових шліфування:

$$T_{\text{ос.чор}} = \frac{173 \cdot 435 \cdot 0,2}{1000 \cdot 10 \cdot 12,6 \cdot 0,02} \cdot 1,25 = 7,46 \text{ хв.};$$

$$T_{\text{ос.чист}} = \frac{173 \cdot 435 \cdot 0,1}{1000 \cdot 10 \cdot 12,6 \cdot 0,01} \cdot 1,4 = 8,36 \text{ хв.};$$

$$\sum T_{\text{ос}} = 15,82 \text{ хв.}$$

Основний час шліфування однієї заготовки становить:

$$T_{\text{ос}} = \frac{7,46 + 8,36}{2} = 7,91 \text{ хв.}$$

Визначено допоміжний час шліфувальної операції:

$$\sum T_{\text{доп}} = T_{\text{доп.уз}} + T_{\text{доп.пер}} + T_{\text{доп.вим}} + T_{\text{доп.пр}};$$

де $T_{\text{доп.уз}}$, $T_{\text{доп.пер}}$, $T_{\text{доп.вим}}$, $T_{\text{доп.пр}}$ - допоміжний час відповідно для встановлення й зняття деталі, переходів, вимірювання й правки інструментів, приймаємо: $T_{\text{доп.уз}} = 2,4$ хв.; $T_{\text{доп.пер}} = 0,4$ хв.; $T_{\text{доп.вим}} = 0,4$ хв.; $T_{\text{доп.пр}} = 3$ хв. [6].

Тоді

$$\sum T_{\text{доп}} = 2,4 + 0,4 + 0,4 + 3 = 6,1 \text{ хв.}$$

Операційний час на шліфування дорівнює:

$$T_{\text{оп}} = 15,82 + 6,1 = 21,92 \text{ хв.}$$

Аналогічно операції фрезерування визначаємо час підготовчо-заключний для шліфування однієї партії заготовок,

приймаємо: $T_{\text{нз1}} = 13$ хв.; $T_{\text{нз2}} = 2$ хв., $T_{\text{нз3}} = 6$ хв. [6].

Тоді загальний підготовчо-заключний час дорівнює:

$$T_{nz} = 13 + 2 + 6 = 21 \text{ хв.}$$

Наступні розрахунки проводимо аналогічно попередній операції з врахуванням рекомендацій [6]:

$$T_{обс} = 0,035T_{он} = 0,8 \text{ хв.};$$

$$T_{ен} = 0,03T_{он} = 0,68 \text{ хв.};$$

$$T_{шт} = 22,82 + 0,8 + 0,68 = 24,30 \text{ хв.};$$

$$T_{шк} = 24,3 + \frac{21}{200} = 24,405 \text{ хв.}$$

Для шліфування 1 деталі штучно-калькуляційний час складає:

$$T_{шк} = \frac{24,405}{2} = 12,2 \text{ хв.}$$

Результати розрахунків зведено в таблицю Б.10 додатку.

3.6. Вибір і обґрунтування пристосування для фрезерування

Перед операціями фрезерування виконується послідовне закріплення двох заготовок для оброблення площини 32. Заготовка в пристосуванні базується площиною, яка є протилежною до оброблювальної поверхні.

Пристосування встановлюється на модернізованому верстаті вертикально-фрезерному 6Т13П (сучасний аналог моделі 6Р13), в якості різальних інструментів використано кінцеву фрезу.

Пристосування споряджене пневмоприводом, який містить закріплюючі елементи для надійного затиску деталей. Такі приводи дають можливість скоротити додатковий час для закріплення заготовок і підвищити продуктивність оброблення, а також покращити умови робітників за рахунок зниження потреби у ручній силі. Пристосування із пневмоприводами здатні забезпечити розраховані силу й час затиску, зручні у використанні.

У графічній частині кваліфікаційної роботи представлено креслення конструкції пристосування із зазначенням технічних вимог до якості поверхонь, передбачених експлуатаційними характеристиками та призначенням.

Для компоновання пристосування можна використати декілька можливих схем з врахуванням, що результуюча затискна сила напрямлена у бік упора. Для базування пропонуємо конструкцію важельного механізму, який є нескладним для виготовлення й досить простий у використанні (рисунок 3.7,*a*). Особливість такого механізму полягає у забезпеченні постійних сил затиску, принцип важеля регулює зменшення чи збільшення таких зусиль.

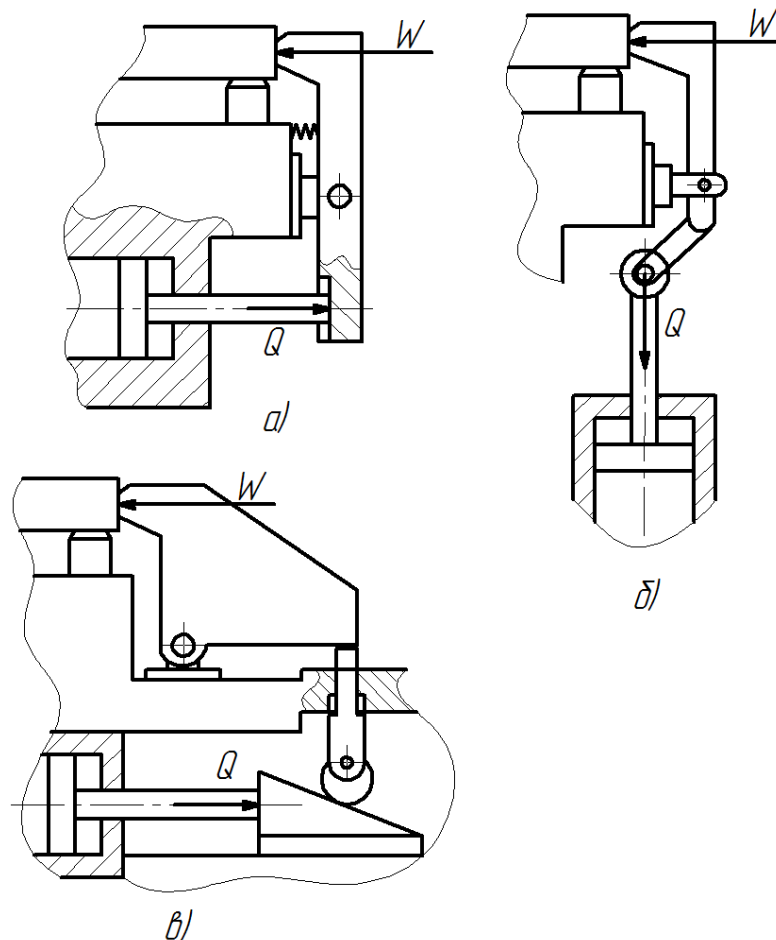


Рисунок 3.7. Схеми компоновання пристосування

Простота його конструкції дозволяє забезпечити надійність й довготривалість у його використанні. Також такий механізм може приводитись у дію різними силовими приводами.

Рисунок 3.7,б демонструє клиновий механізм, для роботи якого також використовується пневмопривід. Перевагами такого механізму є: простота й компактність конструкції й дотримання необхідних зусиль затиску під час оброблення. Недоліки таких клинових механізмів полягають у недосить щільному затисканні, наявність клинових зазорів не виключають потрапляння стружки й пилу між затискних поверхонь елементів.

Механізм, представлений на рис. 3.7,в є важельним і подібним до першого механізму. Сила затиску регулюється за важельним принципом. До переваг його конструкції відносять: простота й довговічність. Однак, такий механізм на практиці не дозволяє забезпечити постійний і рівномірний затиск протягом оброблення складних площин, для яких передбачені високі вимоги щодо якості й шорсткості поверхонь.

Аналіз схем компонування показав, що поданий на рис. 3.7,а механізм затиску, доцільно використати у проєктному техпроцесі.

3.6.1. Силовий розрахунок приводу

На рисунку Б. 8 додатку представлено схему затиску заготовки, яку врахуємо для визначення сил закріплення. Для розглядуваної операції з попередніх розрахунків $S(P_{зам}) = \Delta_{зз} + \frac{P_{зам}}{i} + \Delta S(P)$, Н. Врахуємо, що при визначенні режимів різання у п. 3.2 прийнято:

$$W = P_z = 2465,2 \text{ Н,}$$

де W - зусилля закріплення за обраною схемою.

На схемі, представлений на рис. Б. 9 додатку, зазначено елементи затиску й зусилля між ними.

Для визначення траєкторії (ходу) важельного механізму використаємо рівність:

$$S(P_{зам}) = 0,4 + \frac{1209}{2000} + \Delta + S(P),$$

де $\Delta_{вз} = 0,04$ мм – вільний зазор для легкого базування деталі;

$\Delta = 0,31$ мм – похибка розміру;

$$P_{зам} = \frac{W}{2} = \frac{2465,2}{2} = 1233,1 \text{ Н (на 1 важель),}$$

$i = 2000$ Н/мм – допустима жорсткість важельного механізму;

$S(P)$ - запас ходу важеля, $S(P) = 0,4$ мм.

Звідси

$$S(P_{зам}) = 0,4 + \frac{1209}{2000} + 0,31 + 0,4 = 1,71;$$

приймаємо $S(P_{зам})$ рівним 2 мм.

Розраховуємо зусилля на штоці за залежністю:

$$Q = P_3 \cdot \frac{l + hf + rf_0}{l_1 + h_1 f_1 - rf_0}.$$

Використовуючи попередні дані розрахунків, отримуємо:

$$Q = 1233 \cdot \frac{50 + 70 \cdot 0,2 + 15,92}{55 - 60 \cdot 0,2 - 15,02} = 2096,1 \text{ Н.}$$

Для визначення ходу силового приводу скористаємось формулою:

$$S(Q) = S(P_{зам}) \cdot \frac{l_1}{l_2} = 2 \cdot \frac{70}{50} = 3 \text{ мм.}$$

Визначимо зусилля пневмоциліндра із рівняння:

$$Q = \frac{\pi D_{nn}}{4} \cdot P_c \cdot \eta,$$

де D_{nn} – діаметр пневмоциліндра;

P_c – повітряний тиск пневмосистеми; $P_c = 0,4$ МПа;

$\eta = 0,9$. – коефіцієнт корисної дії, $\eta = 0,9$.

Діаметр пневмоциліндра визначаємо з попередньої формули:

$$D_{nn} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot P_c \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2096}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,9}} = 86,1 \text{ мм.}$$

Отже, приймаємо: $D_{nn} = 80$ мм; $d_{шт} = 25$ мм [3].

3.6.2. Визначення точності фрезерного пристосування

Запропоноване у роботі фрезерне пристосування призначене для забезпечення розміру $l = 25,3$ мм – відстані між базою й площиною оброблення. Для перевірки можливості забезпечення точності визначимо загальну похибку оброблення з рівняння [3]:

$$\varepsilon = k \sqrt{\varepsilon_{\varepsilon}^2 + \varepsilon_{pn}^2 + \varepsilon_{py}^2 + \varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_{зам}^2 + \varepsilon_{рне.}^2 + \varepsilon_{пд}^2 + \varepsilon_{н}^2 + \varepsilon_{pz}^2 + \varepsilon_t^2 + \varepsilon_{zn}^2},$$

де $\varepsilon_{\varepsilon}, \varepsilon_{pn}$ - похибки відповідно незавантаженого верстату і розміщення на ньому пристосування, $\varepsilon_{\varepsilon} = 0,03$ мм; $\varepsilon_{pn} = 0,04$ мм;

$\varepsilon_{py}, \varepsilon_{\delta}$ - похибки відповідно встановлення елементів і базування, $\varepsilon_{py} = 0,02$ мм;

$\varepsilon_{\delta} = 0$;

$\varepsilon_{зам}, \varepsilon_{рне.}$ – похибки відповідно затиску й розміщення направляючих пристосування, $\varepsilon_{зам} = 0,09$ мм; $\varepsilon_{рне.} = 0,03$ мм;

$\varepsilon_{nd}, \varepsilon_n$ – похибки відповідно від пружних навантажень й настроювання,
 $\varepsilon_{nd} = 0,03$ мм; $\varepsilon_n = 0,02$ мм;

$\varepsilon_{pz}, \varepsilon_t$ – похибки відповідно від зношення лезового інструменту й температурних навантажень; $\varepsilon_{pz} = 0,02$ мм; $\varepsilon_t = 0,02$ мм.

k – коефіцієнт розсіювання загальної похибки, який визначається складовими формули, приймаємо згідно рекомендацій [3] $k = 1$.

Тоді

$$\varepsilon = 1 \cdot \sqrt{0,03^2 + 0,04^2 + 0,02^2 + 0 + 0,09^2 + 0,03^2 + 0,03^2 + 0,02^2 + 0,02^2 + 0,02^2 + 0,02^2} = 0,128 \text{ мм.}$$

За 11 квалітетом точність оброблювальних поверхонь складає $T = 0,15$ мм. Оскільки $\varepsilon < T$, то робимо висновок, що задана точність досягається точністю запропонованого у проекті пристосування.

3.6.3. Опис принципу роботи пристосування

Пристосування містить корпус 2, на якому встановлено кріпильні й затискні елементи з верхніми 4 та нижніми 13 опорами, що базуються на планках 3 і розміщуються на базовій площині довжиною 400 мм з допуском площинності поверхні до 0,3 мм.

Прихвати 8 служать для нерухомого закріплення заготовки, фіксуючись шпильками 7 й пружинами 19, підтискаються штоком 11 через поршень пневмоциліндра. Таким чином забезпечується притискання заготовок в одному напрямку. Повітря під тиском поступає у безштоковий простір, тим самим деталі затискаються для подальшого оброблення. Одночасно затискаються дві деталі, це досягається паралельним підключенням пневморозподільника до циліндрів, що підвищує надійність закріплення деталей.

3.7. Розрахунок спеціального різального інструменту

Для оброблення корпусу застосовано стандартні лезові інструменти. На свердлильних операціях рекомендовано використання комбінованих цеківок із розмірами: $\varnothing 10/\varnothing 16$ і $\varnothing 8,6/\varnothing 14$. Такі цеківки не потребують розрахунку, оскільки вони є стандартизованими і споряджені твердосплавними різальними пластинами з матеріалу ВК6-Б.

Отвір $\varnothing 42H7$ обробляємо твердосплавними пластинами ВК6-Б, встановленими на стандартизованих розверстках і зенкерах, які також не в роботі не проєктуються.

Оброблення плоских поверхонь здійснено дисковими й торцевими фрезами відповідних розмірів із пластинами ВК6-Б, конструкції яких передбачені стандартами.

Для гідрокопірувальної операції використано стандартизовані торцеві подовжені фрези $\varnothing 16$ мм.

Оброблення пазів у розмір 2 мм виконано за допомогою прорізних фрез або дискових фрез із стандартизованими розмірами та геометричними параметрами, різальна частина виконана із сплаву Р6М5К5.

Шліфувальні операції з оброблення площин і поверхонь здійснено стандартними кругами групи ПП, при затупленні яких використано їх правку за допомогою стандартизованих алмазних шарошок або олівців, закріплених у оправках.

3.8. Визначення точності контрольного пристосування

Контрольне пристосування застосовано в проєкті з метою контролю величини допуску осей отвору 20 і поверхні 32 на паралельність.

Запропоноване пристосування містить стіл 2, на ньому встановлено державку 3, яка кріпиться гайками і шпильками відповідно 7,9. Затиск державки виконується упором 4. На її зовнішній площині фіксується індикатор,

який затискається за допомогою гвинта 4. Пристосування встановлено на плиті за допомогою ніжок 6.

Контрольну оправу 7 встановлюємо в отвір деталі 1, причому оправка може регулюватись й базуватись на три ступені з врахування діаметрів отворів. Для такої конструкції оправки визначимо загальний допуск:

$$\delta = 25 / 3 = 8,31 \text{ мкм.}$$

Тоді розміри діаметрів із допусками для кожної ступені дорівнюють:

$$\varnothing 40,0082; \varnothing 40,0167; \varnothing 40,0258.$$

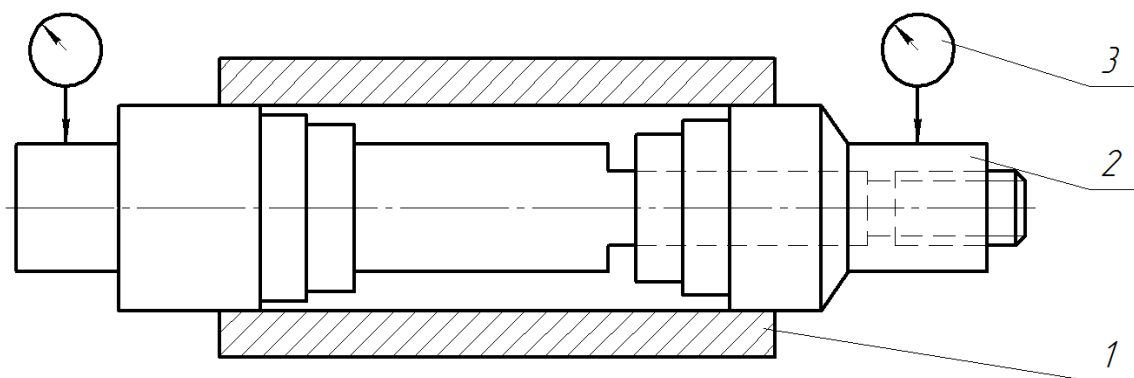


Рисунок 3.10. Схематичне представлення контрольного пристосування

1 – заготовка; 2 – оправка; 3 – індикатор із щупом

Для визначення похибки вимірів вибрано ціну поділки індикатора рівною 0,001 мм. Така похибка дорівнює нулю, оскільки $\delta_{\Delta} = 0,001$ мм.

Точність контрольного пристосування визначимо згідно формули:

$$E_{\Sigma} = \sqrt{E_i \cdot E_{\sigma} \cdot E_z \cdot E_{np} \cdot E_{pn} \cdot E_{zn} \cdot E_{pnn} \cdot E_n \cdot E_t},$$

E_i, E_{σ} – похибки відповідно індикатора та базування; у випадку, коли вимірювальна й установочна бази співпадають, то $E_{\sigma} = 0$;

E_z, E_{np} – похибки відповідно закріплення індикатора та розміщення пристосувань; $E_z = 0,012$ мм; $E_{np} = 0,03$ мм;

E_{pn}, E_{zn} – похибки відповідно пристосування й зношування, $E_{pn} = 0,2$ мм;

$$l = 25,3,$$

де β – коефіцієнт, який визначається за типом виробництва;

N – заданий обсяг (програма випуску);

n – коефіцієнт, який визначається за типом установчого елемента;

$$\beta = 0,0003 \text{ мм}, N = 30000 \text{ дет.}, n = 0,5;$$

$$E_{zn} = 0,003 \cdot 30000^{0,5} = 0,098 \text{ мм};$$

E_{pnn}, E_n, E_t – похибки відповідно розміщення направляючих, налагодження й деформацій, викликаних температурними коливаннями.

Згідно [1] приймаємо

$$E_{pn} = 0,02 \text{ мм}; E_i = 0,012 \text{ мм};$$

$$E_{zn} = 0,098 \text{ мм}; E_{\sigma} = 0 \text{ мм};$$

$$E_z = 0,012 \text{ мм}; E_{np} = 0,03 \text{ мм};$$

$$E_{pnn} = 0 \text{ мм}; E_n = 0,012 \text{ мм};$$

$$E_t = 0 \text{ мм}.$$

Тоді

$$E\Sigma = \sqrt{0,012^2 \cdot 0,012^2 \cdot 0,03^2 \cdot 0,02^2 \cdot 0,098^2} = 0,016 \text{ мм}.$$

Отже, контрольне пристосування забезпечує задану точність для вимірювання й контролю необхідних розмірів.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Аналіз виробничих факторів і рекомендації зі зниження небезпечних факторів

Спроектований технологічний процес призначений для виробництва деталі «корпус». Для виготовлення деталі використовуються: токарно-гвинторізні верстати, токарні верстати з ЧПК, свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат, координатно-розточувальний і вертикально-фрезерний верстат з револьверною головкою. Збирання стружки проводиться вручну. Оброблення ведеться із застосуванням ЗОР. Технологічне устаткування, в основному, універсальне. Заготовка подається на робочі місця партіями в піддоні за допомогою мостового крана вантажопідйомністю 5т, стружка з робочих місць вилучається аналогічно.

Категорії виконуваних робіт на ділянці по вазі – середньої ваги, по точності – середньої та високої точності.

Основними травмонебезпечними виробничими факторами, які можуть виникати в процесі оброблення деталі, є:

1. Різальні інструменти, швидкорізальні фрези, свердла можуть нанести травму, у тому числі з тяжкими наслідками, при випадковому дотику з ними в процесі роботи, у випадку захоплення ними одягу, а також раптовому їх руйнуванню. Доцільним є застосування і розроблення огорожень.

2. Пристосування для закріплення оброблюваних деталей, особливо кулачкові патрони становлять небезпеку як при випадковому до них дотику, так і у випадку захоплення одягу виступаючими частинами в процесі роботи верстата.

3. В сучасних режимах різання оброблювана деталь може вириватися із закріплюючих пристроїв. Травма може бути також нанесена обробленою деталлю при її знятті з верстата вручну без відповідних пристосувань.

4. При порушенні заземлення робітник може бути уражений електричним струмом. Ураження струмом при роботі на металорізальних верстатах явище відносно рідкісне, однак, це є значною небезпекою, тому огороження, блокування й заземлення повинні бути завжди в справному стані відповідно до чинних правил.

5. Приводні та передавальні механізми верстатів, особливо ходові гвинти токарних верстатів, ремінні, ланцюгові та зубчасті передачі, які можуть нанести травму в процесі налагодження, змащення і ремонту верстатів, а ходові гвинти та валики токарних верстатів становлять величезну небезпеку у процесі експлуатації, оскільки їх огороження не передбачене заводами-виготовлювачами.

6. Стрічкова (зливна) металева стружка, яка утворюється при точінні та свердлінні деталей, зачіпає частини верстата й, упираючись у підлогу, звивається в петлі, заплутуючись навколо різця, деталі, супорта, задньої бабки, важелів керування та інших частин верстату. Розплутування стружки викликає додаткові витрати часу, окрім того, робітник зазнає небезпеки поранення рук і обличчя. Стружка сколювання, яка утворюється при точінні і фрезеруванні, а також пилові частки можуть травмувати очі робітника.

7. Вилітаюча стружка і пил крихких металів наносять травми очей і опіки обличчя і рук. При обробленні крихких металів і неметалічних матеріалів повітря робочої зони забруднюється пилом оброблюваного матеріалу, шкідливими компонентами (свинець, берилій, азбест тощо). У цих випадках захисні окуляри та екрани на верстатах просто необхідні, але вони не вирішують зазначених проблем повністю.

8. Рухомі частини верстатів. До них відносяться: столи поздовжньо-стругальних, вертикально і горизонтально-фрезерних верстатів, повзуни

шепінгів тощо. Усе це становить небезпеку, особливо за відсутності огорожувальних бар'єрів.

Для усунення і запобігання нещасних випадків на ділянці необхідно суворо дотримуватися правил і заходів, рекомендованих відповідними нормативними документами, які передбачають:

1. Передачі (ремінні, ланцюгові, зубчасті та інші), розташовані поза корпусом верстату повинні бути огорожені суцільними, з жалюзі або сітчастими покриттями залежно від необхідності спостереження за загородженим механізмом. Передбачається фарбування в сигнальні кольори рухомих складальних одиниць і огорожувальних пристроїв.

2. Органи керування верстатів необхідно оснащувати фіксаторами, які виключають випадкове їх включення або переміщення рухомих органів, а також пояснюючими написами та символами.

3. Обертальні пристрої або гладкі зовнішні поверхні за наявності виступаючих частин або заглиблень повинні мати огороження.

4. Для попередження порізів стрічковою стружкою необхідна зміна її форми в процесі різання шляхом завивання у гвинтову спіраль або подрібнення на окремі елементи. Щоб подрібнена стружка не потрапила в очі робітнику, необхідно використовувати захисні екрани та окуляри.

Рівень шуму в середньому на ділянці становить 73-77 ДБ, при гранично припустимому рівні 80 ДБ.

Рівень виробничої вібрації в середньому на ділянці становить 102 ДБ при гранично припустимому рівні для даних умов у 113 ДБ. Такий рівень вібрації є допустимим, і будь-які заходи щодо його зниження не потрібні.

Концентрація пилу в середньому на ділянці становить 2,6%, як показує практика, вона дещо завищена на механічній ділянці, проте не перевищує 6,0%.

4.2. Розроблення заходів з техніки безпеки і охорони праці на робочих місцях ділянці з виготовлення корпусу

Основними заходами техніки безпеки в проєктному цеху, дільниці є:

- застосування устаткування та установок, які відповідають категорії приміщень щодо пожежо- і вибухонебезпечності;
- суворе дотримання передбачених технологічним регламентом і паспортними даними режимів роботи устаткування, регламентів його експлуатації, оглядів, ремонтів, а також допустимих навантажень;
- оснащення устаткування та приміщень, у яких вони розташовані, автоматичними пристроями, які усувають або сигналізують про небезпеку;
- надійна герметизація устаткування, апаратури, резервуарів і трубопроводів із речовинами, що виділяють вибухонебезпечні гази, пил, а у випадку неможливості герметизації – оснащення устаткування вмонтованими в нього місцевими відсмоктувачами;
- теплоізоляція нагрітих поверхонь устаткування та комунікацій повинна забезпечувати температуру її зовнішньої поверхні не вище 45°C;
- оснащення устаткування апаратурою періодичного та безперервного автоматичного контролю і сигналізації витікання пожежо- і вибухонебезпечних парів, газів та рідин, а також вимкнення устаткування у випадку витікання;
- оснащення устаткування засобами, що запобігають накопиченню статичної електрики і її стіканню з усіх елементів устаткування;
- встановлення на устаткуванні граничних норм завантаження, швидкостей;
- дотримання режимів змащування та застосування мастил, які відповідають технічній характеристиці устаткування.
- з метою попередження ураження електричним струмом корпуси повинні бути заземлені або обнулені;
- при роботі з приладом, з якого знято захисний кожух, необхідно слідкувати за тим, щоб не доторкатися одночасно однією рукою до деталей, які знаходяться під напругою, а іншою – корпуса;

- слідкувати, щоб при роботі під струмом ручки викруток та інших інструментів були надійно ізольовані, а вільна рука не торкалася до корпусу приладу та його елементів;

- підлога приміщення регулювальної ділянки повинна бути виконана з струмонепровідного матеріалу, наприклад із сухої деревини, а за умови присутності високої напруги за необхідності використовувати додаткові засоби захисту: діелектричні рукавички, гумові килимки, тощо.

Для попередження нещасних випадків необхідно:

- проводити інструктажі та перевіряти знання робітників апаратури правил техніки безпеки та надання першої допомоги постраждалим;

- утримувати робочі міста, інструмент та одяг робітників в належному порядку;

- виконуючи монтажні роботи, підключати та переключати вимірювальні прилади лише при вимкненій напрузі живлення;

- не допускати сторонніх людей до робочих місць, попереджувати випадки залишення робочих місць без нагляду при відкритому монтажі приладу, що знаходиться під напругою;

- перед увімкненням та після вимкнення апаратури з відкритим монтажем розряджати конденсатори великої ємності спеціальними приладами;

- перевіряти справність протипожежного устаткування та захисних засобів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі згідно поставлених задач представлено такі результати:

1. Здійснено аналіз існуючого техпроцесу виробництва корпусу 350.37.003 за умов крупносерійного виробництва, та на його основі, виявлено резерви та методи поліпшення проєктної технології.

2. Проведено наукові дослідження комп'ютерних програмних комплексів для моделювання й проєктування ливарних процесів, вивчено їх сутність, математичне забезпечення, подано порівняльну характеристику за визначеними алгоритмами й запропоновано рекомендації щодо оптимального застосування керувальних програм для впровадження у сучасному ливарному виробництві.

3. Обрано менш металомісткий і менше вартісний метод виготовлення виливка з підвищеними показниками точності й жорсткості.

4. На основі структурного аналізу базової технології розроблено новий операційний маршрут оброблення корпусної заготовки з розрахунками припусків й відхилів, режимів і норм часу для операцій, для яких були внесені технологічні зміни.

5. Запропоновано впровадження у проєктну технологію конструкцій фрезерного, шліфувального й контрольного пристосувань, обґрунтовано їх доцільність, що підтверджено розрахунками їх точності для забезпечення якісного оброблення корпусу.

6. Проаналізовано виробничі умови на робочих місцях, вироблено заходи з техніки безпеки й охорони праці щодо зниження впливу шкідливих факторів і усунення можливих загроз для роботи й життя працівників, спричинених воєнним станом в Україні.

Проєктна технологія спроектована й рекомендована для базового виробництва та його умов, проте, може бути адаптована та, після доопрацювань, запроваджена на підприємствах корпусного виробництва.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування технологічного спорядження: Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих закладів освіти / Л.І. Боженко. – Львів: Світ, 2001. – 296 с.
2. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок: Підручник / Л.І. Боженко. – Львів: Світ, 1996. – 368 с.
3. Гевко Б.М. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої: Навчальний посібник / Б.М. Гевко, М.Г. Дичковський, А.В. Матвійчук. – К.: Вид-во «Кондор», 2009. – 220 с.
4. Гевко Б.М. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра / Б.М. Гевко, Ю.Б. Капаціла, І.Г. Ткаченко. – Тернопіль: Вид-во ТДТУ, 2002. – 35 с.
5. Горбатюк Є.О. Технологія машинобудування / Є.О. Горбатюк, М.П. Мазур, А.С. Зенкін та ін. – К.: Вид-во «Новий світ», 2009. – 360 с.
6. Добрянський С.С. Технологія машинобудування і технологічні основи машинобудування / С.С. Добрянський, В.К. Фролов, Ю.М. Малафеев, В.М. Гриценко. - К.: НТУУ «КПІ», 2007. - 72 с.
7. Дичковський М.Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. -Тернопіль: ТДТУ, 2001. - 277 с.
8. Дячун А.Є. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин» / А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко. - Тернопіль: ТНТУ, 2016. - 75 с.
9. Експериментальні дослідження в технології машинобудування: навч посібник з дисципліни «Наукові дослідження і теорія експерименту» / В.В. Васильків, Д.Л. Радик. – Тернопіль. ТНТУ, 2012. - 386 с.
10. Інженерний аналіз в Ansys Workbench. Методичний практикум з

дисципліни “Комп’ютерне моделювання процесів обробки матеріалів”.
Укладачі: Васильків В.В., Радик Д.Л., Данильченко Л.М., Дивдик О.В. –
Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 66 с.

11. Капаціла Ю.Б., Комар Р.В. Проектування машинобудівних виробництв: методичні вказівки до курсової роботи для студентів всіх форм навчання спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія». - Тернопіль: ТНТУ, 2017. - 40 с.

12. Когут М.С. Механоскладальні цехи та дільниці у машинобудуванні: Підручник / М.С. Когут. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2000. – 352 с.

13. Мельничук П.П. Технологія машинобудування: Підручник / П.П. Мельничук, А.І. Боровик, П.А. Лінчевський, Ю.В. Петраков. – Житомир: Вид-во ЖДТУ, 2005. - 835 с.

14. Обробка результатів експериментальних досліджень математичними методами: метод. посібник / В.В. Васильків, Д.Л. Радик, Р.М. Романовський. - Тернопіль: ТНТУ, 2011. - 74 с.

15. Пилипець М.І., Данильченко Л.М., Ткаченко І.Г.: Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Організація виробництва». - Тернопіль: ТНТУ, 2018. - 60 с.

16. Правила заповнення основних норм технологічних документів: навч.-метод. посібник / М.І. Пилипець, І.Г. Ткаченко, М.Г. Левкович, В.В. Васильків, Д.Л. Радик. - Тернопіль: ТНТУ, 2009. - 110 с.

17. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: навчальний посібник / П.О. Руденко. – К.: Вища школа, 1993. – 414 с.

18. Собко В.В. Аналіз переваг і недоліків традиційних схем різання в процесах лезового оброблення / Л.М. Данильченко, В.В. Собко / Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 6-7 грудня 2023 р. - Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2023. - С. 79-80.

19. Соловйов С.М. Автоматизоване проектування технологічних процесів: навчальний посібник / С.М. Соловйов, О.Л. Ніколаєв, М.М. Івахненко, О.П. Гожий. – Миколаїв: УДМТУ, 2001. – 63 с.

20. Терміни та визначення в наукових дослідженнях: метод. посібник / М.І. Пилипець, В.В. Васильків, Д.Л. Радик. - Тернопіль: ТНТУ, 2011. - 256 с.

21. Danylchenko L. (2021) Comparative analysis of computer systems for casting processes simulation. In: Ternopil National Ivan Puluj Technical University, Proceedings of the International Conference Advanced Applied Energy and Information Technologies, Ternopil, December 15-17, 2021, pp. 105-113.

22. Vasylykiv 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.