

Вінницький національний технічний університет

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра галузевого машинобудування

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ
ШНЕКА ЕКСТРУДЕРА

Виконав: студент 2 курсу, групи 13В-18м
спеціальності 132 – «Матеріалознавство

(цифр і назва спеціальності)

Хоменко Олександр Сергійович

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., професор Савуляк В.І

(прізвище та ініціали)

Вінниця - 2019 р.

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра галузевого машинобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень «магістр»

Спеціальність 132 – «Матеріалознавство»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри ГМ
д.т.н., професор Поліщук Л. К.

« ___ » _____ 2019 р.

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Хоменку Олександрю Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення якості відновлення робочих поверхонь шнека екструдера

керівник роботи Савуляк Валерій Іванович, д.т.н., професор, каф. ГМ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від « 02 » жовтня 2019 року № 254

2. Строк подання студентом проекту (роботи): 10.12.2019 року

3. Вихідні дані до роботи:

Річна програма відновлення деталей N=2000 шт.;

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ; Розділ 1. Аналіз проблематики зношування та відновлення поверхонь шнека в умовах екструзії паливних пелет; Розділ 2. Дослідження зносостійкості поверхонь в умовах екструзії та експериментальна розробка зносостійких наплавлених шарів; Розділ 3. Розробка та обґрунтування параметрів технологічного процесу відновлення шнека екструдера; Розділ 4. Проектування обладнання з числовим програмним керуванням для нанесення покриттів; Розділ 5. Розрахунок економічної ефективності інноваційного рішення; Розділ 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; Висновки; Список використаної літератури; Додатки.

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

1. Робоче креслення деталі; 2. Ремонтне креслення деталі; 3. Креслення плазмового напилювача; 4. Установка з числовим програмним керуванням; 5. Робоче місце; 6. Технологічний процес відновлення шнека екструдера.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Савуляк В. І., д.т.н., професор, каф. ГМ		
Економіка виробництва	Лесько О.Й., д.е.н., професор, завідувач кафедри ЕПВМ		
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Віштак І.В., доцент кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання (02) жовтня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)		
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР		
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР		
4	Виконання розділу «Економіка виробництва»		
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»		
6	Попередній захист МКР		
7	Нормоконтроль МКР		
8	Опонування МКР		
9	Захист МКР		

Студент

(підпис)

Хоменко О.С.

Керівник проекту

(підпис)

Савуляк В.І.

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, загальних висновків та додатків. Загальний обсяг роботи 104 сторінки, у тому числі 38 рисунків, 37 таблиць, 48 літературних джерел.

Предметом досліджень у магістерській кваліфікаційній роботі є наплавлення зносостійких покриттів з використанням легувальних комплексів Cr-Mo-V-C та Cr-V₄C-Mo-C.

Робота складається з шести основних частин:

1. Аналіз проблематики зношування та відновлення поверхонь шнека в умовах екструзії паливних пелет; 2. Дослідження зносостійкості поверхонь в умовах екструзії та експериментальна розробка зносостійких наплавлених шарів; 3. Розробка та обґрунтування параметрів технологічного процесу відновлення шнека екструдера; 4. Проектування обладнання з числовим програмним керуванням для нанесення покриттів; 5. Розрахунок економічної ефективності інноваційного рішення; 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – процеси структуроутворення зносостійких наплавлених покриттів, які працюють в умовах екструзії паливних пелет з дерев'яної сировини.

Головною метою кваліфікаційної роботи є розробка ефективного способу одержання зносостійких покриттів робочих поверхонь шнеків, які здатні працювати в умовах екструзії, шляхом наплавлення недорогими маловуглецевими матеріалами із застосуванням легувальних комплексів.

В роботі розроблено математичну модель процесу екструзії паливних пелет і технологічний процес відновлення шнека екструдера, який дозволяє підвищити зносостійкість та якість нанесення покриттів способом наплавлення.

ABSTRACT

The master's qualification work consists of an introduction, 6 sections, general conclusions and applications. The total volume of work is 104 pages, including 38 figures, 37 tables, 48 literary sources.

The subject of research in the master's qualification work is the surfacing of wear-resistant coatings with the use of Cr-Mo-V-C and Cr-B₄C-Mo-C alloys.

The work consists of six main parts:

1. Analysis of the problem of wear and restoration of auger surfaces in conditions of fuel pellet extrusion;
2. Investigation of wear resistance of surfaces under extrusion conditions and experimental development of wear-resistant welded layers;
3. Development and justification of the parameters of the technological process of reconstruction of the screw of the extruder;
4. Design of equipment with numerical control software for coating;
5. Calculation of economic efficiency of innovative solution;
6. Occupational health and safety.

Object of study - the processes of structure formation of wear-resistant surfaced coatings that work in the conditions of extrusion of fuel pellets from wood raw materials.

The main purpose of the qualification work is to develop an effective method of obtaining wear-resistant coatings of the working surfaces of the augers, which are able to work in the conditions of extrusion, by surfacing inexpensive low carbon materials with the use of alloying complexes.

The mathematical model of the process of extrusion of fuel pellets and technological process of reconstruction of the screw of the extruder, which allows to increase the durability and quality of the application of coatings by the method of surfacing.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМАТИКИ ЗНОШУВАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ШНЕКА В УМОВАХ ЕКСТРУЗІЇ ПАЛИВНИХ ПЕЛЕТ.....	14
1.1 Процеси зношування та основні фактори впливу	14
1.2 Вимоги до шнекових поверхонь в умовах екструзії, загальні шляхи підвищення зносостійкості та способи нанесення зносостійких поверхонь	18
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХОНЬ В УМОВАХ ЕКСТРУЗІЇ ТА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА РОЗРОБКА ЗНОСОСТІЙКИХ НАПЛАВЛЕНИХ ШАРІВ	22
2.1 Математична модель процесу шнекової екструзії	22
2.2 Триботехнічні дослідження зразків на зносостійкість в залежності від їхньої твердості	25
2.3 Обробка й аналіз отриманих результатів триботехнічних випробувань.....	29
2.4 Підготовка до експерименту по утворенню зносостійких наплавлених шарів	32
2.5 Проведення експерименту	34
2.6 Аналіз отриманих результатів по наплавленню дослідних зразків.....	36
2.7 Висновки до розділу 2.....	42
3 РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЙНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ШНЕКА ЕКСТРУДЕРА	43
3.1 Призначення деталі	43
3.2 Матеріал деталі та його властивості	44
3.3 Якісна характеристика технологічності.....	45
3.4 Кількісна характеристика технологічності	46
3.5 Дефектування деталі	47
3.6 Визначення типу ремонтного виробництва.....	48

3.7	Вибір та технічне обґрунтування методів, обладнання та матеріалів для відновлення деталі	48
3.8	Визначення кількості переходів та операцій відновлення поверхонь	49
3.9	Розрахунок припусків на переходи механічної обробки	49
3.10	Формування маршруту відновлення деталі	51
3.11	Розрахунок та призначення режимів попередньої механічної обробки та обробки після нанесення покриття	53
3.12	Розрахунок параметрів режиму нанесення покриттів	56
3.13	Формування часу	58
4	ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ	59
4.1	Вибір конструктивної схеми для автоматизованого нанесення покриттів ...	59
4.2	Визначення закріплення деталі	59
4.3	Розрахунок масо-центрувальних характеристик деталі та пристрою її закріплення	61
4.4	Розрахунок та вибір виконавчих механізмів обертача	62
4.5	Розрахунок масо-центрувальних характеристик напилювального пристрою	65
4.6	Розрахунок та вибір виконавчих механізмів приводів переміщення напилювального пристрою	66
4.7	Розробка установки з числовим програмним керуванням	70
5	РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНОГО РІШЕННЯ	71
5.1	Прогнозування витрат на виконання конструкторської технологічної роботи	71
5.2	Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки	78
5.3	Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності	80
5.4	Висновки до розділу 5	84
6	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	86
6.1	Аналіз умов праці	86
6.2	Техніко-організаційні вимоги щодо безпечної праці	86
6.3	Техніка безпеки	94

6.4 Пожежна безпека	94
6.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях	95
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	99
ДОДАТКИ	104

ВНТУ Матеріалознавство

ВСТУП

Останнім часом з'явився інтерес до виробництва твердого біопалива у вигляді пелетів. Це дозволяє промисловості одразу вирішувати декілька завдань: застосування дерев'яних відходів (стружки і тирси) як сировини для виготовлення пелетів й створення альтернативного та екологічно чистого палива.

Одним із пріоритетних методів одержання пелетів є шнекова екструзія, яка здійснюється спеціальними прес-екструдерами. Оскільки даний метод відзначається високою продуктивністю і якістю продукції, то його застосування є раціональним. Поряд із цим існує суттєва проблема, яка полягає у тому, що робочий орган прес-екструдера (шнек) швидко зношується у процесі екструзії [1].

Найважливішим показником таких деталей, поверхні яких у ході експлуатації зазнають швидкого зносу, є зносостійкість. Вона залежить від властивостей поверхонь, до яких належать твердість, корозійностійкість, жаростійкість та ін., а також від умов експлуатації, що визначають основні вимоги до поверхонь.

З метою відновлення та (або) підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей застосовують різні методи. До найпоширеніших методів можна віднести наплавлення та напилення зносостійких покриттів, різні способи термічної та хіміко-термічної обробки. Кожен з них має як свої переваги, так і свої недоліки.

З огляду на процес екструзії дерев'яних пелет, при якому робочі поверхні шнека (витки) піддаються абразивному впливу, адгезійному схоплюванню з сировиною, корозійному впливу, термічному впливу в умовах сухого тертя та високих тисків із зсувними динамічними напруженнями, основним способом відновлення та одночасного підвищення зносостійкості є наплавлення [2-7].

Актуальність проблеми визначається гострою необхідністю досягти значного зменшення інтенсивності зношування та підвищення зносостійкості робочих поверхонь шнека екструдера. Актуальним та економічним шляхом досягнення мети є наплавлення покриттів, які можуть чинити протидію одночасно всім факторам зносу. Сучасні та відомі способи наплавлення зводяться, як правило, до використання високолегованих електродів, порошкових дротів і гнучких шнурів, які у своєму складі

мають високотверді компоненти, наприклад, карбіди вольфраму та ін. Поряд з певною ефективністю, зазначені матеріали характеризуються високою вартістю. Крім того, при наплавленні високолегованими електродами виникає ймовірність появи тріщин, що недопустимо в умовах шнекової екструзії. Проте такі поверхні з часом теж зношуються, хоча інтенсивність процесу значно зменшується. Тому виникає техніко-економічний інтерес отримання зносостійких поверхонь шляхом наплавлення недорогими матеріалами з використанням легувальних комплексів, які забезпечують такі необхідні властивості поверхонь в умовах екструзії, як висока твердість, корозійностійкість та жаростійкість.

Метою роботи є розробка ефективного способу одержання зносостійких покриттів робочих поверхонь шнеків, які здатні працювати в умовах екструзії, шляхом наплавлення недорогими маловуглецевими матеріалами із застосуванням легувальних комплексів.

Задачі дослідження:

1. Розробити математичну модель процесу шнекової екструзії.
2. Дослідити вплив твердості робочих поверхонь шнеків на їх механічний знос в умовах сухого тертя з дерев'яною стружкою, що імітує процес екструзії.
3. Встановити та підібрати спосіб нанесення легувального комплексу на поверхню для наплавлення.
4. Обрати відповідний наплавний матеріал та спосіб нанесення покриття.
5. Дослідити вплив легувальних комплексів на основі хрому, молібдену, ванадію, вуглецю, карбіду бору на твердість та структуру наплавлених шарів в залежності від наявності, вмісту та співвідношення легуючих елементів.

Об'єкт дослідження – процеси структуроутворення зносостійких наплавлених покриттів, які працюють в умовах екструзії паливних пелет з деревної сировини.

Предмет дослідження – наплавлення зносостійких покриттів з використанням легувальних комплексів Cr-Mo-V-C та Cr-V₄C-Mo-C.

Методи дослідження.

У ході виконання дослідження використано такі методи: оптична мікроскопія за допомогою мікроскопа МІМ-8 зі спеціальною камерою-окуляром для фіксування

засобами EOM зображення мікроструктури та її аналізу; дюрOMETричний метод за допомогою твердоміра ТК-2М та мікротвердоміра ПМТ-3 для визначення відповідно твердості та мікротвердості наплавлених шарів; металографічний аналіз для оцінювання структури утворених покриттів; триботехнічне випробування за торцевою схемою тертя.

Наукова новизна. При виконанні даної роботи отримано такі результати, які мають наукову новизну:

1. Встановлено вплив твердості поверхні шнеку на зносостійкість в умовах сухого тертя та створеного тиску у середовищі дерев'яної стружки: зі збільшенням твердості поверхні зменшується механічний знос поверхонь.
2. Наплавлення дротом Св-08Г2С на поверхню із сталі 45 у середовищі вуглекислого газу, на яку за допомогою спеціальної суспензії були попередньо нанесені легувальні комплекси Cr-B₄C-Mo-C і Cr-Mo-V-C, дозволяє отримати різні структури. Легувальний комплекс Cr-B₄C-Mo-C дозволив отримати інтегровану твердість поверхні 44 HRC, легувальний комплекс Cr-Mo-V-C – 60 HRC. В обох випадках спостерігається відсутність мікро-та макротріщин.
3. Встановлено, що легувальний комплекс Cr-B₄C-Mo-C дозволяє отримувати при наплавленні дротом Св-08Г2С дрібнозернисту структуру наплавленого шару з карбідними включеннями та плавними переходами між зонами утвореного покриття.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений спосіб наплавлення зносостійких покриттів дозволяє використовувати у якості матеріалів для шнеків середньовуглецеві сталі, які не потрібно піддавати термічній та хіміко-термічній обробці після виготовлення. Отримані таким способом покриття на поверхні шнека мають абразивну стійкість за рахунок високої твердості, а також певну жаростійкість та стійкість проти корозії за рахунок компонентів легувального комплексу при використанні у якості матеріалу для наплавлення недорогих маловуглецевих та низьколегованих дротів. Регулюючи склад та співвідношення компонентів легувального комплексу, можна отримувати поверхні з такими властивостями, які вимагають умови експлуатації деталі.

Особистий внесок здобувача. В даній роботі використано результати досліджень, які одержано автором самостійно. Мета і задачі роботи, обговорення результатів досліджень виконані спільно з науковим керівником.

Апробація результатів наукової роботи. Основні положення та частина результатів роботи доповідались та обговорювались на конференції:

1. XLV Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту 2 - 11 березня 2016 року.
2. XLVI Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту 27 - 28 березня 2017 року.

Публікації. Опубліковано 3 тез доповідей за темою наукової роботи у збірниках праць наукових конференцій.

1. Савуляк В. І. **Ідеалізована модель формування тиску в процесі екструзії робочого тіла шнеком** [Електронний ресурс] / В. І. Савуляк, **О. С. Хоменко** // ВНТУ. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2016/paper/view/1110/684>
2. Савуляк В. І. **Аналіз процесів тертя та зношування шнекової пари з врахуванням факторів впливу** В. І. Савуляк, **О. С. Хоменко** Тези доповідей IV-ої міжнародної інтернет- конференції «Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій», 11 листопада 2016 року: збірник наукових праць. Вінниця, ВНТУ, – 61 Режим доступу: http://conf.vntu.edu.ua/pdmpk/2016/tezy_tpz-2015.pdf
3. Савуляк В. І. **Кореляція між твердістю та зносостійкістю шнека для екструзії пелет** [Електронний ресурс] / В. І. Савуляк, **О. С. Хоменко** // ВНТУ. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/3201/2442>
4. Савуляк В. І. **Відновлення та підвищення стійкості гребних гвинтів щодо пошкодження кавітацією.** / В. І. Савуляк, **О. С. Хоменко** // Матеріали XLVIII Науково-технічної конференції факультету машинобудування та транспорту – Вінниця: ВНТУ. – 2019. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/view/3222/2549>

5. Савуляк В. І. Підвищення якості відновлення гребних гвинтів шляхом отримання дрібнозернистої структури/ В. І. Савуляк, О. С. Хоменко // МНТК «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту - 2019» 13-15 травня 2019. С. 216.
6. Савуляк В. І. Дослідження та наплавлення зносостійких шарів із застосуванням легувального комплексу Cr-Mo-V-C/ В. І. Савуляк, О. С. Хоменко //

ВНТУ Матеріалознавство

Серед головних факторів, показаних на рисунку 1.1, які впливають на процес зношування, можна виділити наступні: тиск і температура. Це обумовлено тим, що в процесі екструзії під впливом тиску і температури відбувається ущільнення, обвуглення стружки і утворення золи (абразивна складова), а також виділяється лігнін (адгезійна складова), необхідний для злипання стружки та формування пелет, і різні органічні сполуки (корозійна складова). Крім того, оскільки твєдопаливні пелети формуються в умовах гарячої екструзії (температура формування пелет 320-450°C), можуть виникати структурні перетворення внаслідок термічного впливу. Це призводить до зміни твердості поверхні, що пришвидшує корозійно-механічний знос при високих значеннях тисків та контактних напружень зсуву. Конструкційні фактори є другорядними, оскільки вони залежать від якості виробництва шнека та прес-екструдера. З огляду на це, для шнеків характерні два види зносу: абразивно-адгезійний та корозійно-механічний. При цьому абразивно-адгезійний знос має найбільшу інтенсивність [10-11].

Розглянемо динаміку механічного зносу поверхні шнека. На рисунку 1.2 продемонстровано результат взаємодії шнекової поверхні з дерев'яною стружкою (тирсою). За характером силового впливу на деталі, що труться, даний знос є результатом ковзання деталі (шнека) у масі часток разом з супутньою взаємодією спряжених деталей (шнек і кожух) в контактi з нею.



Рисунок 1.2 – Механічний вплив матеріалу на поверхню шнека екструдера

Поступово ущільнюючись у міру свого просування, часточки тирси у міжвитковому просторі починають формувати окремі маси (пробки), які спричиняють виникнення сухого тертя між ними та, з однієї сторони, поверхнею шнека, з іншої – поверхнею кожуха. Це впливає на інтенсивність процесу зношування: вздовж довжини шнекового каналу, рухаючись від області живлення до області головки екструдера, адгезійно-абразивна дія матеріалу зростає, тобто збільшується інтенсивність процесу зношування і відповідно зростає знос [7,9].

Потрібно зазначити, що зростання температури у напрямку руху тирси свідчить про збільшення величини сухого тертя, оскільки кількість виділеного тепла в процесі тертя залежить від величини тертя ковзання (чим вищі значення сили тертя, тим більша кількість теплоти виділяється). Це ускладнює механізм зношування і сприяє утворенню факторів, що не тільки сприяють зношуванню і змінюють його інтенсивність, а й забезпечують нерівномірність зношування. При цьому найбільшому зносу піддаються витки шнека [13].

Найбільший знос спостерігається в області дозування на кінцевих витках шнека, що зумовлено нерівномірністю розподілу тисків і щільністю матеріалу. Крім того, найінтенсивніше процес зношування відбувається на кутовій, периферійній частині витка, яка працює на максимальних радіусах обертання з поступовим зменшенням в міру переміщення до центра (осі шнека) [14]. Така нерівномірність зношування може бути пояснена таким чином: нерівномірністю діючого тиску з боку потоку частинок по глибині нарізки; впливом швидкості ковзання спресованих згустків. Проте навіть в зонах, де матеріал має найбільше ущільнення, утворюючи окремі спресовані згустки, спостерігається виражений абразивний вплив часток пригару (зола), який виникає з тирси при високих значеннях температури і тиску на межі розподілу сировини і поверхні шнека, – подряпини як на витках, так і на поверхні шнекового валу (див. рисунки 1.2 і 1.3).

Пришвидшення зносу зумовленої зростанням опору від тертя матеріалу об робочу поверхню шнека та кожуха. Як наслідок цього, зазор між торцем витка та внутрішньою стінкою кожуха зростає. Нераціональна геометрія шнека (зазор, крок гвинта, кут підйому гвинтової лінії та ін.) і твердість його поверхні також впливають

на інтенсивність процесу зношування, збільшуючи та пришвидшуючи знос [15].

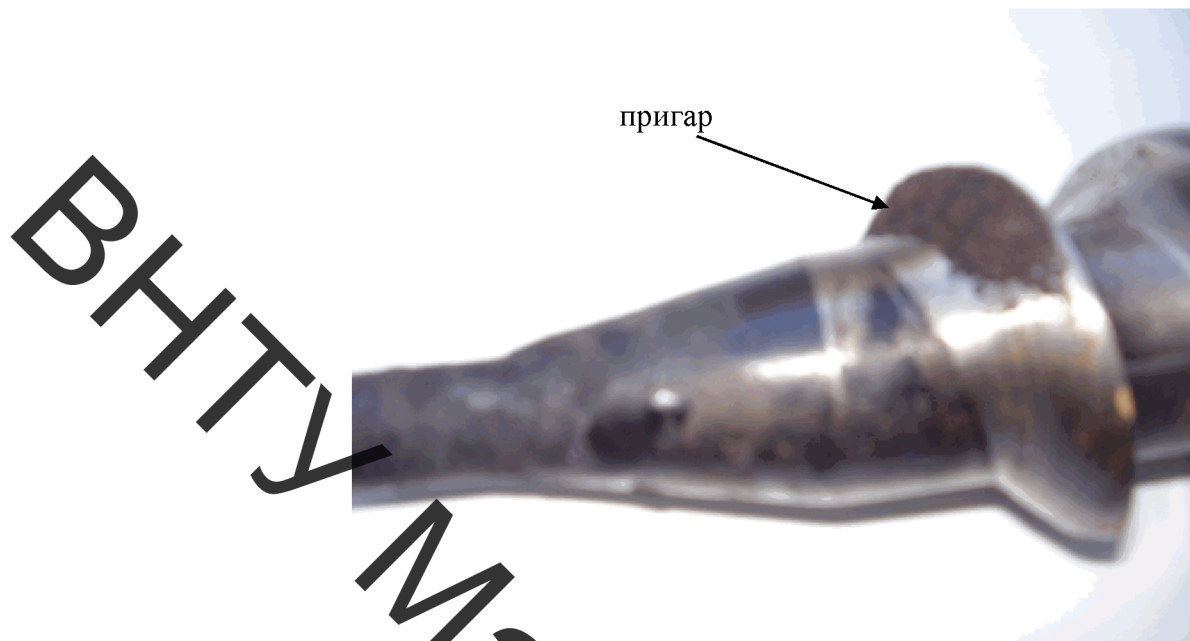


Рисунок 1.3 – Абразивно-адгезійний знос поверхні шнеку в області дозування і головки екструдера

Окрім абразивної взаємодії, спостерігається адгезійна взаємодія (схоплення та викидання) поверхні шнеку з часточками пригару, який утворюється в результаті впливу температури і тиску при сухому терті між шнеком та тирсою (див. рисунок 1.3). Знову можна виділити наступну закономірність: величина адгезійного схоплення зростає вздовж переміщення тирси, що пов'язано з нерівномірним розподіленням тиску і температури у шнековому каналі.

Зважаючи на складність механізму зношування шнекової поверхні, даний знос є нерівномірним (інтенсивність зростає у міру просування сировини) і має механічний характер з адгезійно-абразивною (лінгін та зола) та корозійною (волога стружка, кислотність, органічні сполуки та ін.) природою виникнення при великих значеннях зсувних деформацій у місцях фрикційного контакту в умовах сухого тертя. При цьому інтенсивність зношування та величина зносу залежать від таких факторів як тиск і температура, механічні показники матеріалу деталі та її геометрія [16,17].

Виходячи з цього, робочі поверхні шнеків повинні мати такі властивості, що дозволяють зводити до мінімуму вплив чинників, які негативно впливають на зносостійкість.

1.2 Вимоги до шнекових поверхонь в умовах екструзії, загальні шляхи підвищення зносостійкості та способи нанесення зносостійких поверхонь

Сокупність факторів впливу, які під час екструзії пелет діють одночасно і впливають на зносостійкість, визначає такі основні вимоги до робочих поверхонь шнека екструдера [2-7]:

- абразивна стійкість;
- антиадгезійні властивості;
- жаростійкість;
- корозійна стійкість.

Проте на практиці важко досягти поєднання усіх зазначених вимог, що обумовлено умовами процесу екструзії та матеріалами, з яких виготовляються шнеки. В залежності від способу виготовлення шнеків, використовують наступні сталі: ливарні середньовуглеві сталі; леговані конструкційні та жароміцні сталі [18].

Як правило, виготовлені шнеки піддають гартуванню, цементуванню або азотуванню. Встановлено, що просте гартування ливарних сталей, яке дозволяє отримати твердість поверхні приблизно до 55 HRC, виявляється неефективним, оскільки під час екструзії термічний вплив викликає відпуск, що призводить до зменшення твердості та зменшує протидію процесу зношування [19]. Тому доцільним є використання легованих сталей. Такі легувальні елементи як хром, молібден, ванадій сприяють підвищенню твердості, при цьому підвищується не тільки стійкість до відпуску, а й корозійна стійкість. Наприклад, такі сталі як 4X5MФ1С та X12MФ мають твердість після термообробки 58-64 HRC, що дозволяє використовувати їх для виготовлення шнеків прес-екструдерів для виробництва пелет. Поряд з цим, сталі з високим вмістом хрому, молібдену, ванадію, титану, вольфраму та ін. у відповідному співвідношенні забезпечують жаростійкість [20].

З метою додаткового підвищення твердості та корозійної стійкості такі сталі піддають іонному азотуванню. Потрібно зазначити, що при іонному азотуванні шнеків, виготовлених з корозійностійких сталей, не утворюється виражена дифузійна зона, необхідна для зносостійкості. Це погіршує зв'язок твердого поверхневого шару

товщиною 0,1–0,15 мм з основою. При цьому нерідко виникають підшарові тріщини внаслідок залишкових напружень [21]. Також потрібно зазначити про схильність легованих сталей до схоплювання, яку пояснюють утворенням специфічних структур нітридів легуючих елементів після азотування [22]. Поряд із цим існує певний недолік при азотуванні корозійностійких сталей, який полягає у зниженні корозійної стійкості. Це стосується лише високолегованих сталей (для низьколегованих даних недолік відсутній). Це можна пояснити зниженням вмісту хрому, що є результатом утворення в азотованому шарі нітридів хрому [5]. Попри вказані недоліки, азотування на практиці залишається одним із способів, що дозволяє підвищити зносостійкість поверхні шнеків екструдера.

При нанесенні покриттів з метою відновлення робочих поверхонь або підвищення зносостійкості потрібно враховувати те, що не тільки висока твердість є основним показником зносостійкості, але й корозійностійкість, жаростійкість, адгезійна стійкість та міцність самого покриття.

Різними дослідниками та підприємствами виконано ряд спроб отримати такі зносостійкі покриття на поверхні шнеків способами, які зводяться або до наплавлення спеціальними електродами, порошковими прогами, які мають у своєму складі зносостійкі карбіди (наприклад, карбіди вольфраму, бору), або до напилення сумішшю порошків, що мають високу твердість та міцність. Основними переваги таких покриттів перед азотуванням та іншими видами хіміко-термічної обробки (ХТО) є тривалість процесу та вартість, які нижчі у порівнянні з ХТО.

В праці [9] описано газополуменеве напилення поверхні шнека, що дозволило нанести шар товщиною 0,3–0,5 мм. При напилюванні використовувались порошки, які містять у своєму складі нікель, хром, бор і карбід вольфраму (твердість поверхні 65–68 HRC), що дозволило підвищити зносостійкість шнеків. Проте під час експлуатації деталей були виявлені часті випадки викришування надтвердого покриття внаслідок високих тисків та великих зсувних напружень, які виникають в умовах екструзії пелет. Тому при відновленні та нанесенні зносостійких покриттів переважно застосовують наплавлення.

Існує спосіб плазмово-порошкового наплавлення шнеку сплавом (у вигляді

гнучких шнурів), який представляє собою композицію з хромонікелевою матрицею та карбідом вольфраму (у вигляді реліту). Такі та подібні сплави на основі матриці хром-нікель використовуються для наплавлення композиційних матеріалів. Ці матеріали мають високу жаростійкість та стійкість до абразивного та корозійного зношування [23]. Наприклад, наплавлений сплав (гнучкий шнур «Сфекорд Рок-Дюр 6750»), основні компоненти якого утворюють систему Ni-Cr-B-Si-C + 50%WC, має твердість поверхні в межах 55-63 HRC.

Для наплавлення зношених витків шнеків на виробництвах по виготовленню паливних брикетів, часто застосовують ручну дугову наплавку, використовуючи спеціальні електроди, що пояснюється простотою процесу. Високу популярність мають електроди Т-590, які застосовуються для наплавлення поверхонь, які швидко зношуються і працюють в абразивному середовищі. Без термічної обробки вони дозволяють отримувати поверхню з твердістю 45–55 HRC. Висока твердість металу, наплавленого цими електродами, є результатом введення до складу покриття таких легуючих елементів як С, Ni, Mn, Cr, В [9]. Проте при такому наплавленні існує велика ймовірність появи тріщин. Поряд з цим використовуються інші поширені матеріали, які при відповідному способі наплавлення забезпечують тверді зносостійкі поверхні, занесені до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Склад і твердість матеріалів для наплавлення

Марка порошку (сплаву)	Вміст елементів, мас. %											Твердість, HRC
	C	Si	Mn	B	Cr	V	W	Mo	Ni	Co	Fe	
ПГ-CP4 (X15H75C4P4)	0,7	3,9	-	3,2	15,8	-	-	-	Інше	-	<	58
ПГ-10К-02 (Stellite 6)	1,1	2,1	-	-	28,1	-	4,4	-	-	Інше	-	42
ПГ-С1 (Сормайт 1)	2,7	2,9	2,7	-	28,6	-	-	-	4,3	-	Інше	46
ПР-Х18ФНМ (PMalloy 21)	2,2	0,8	0,9	-	18,2	7,2	-	2,2	2,6	-	Інше	43

Також тверді абразивостійкі поверхні отримують наплавленням порошковими

дротами, що містять карбіди вольфраму, хрому, ніобію та ін. Наприклад, порошковий дріт Teromates 4601 має твердість наплавленого шару 60-65 HRC, який представлений мартенситною структурою з включеннями бориду заліза, карбідами хрому і заліза [24].

З огляду на проведений аналіз, отримання зносостійких поверхонь шнека екструдера наплавленням досягається використанням карбідомістких та (або) високолегованих матеріалів (порошкові дроти, електроди, гнучкі шнури та ін.), які мають досить високу вартість. При цьому важко підібрати бажане співвідношення легуючих елементів, які одночасно забезпечують усі необхідні властивості.

Тому виникає інтерес до отримання зносостійких поверхонь з високою твердістю шляхом наплавки недорогих маловуглецевих дротів (наприклад, Св-08Г2С) з одночасним легуванням наплавленого шару елементами (джерелом легувальних елементів може слугувати попередньо нанесена суспензія з відповідним вмістом внесених порошоків), які дозволять забезпечити високу абразивну стійкість, жаростійкість та корозійну стійкість. До таких елементів належать насамперед хром, молібден, ванадій, вуглець, карбід бору. Хром забезпечує корозійну стійкість, разом з молібденом та ванадієм підвищує абразивну стійкість, вуглець сприяє підвищенню твердості та утворенню карбідної сітки. Крім того, наявність молібдену та ванадію протидіє відпускнутому окрихчуванню. Карбід бору сприяє подрібненню структури та підвищенню твердості [25,26].

Також відомо, що система Fe-Cr-V-Mo-C при плазмово-порошковому наплавленні утворює наплавлені шари, не схильні до утворення тріщин [27]. Це забезпечує позитивний ефект для шнекових покриттів, які зазнають термічний вплив та сприймають високі тиски при абразивно-адгезійній взаємодії з сировиною в умовах сухого тертя.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХОНЬ В УМОВАХ ЕКСТРУЗІЇ ТА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА РОЗРОБКА ЗНОСОСТІЙКИХ НАПЛАВЛЕНИХ ШАРІВ

2.1 Математична модель процесу шнекової екструзії

До основних чинників, що впливають на інтенсивність та характер процесу зношування, насамперед, відносять температуру, тиск і властивості поверхні шнеку.

З праць [2-7] відомо, що розподіл термодинамічних параметрів (тиск і температура) по довжині шнекового каналу не є рівномірним, при цьому їхні максимальні значення спостерігаються у місцях найбільшої гомогенізації сировини, тобто на кінцевих ділянках області дозування, де спостерігається найбільший знос.

При вимірювання твердості поверхні зношеного шнеку (див. рисунок 1.2), твердість по всій довжині деталі складала 35 HRC. Оскільки твердість є сталою, то можна прийти до висновку, що термічний вплив менш виражений, ніж вплив тиску. Тому за основні чинники, що впливають на процес механічного зношування, приймаються тиск і твердість шнекової поверхні. Але потрібно зазначити, що твердість поверхні під час гарячої екструзії шнека може зменшуватися за рахунок середньотемпературного відпуску, який виникає під впливом температури при сухому терті.

Для того, щоб отримати математичний закон розподілу тиску по довжині шнекового каналу вздовж витків у зоні дозування, де спостерігається нерівномірний знос витків та відбувається формування пелет, необхідно задатися припущеннями:

- матеріал, який на початку екструзії складається з окремих часточок деревини, які поступово ущільнюється, рухається як суцільне нерозривне середовище;
- внутрішнє тертя між шарами сировини відсутнє, натомість присутні пружні деформації зсуву;
- маса дерев'яної сировини (стружка) створює однаковий в усіх напрямках тиск, тобто не враховується анізотропія деревини;

- відносні зсуви шарів сировини не порушують умови суцільності, що дозволяє ними знехтувати;
- коефіцієнти тертя приймаємо усередненими та постійними.

Розглянемо баланс сил, що діють на елементарний об'єм сировини у міжвитковому просторі шнека, і знайдемо розподіл тиску по довжині шнека, з врахуванням того, що $f_{ц}$ та $f_{ш}$ – відповідно коефіцієнти тертя між матеріалом сировини та поверхнями циліндра і шнека (див. рисунок 2.1).

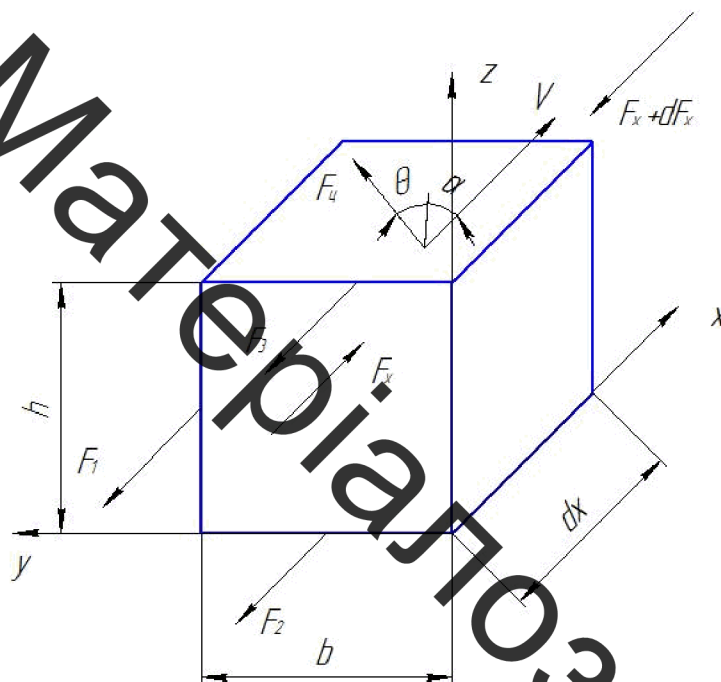


Рисунок 2.1 – Сили, що діють на елементарний об'єм матеріалу при екструзії:

θ – кут транспортування; α – кут нахилу гвинтової лінії шнека; V – швидкість переміщення каналу вздовж каналу нарізки (співпадає з віссю x); F_1 – сила тертя на бічних поверхнях; F_2 – сила тертя на дні об'єму; F_3 – сила тертя, що виникає від F_x ; F_x – сила, що здійснює рух вздовж осі x ; $F_x + dF_x$ – сила, яка врівноважує відкинуту частину об'єму; $F_{ц}$ – сила тертя на циліндричній поверхні; b – ширина каналу; h – глибина нарізки

Рівняння балансу сил та функції сил, що діють на поверхню шнекової поверхні під час екструзії деревини, представлені системою (2.1).

$$\begin{cases} F_x - (F_x + dF_x) - 2 \cdot F_1 - F_2 + F_y \cdot \cos(\theta + \alpha) - F_3 = 0; \\ F_1 = \frac{F_x}{h \cdot b} \cdot h \cdot dx \cdot f_u; \\ F_2 = \frac{F_x}{h \cdot b} \cdot b \cdot dx \cdot f_u; \\ F_3 = F_y \cdot \sin(\theta + \alpha) \cdot f_u; \\ F_y = \frac{F_x}{h \cdot b} \cdot b \cdot dx \cdot f_y. \end{cases} \quad (2.1)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (2.1) та зробивши відповідні математичні перетворення, отримаємо рівняння наступного вигляду:

$$\frac{dF_x}{F_x} = \left[-\frac{2 \cdot f_u}{b} - \frac{f_u}{h} - \frac{f_u \cdot f_y \cdot \sin(\theta + \alpha)}{h} + \frac{f_y \cdot \cos(\theta + \alpha)}{h} \right] \cdot dx. \quad (2.2)$$

Враховуючи співвідношення $\frac{dF_x}{F_x} = \frac{dP_x}{P_x}$, а також прийнятий коефіцієнт $A = -\frac{2 \cdot f_u}{b} - \frac{f_u}{h} - \frac{f_u \cdot f_y \cdot \sin(\theta + \alpha)}{h} + \frac{f_y \cdot \cos(\theta + \alpha)}{h}$ розв'язуємо рівняння (2.2) як диференціальне рівняння з відокремленими зміними:

$$\int_{P_0}^P \frac{dP_x}{P_x} = \int_0^x A \cdot dx;$$

$$\ln \frac{P}{P_0} = A \cdot x + C.$$

Оскільки при значенні координати $x=0$ значення тиску $P=P_0$, то $C=0$.
Остаточно отримаємо рівняння розподілу тиску вздовж каналу нарізки шнеку:

$$P(x) = P_0 \cdot e^{Ax}, \text{ [МПа]} \quad (2.3)$$

де P_0 – початковий тиск, МПа;

A – безрозмірний коефіцієнт, який враховує геометрію та матеріал шнека;

x – відповідна координата, м.

Отже, отримано математичну модель, яка теоретично описує зміну тисків вздовж витків шнека під час екструзії паливних пелет.

2.2 Триботехнічні дослідження зразків на зносостійкість в залежності від їхньої твердості

Для встановлення залежності механічного зносу поверхонь шнека від твердості його поверхні, необхідно дослідити зносостійкість поверхні зразків, які імітують поверхню шнека під час екструзії, в залежності від їхньої твердості в умовах сухого тертя.

Для проведення досліду було підготовлено два зразки, які мають різну твердість поверхні. Перший зразок, твердість поверхні якого складає 35 HRC, виконано з загартованої сталі 45 після середньотемпературного відпуску. Другий зразок виконано зі сталі 3, на поверхню тертя якого наплавлено зносостійке покриття (наплавлявся дріт 30ХГСА на вуглецеву тканину УТ-2 у середовищі вуглекислого газу на установці УД-209М) твердістю 55 HRC (рисунок 2.2).

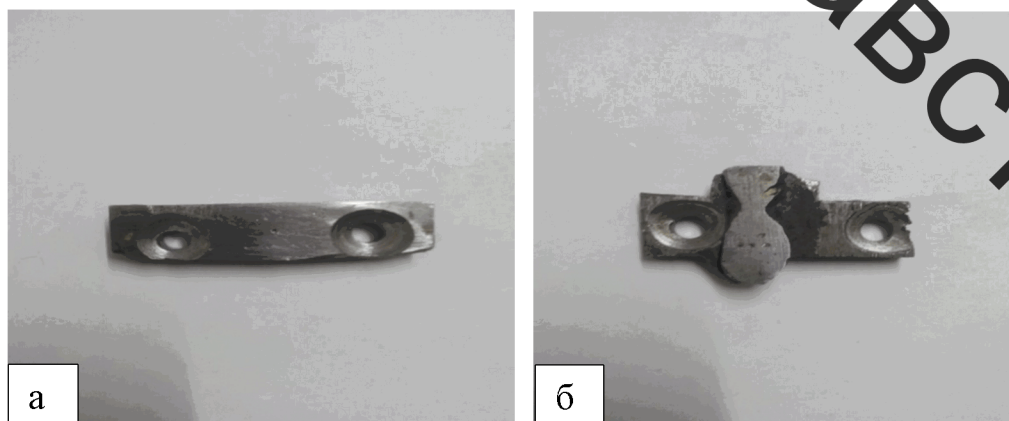


Рисунок 2.2 – Підготовлені зразки:

а – зразок з твердістю 35 HRC; б – зразок з твердістю 55 HRC

Дослідження зношування даних зразків проводились за схемою торцевого тертя, яка була реалізована на свердильному верстаті моделі 2Н135 (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Свердильний верстат 2Н135 разом з встановленим дослідним обладнанням

Дослідне обладнання складається з таких основних частин (див. додаток Б): корпус 1, тримач зразків 2, контртіло 3 і зразки 4. Корпус 1 закріплюється в щечках на столі свердильного верстату, а тримач зразків 2 – у шпинделі верстату. Зразки 3 фіксуються на тримачі 2 за допомогою болтового з'єднання. Для цього на зразках 3 передбачені отвори з цековкою (рисунок 2.4, а), що дозволяє розмістити кріпильні болти в потай.

Після того, як тримач зразків 2, на якому фіксувалися досліджувані зразки 4

(рисунок 2.4, б), закріплювався у шпинделі свердлильного верстату, у корпус 1, який затискувався лещатами на столі верстату, поверх контртіла 3 засипалася дерев'яна стружка 5. Приводом верстату через тримач зразків 2 на поверхні стружки 5 створювалося навантаження P , після чого вмикався верстат, шпиндель якого при створеному навантаженні P зі швидкістю V_t обертає тримач зі зразками 2. Таким чином, здійснювалося дослідження сухого тертя сталі по дерев'яній стружці (що має місце при ланкової екструзії пелет) зі швидкістю тертя V_t та навантаженням P .



Рисунок 2.4 – Сухе тертя зразків по дерев'яній стружці:

а – тримач зі зразками; б – проведення дослідів

Масовий знос визначався за допомогою періодичного зважування зразків на аналітичних вагах RADWAG AS220C. Інтервал дослідження до моменту зважування кожний раз складав 30 хв.

В таблиці 2.1 показані режими зношування в умовах сухого тертя (ковзання без мастильних матеріалів), а в таблиці 2.2 містяться результати зношування досліджуваних зразків.

Таблиця 2.1 – Режими зношування в умовах сухого тертя

№	Параметри	Величина
1	Швидкість тертя, V_t	0,076 м/с
2	Питоме навантаження на зразок, P	1 МПа
3	Вид тертя	Сухе
4	Шлях тертя, L	684 м
5	Матеріал контртіла	Сталь 45, після гартування та відпуску

Таблиця 2.2 – Результати зношування досліджуваних зразків

№	Твердість зразка, НВС	Час тертя, хв	Початкова маса m_0 , г	Кінцева маса m , г
1	35	0	21,5	21,5
		30		21,4498
		60		21,4461
		90		21,4453
		120		21,4438
		150		21,4421
2	55	0	18,7	18,7
		30		18,6897
		60		18,6884
		90		18,6877
		120		18,6869
		150		18,6861

Для знаходження величини масового зносу зразків та інтенсивності зношування застосовувались формули, наведені у праці [28].

2.3 Обробка й аналіз отриманих результатів триботехнічних випробувань

Отримані значення масового зносу та інтенсивності зношування занесені у таблицю 2.3. На основі цих результатів для даних зразків було побудовано графіки залежності зносу від часу (крива зносу) та інтенсивності зношування від часу, що дозволяє порівняти процеси сухого тертя.

Таблиця 2.3 – Результати обрахунків зносостійкості

№	Твердість зразка, НВС	Час тертя, хв	Масовий знос Δm , г	Інтенсивність зношування I, г/км
1	35	0	0	0
		30	0,0502	0,366
		60	0,0539	0,197
		90	0,0547	0,133
		120	0,0562	0,102
		150	0,0579	0,084
2	55	0	0	0
		30	0,0103	0,075
		60	0,0116	0,042
		90	0,0123	0,029
		120	0,0131	0,023
		150	0,0139	0,02

Побудовані крива зносу та графік залежності інтенсивності зношування від часу для зразка твердістю 35 HRC показані відповідно на рисунках 2.5 і 2.6.

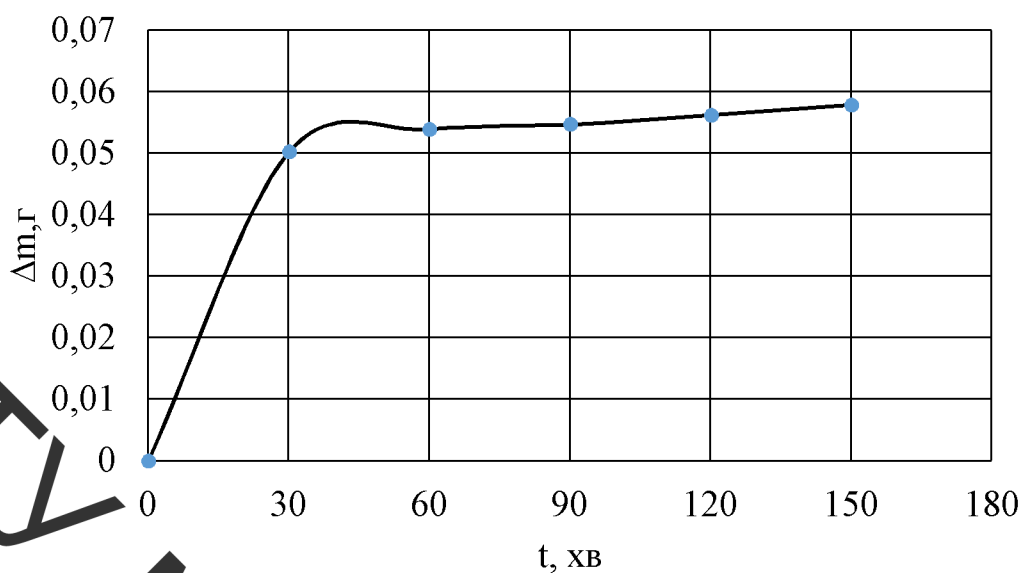


Рисунок 2.5 – Крива зносу зразка твердістю 35 HRC

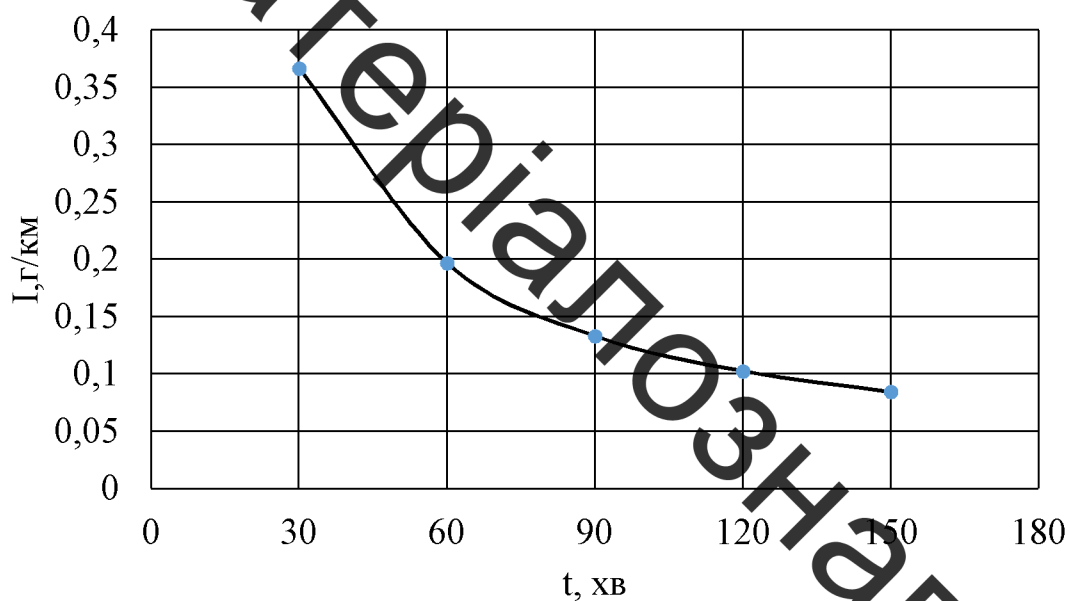


Рисунок 2.6 – Графік залежності інтенсивності зношування від часу для зразка твердістю 35 HRC

Аналогічним чином побудовані крива зносу та графік залежності інтенсивності зношування від часу для зразка твердістю 55 HRC показані відповідно на рисунках 2.7 і 2.8.

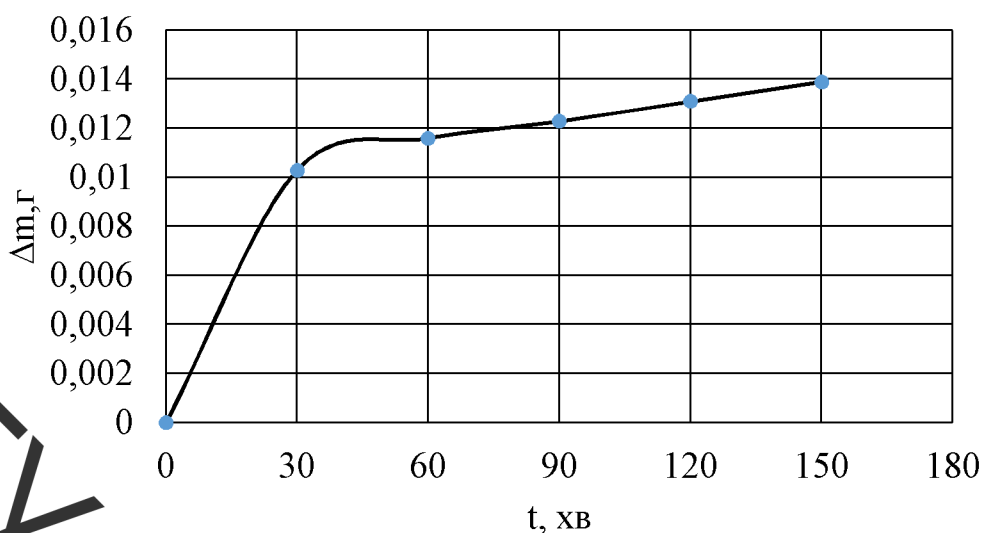


Рисунок 2.7 – Крива зносу зразка твердістю 55 HRC

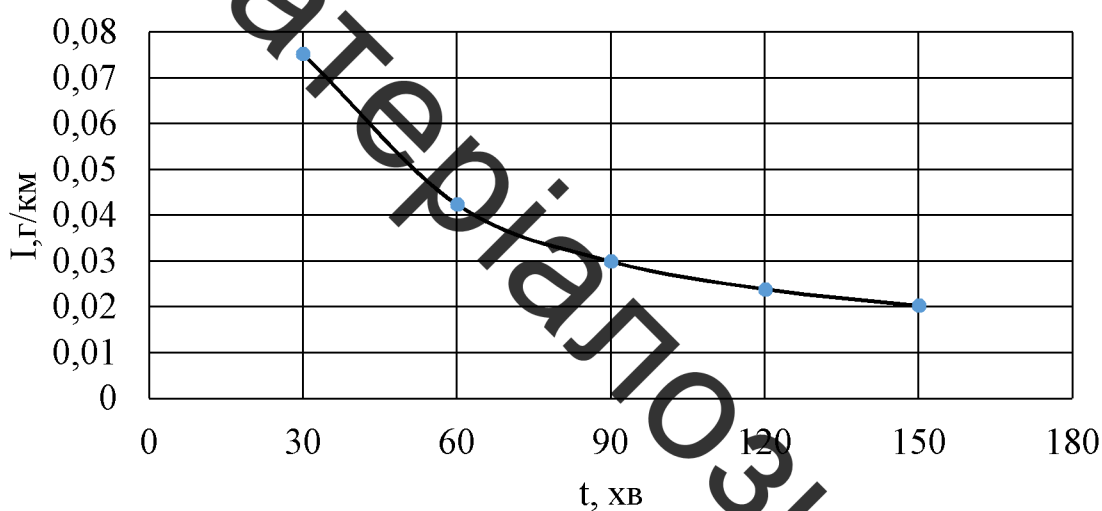


Рисунок 2.8 – Графік залежності інтенсивності зношування від часу для зразка твердістю 55 HRC

Порівнюючи між собою криві зносу та графіки залежності інтенсивності зношування від часу двох зразків (див. рисунки 2.5-2.8), які мають різну твердість, можна прийти до наступних висновків: твердість поверхні впливає на зносостійкість та інтенсивність зношування; чим вища твердість поверхні, тим менші знос та інтенсивність зношування, відповідно збільшується зносостійкість до впливу дерев'яної стружки при сухому терті. Таким чином, підвищення твердості поверхні

шнеку за допомогою твердих наплавлених покриттів дозволить підвищити його зносостійкість по відношенню до матеріалу (сировини) під часу екструзії пелетів.

2.4 Підготовка до експерименту по утворенню зносостійких наплавлених шарів

Попередньо встановлено, що висока твердість поверхні підвищує зносостійкість в умовах шнекової екструзії. При цьому важливим є отримання наплавлених поверхонь, які не тільки протидіють механічній складовій процесу зношування, а й хімічній: при екструзії дерев'яної сировини (стружки) виділяються й утворюються поряд з лігніном інші сполуки, які утворюють агресивне середовище (наприклад, органічні кислоти, сульфати та ін.). Тобто наплавлені шари повинні мати певну корозійну стійкість. Поряд із цим, до таких та подібних поверхонь висуваються вимоги жаростійкості. Для утворення таких поверхонь, що відповідають зазначеним вимогам, пропонується наплавити металеву поверхню з попередньо нанесеною сумішшю у відповідному співвідношенні внесених елементів, що забезпечить необхідні зносостійкі властивості наплавленого шару.

З огляду на це, було підготовлено три окремі суміші (шихти): суміш 1, суміш 2 та суміш 3, кожна з яких має власний відстоковий вміст бажаних елементів по відношенню до маси наплавленого шару з врахуванням усіх хімічних складових внесених порошків та наплавленого матеріалу (див. таблицю 2.4).

Таблиця 2.4 – Вміст елементів по відношенню до маси наплавленого шару

Вміст внесених елементів	Суміш/зразок 1	Суміш/зразок 2	Суміш/зразок 3
Вуглець С, %	0,4	0,8	0,8
Хром Cr, %	2	5	10
Молибден Мо, %	0,5	1	1
Ванадій V, %	-	1	1
Карбід бору В ₄ С, %	1	-	-

У всіх випадках вуглець вносився до суміші у вигляді порошку графіта; легуючі елементи (хром, молібден, ванадій) – відповідно у вигляді порошоків ферохрому за ГОСТ 4757-91, феромолібдену за ГОСТ 4759-91, ферованадію за ГОСТ 27130-94; карбід бору – у вигляді порошка.

Для нанесення підготовленої суміші та наплавлення було виконано три зразки з розмірами 60x20x8 мм зі сталевого листа (сталь 45) за ГОСТ 19903-2015.

Кожна підготовлена суміш (попередньо ретельно перемішана) наносилась на зразки у вигляді суспензії, в якій роль рідкого дисперсійного середовища виконував силікатний клей (рідке скло за ГОСТ 13078-81), а роль твердої дисперсної фази – порошкова шихта.

Таким чином, на цьому етапі підготовки було отримано три зразки з нанесеними суспензіями: зразок 1 з вмістом 0,4% вуглеця, 2% хрома, 0,5% молібдена; 1% карбіда бора; зразок 2 з вмістом 0,8% вуглеця, 5% хрома 1% молібдена, 1% ванадію; зразок 3 з вмістом 0,8% вуглеця, 10% хрома 1% молібдена, 1% ванадію (див. таблицю 2.4 і рисунок 2.9).

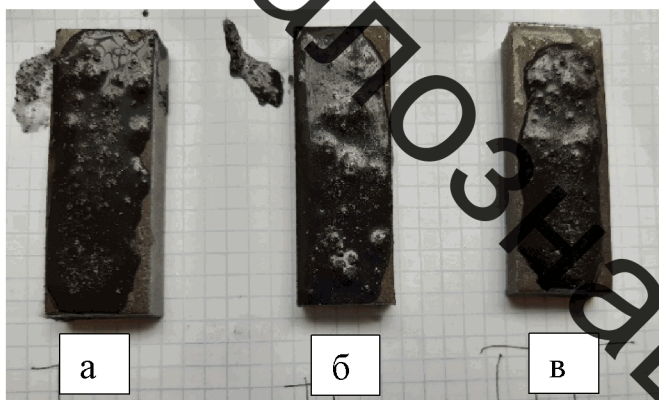


Рисунок 2.9 – Зразки з нанесеними суспензіями.

а– зразок 1; б – зразок 2; в – зразок 3

Нанесена суспензія повинна бути досить в'язкою, що обумовлюється зручністю нанесення покриття.

Через деякий час після після нанесення суспензії, зразки просушувалися у пічці протягом 1 год при температурі 300°C. Результат просушки показано на рисунку 2.10.

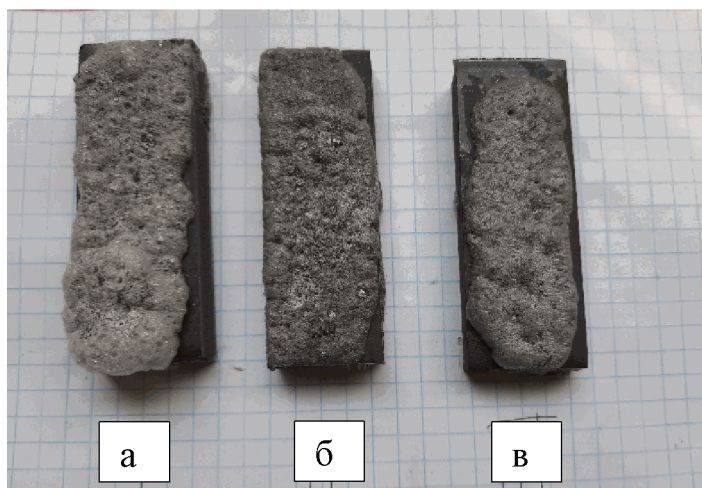


Рисунок 2.10 – Зразки з нанесеними суспензіями після просушки:

а – зразок 1; б – зразок 2; в – зразок 3

2.5 Проведення експерименту

Процес наплавлення для підготовлених проводився на наплавочній установці УД-209М у середовищі вуглекислого газу (рисунки 2.11 і 2.12). У якості наплавочного дроту використовувався обміднений дріт Св-08Г2С діаметром 1,2 мм. Для всіх зразків було обрано однаковий режим наплавлення: сила струму – 100 А, напруга – 25 В, швидкість наплавлення – 5 м/год.

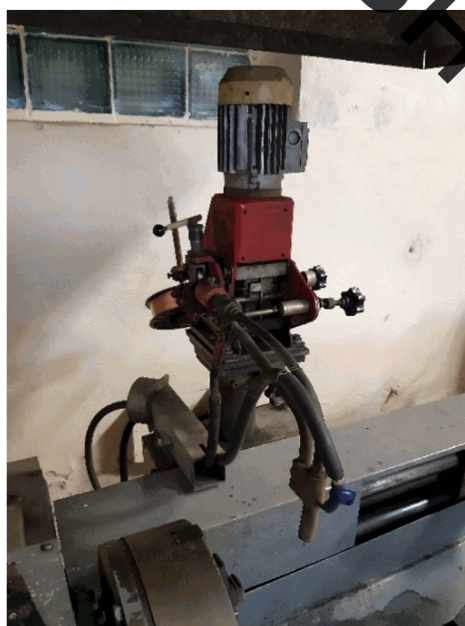


Рисунок 2.11 – Наплавочна головка установки УД-209М

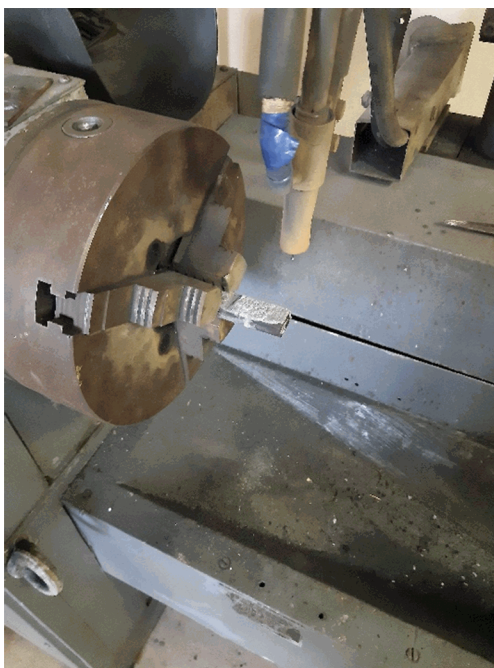


Рисунок 2.12 – Зафіксований зразок в кулачковому патроні наплавочної установки УД-209М

Результат наплавлення при заданих режимах показано на рисунку 2.13.



Рисунок 2.13 – Наплавлені зразки:
а – зразок 1; б – зразок 2; в – зразок 3

З рисунка 2.13 видно, що наплавлені валки по ширині рівномірні, без явних зовнішніх дефектів: підрізів, раковин та тріщин.

2.6 Аналіз отриманих результатів по наплавленню дослідних зразків

З метою дослідження мікроструктури наплавлених зразків, було підготовлено мікрошліфи стандартним методом. Мікроструктура досліджувалась за допомогою мікроскопа МІМ-8 (рисунок 2.14). Фіксування зображень й переведення їх у цифровий вигляд здійснювалось за допомогою спеціальної камери-окуляра та засобами ЕОМ.



Рисунок 2.14 – Оптичний мікроскоп МІМ-8

Мікротвердість дослідних зразків визначалась з допомогою мікротвердоміра ПМТ-3 при навантаженні 50 г (рисунок 2.15, а). Далі отриманні значення відбитків діагоналей переводились у значення мікротвердості за ГОСТ 9450-76. Інтегрована твердість вимірювалась твердоміром ТК-2М (рисунок 2.15, б).

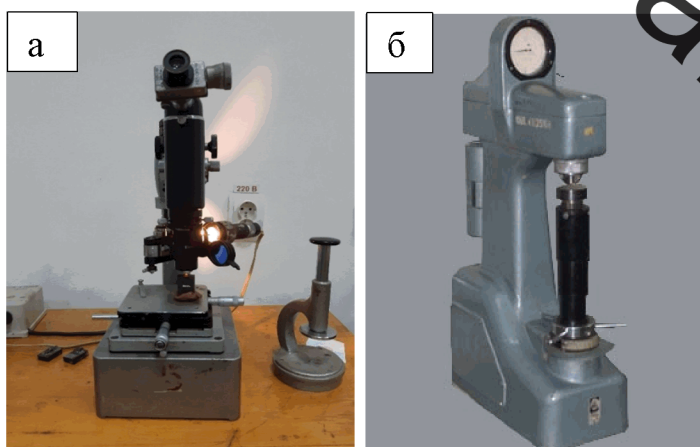


Рисунок 2.15 – Вимірювання твердості зразка:
а – мікротвердомір ПМТ-3; б – твердомір ТК-2М

Крок вимірювання було прийнято 0,1 мм, напрямок вимірювання – від початку наплавленого валка до основного металу. Для встановлення тенденції зміни мікротвердості були побудовані експоненціальні лінії тренду.

Мікроструктуру зразка 1 показано на рисунку 2.16.

З рисунка 2.14, а видно, що структура основного металу ферито-перлітна, характерна для сталі 45. Для перехідної зони (рисунок 2.16, б) характерно подібнення структури, перехід до наплавленого шару – плавний. Наплавлений шар (рисунок 2.16, в) має гарну дрібнозернисту структуру, яка містить у своєму складі карбіди та борида. Інтегрована твердість наплавленого шару складає 44 HRC.

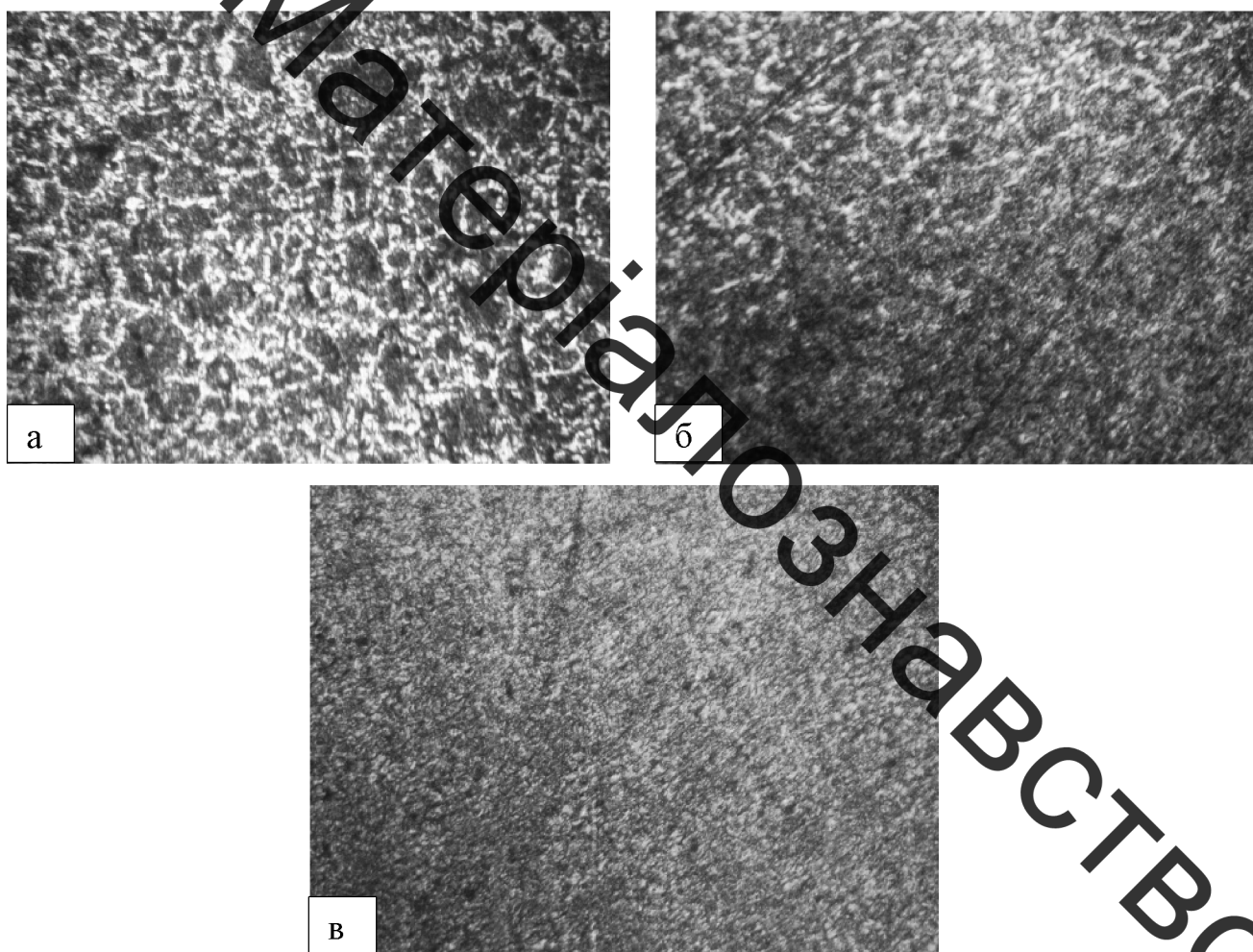


Рисунок 2.16 – Мікроструктура зразка 1 (x150):

а – основний метал; б – перехідна зона; в – наплавлений метал

Утворенню дрібнозирнистої структури в наплавленому шарі сприяло введення карбідів бора, які у свою чергу мають схильність до утворення комплексних боридів та карбідів. Це дозволило підвищити твердість структурних складових. Наявність таких структур можна перевірити мікротвердістю.

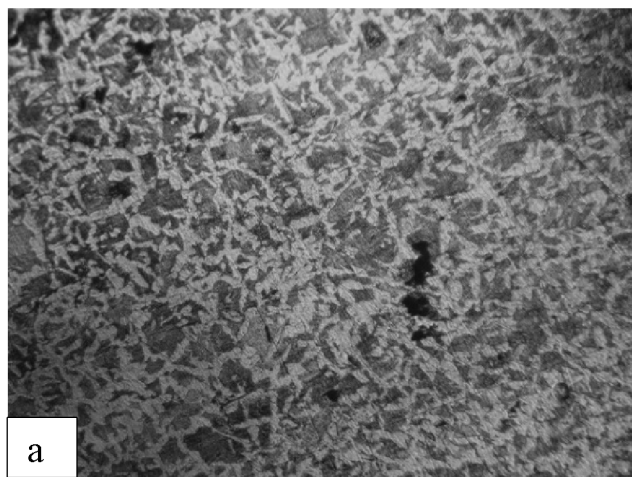
Графік мікротвердості показано на рисунку 2.17.



Рисунок 2.17– Мікротвердість зразка 1

З рисунка 2.17 видно, що мікротвердість поступово знижується у напрямку до основного металу.

Мікроструктуру зразка 2 показано на рисунку 2.18.



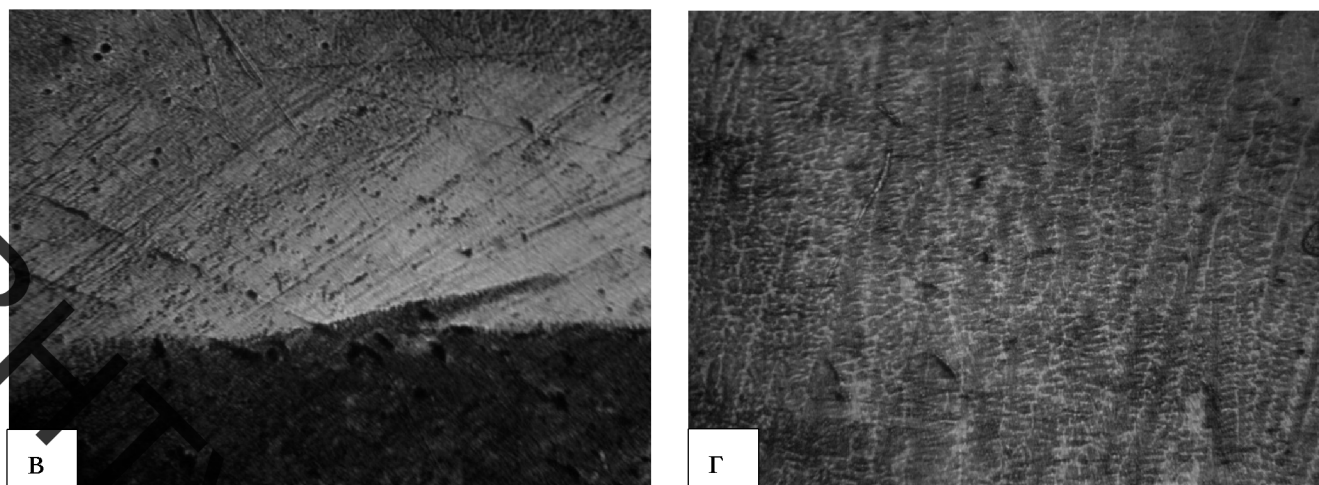


Рисунок 2.18 – Мікроструктура зразка 2 (x150):

а – основний метал; б – перехідна зона; в – перехідна зона-наплавлений метал; г – наплавлений метал

З рисунка 2.18, а видно, що структура основного металу ферито-перлітна, а перехідна зона має графітові включення (рисунок 2.18, б). Крім того, спостерігається чітка межа переходу між наплавленим шаром та перехідною зоною (рисунок 2.18, в). Для напавленого шару характерна цементитна та складна карбідна структура (рисунок 2.18, г). Інтегрована твердість напавленого шару – 55 HRC.

Графік мікротвердості показано на рисунку 2.19.

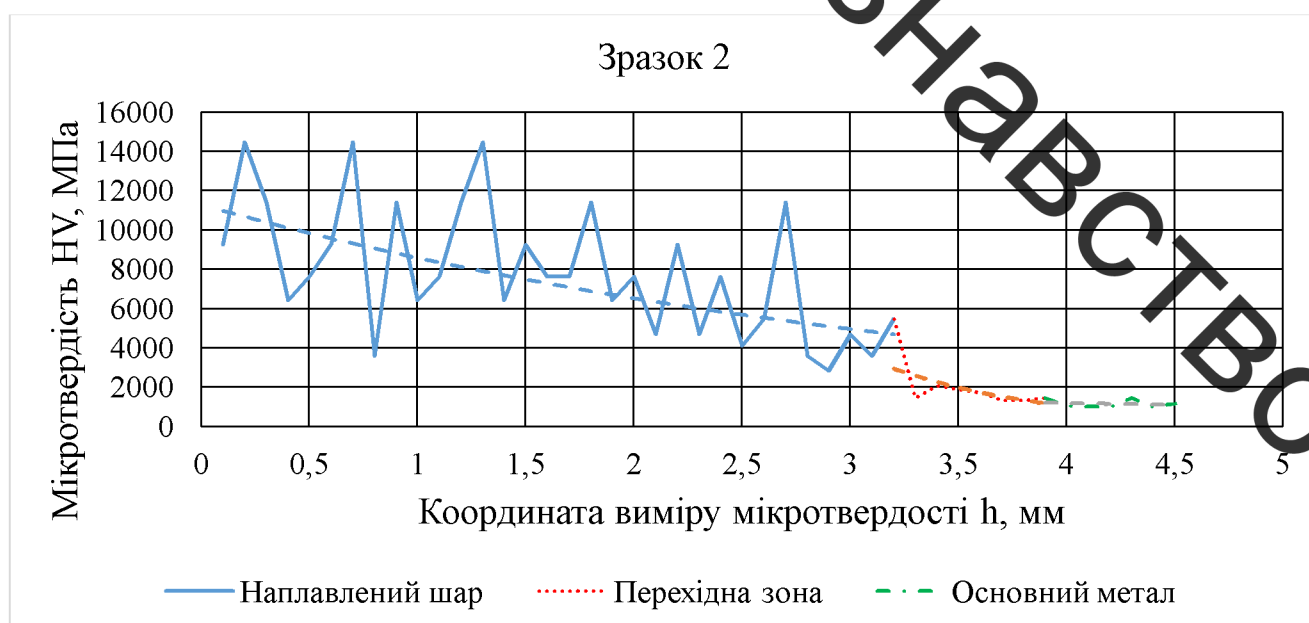


Рисунок 2.19– Графік мікротвердості зразка 2

З рисунка 2.19 видно, що мікротвердість поступово знижується у напрямку до основного металу, при цьому зміна мікротвердості при переході з наплавленої зони до перехідної досить різка.

Мікроструктуру зразка 3 показано на рисунку 2.20.

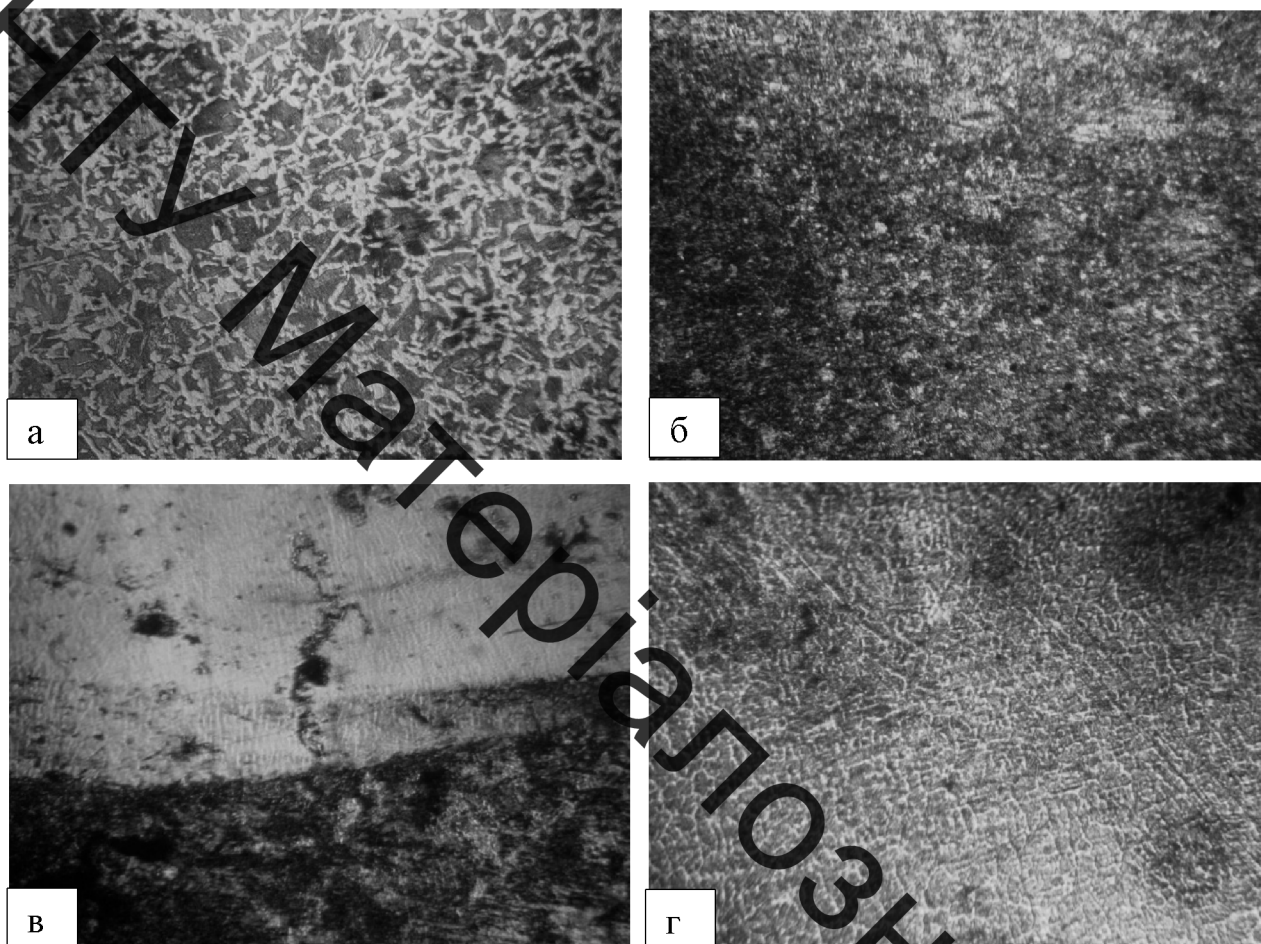


Рисунок 2.20 – Мікроструктура зразка 3 (x150)

а – основний метал; б – перехідна зона; в – перехідна зона-наплавлений метал; г – наплавлений метал

З рисунка 2.20 видно, що структура основного металу (рисунок 2.20, а) ферито-перлітна, а перехідна зона має перлітну структуру (рисунок 2.20, б). Крім того, спостерігається чітка межа переходу між наплавленим шаром та перехідною зоною (рисунок 2.20, в). Для наплавленого шару характерна цементитна та складна карбідна структура. Інтегрована твердість наплавленого шару – 60 HRC.

Графік мікротвердості показано на рисунку 2.21.

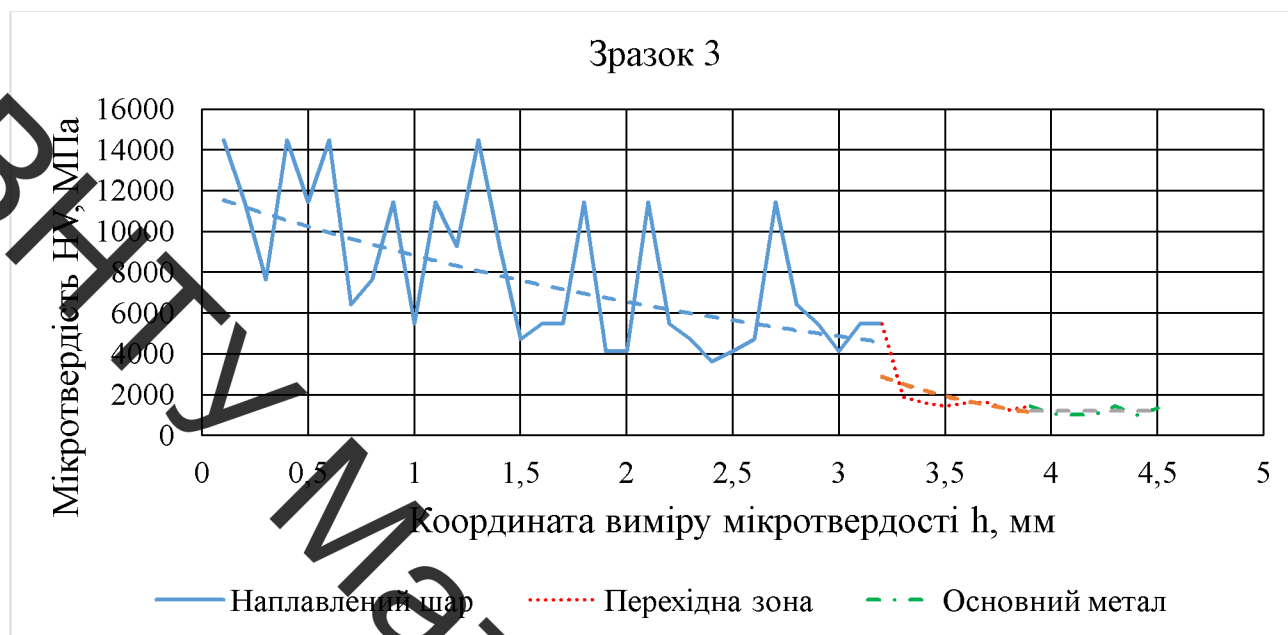


Рисунок 2.21 – Графік мікротвердості зразка 3

З рисунка 2.21 видно (аналогічно зразку 2), що мікротвердість поступово знижується у напрямку до основного металу, при цьому зміна мікротвердості при переході наплавлений шар – перехідна зона також різка.

Діаграму залежності твердості від вмісту внесених елементів зображено на рисунку 2.22.

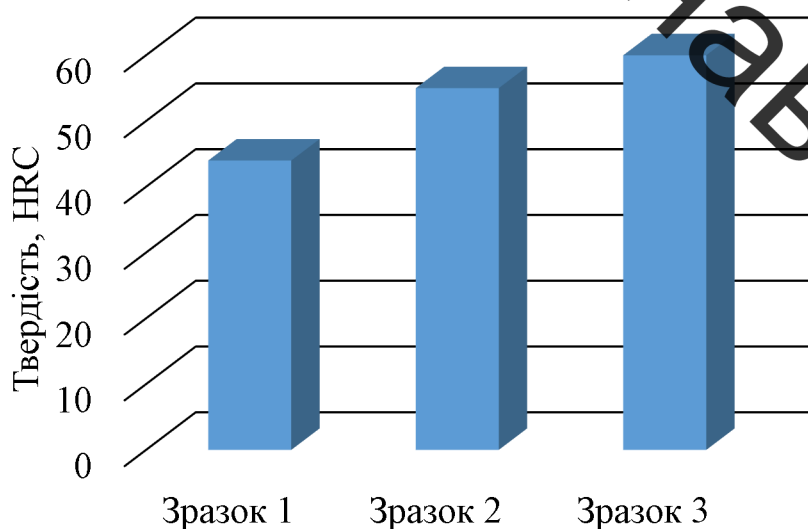


Рисунок 2.22 – Діаграма твердості дослідних зразків

2.7 Висновки до розділу 2:

В даному розділі проведено триботехнічне дослідження зносостійкості поверхонь в умовах, які імітують процес екструзії (сухе тертя у середовищі дерев'яної стружки та тирси під тиском), що дозволило встановити наступне: зі збільшенням твердості поверхні, збільшується стійкість до механічного зносу. Побудовані відповідні криві зносу та графіки інтенсивності зношування зразків.

Розроблено математичну модель, яка теоретично показує, що тиск вздовж витка шнека збільшується по експоненціальному закону.

Для наплавлення було підготовлено три зразка зі сталі 45, на поверхні яких наносилися суміші (легувальні комплекси Cr-Mo-V-C та Cr-B₄C-Mo-C) у вигляді суспензій на основі рідкого скла. Наплавлення зразків проведено при швидкості 5 м/год та силі струму 100 А у середовищі вуглекислого газу дротом Св-08Г2С, в результаті чого отримано покриття з різною твердістю: для першого зразка (Cr-B₄C-Mo-C – 2% хрому, 1% карбиду бору, 0,5% молібдену та 0,4% вуглецю) твердість наплавленої поверхні склала 44 HRC; для другого зразка (Cr-Mo-V-C – 5% хрому, 1% молібдену, 1% ванадію, 0,8% вуглецю) – 55 HRC; для третього зразка (Cr-Mo-V-C – 10% хрому, 1% молібдену, 1% ванадію, 0,8% вуглецю) твердість поверхні склала 60 HRC – на 5 одиниць по HRC вища, ніж другого зразка, що зумовлено різним вмістом хрому (при однаковому вмісті інших внесених елементів). Для наплавлених шарів видимі дефекти, мікро- та макротріщини – відсутні.

Отже, легувальні комплекси Cr-B₄C-Mo-C і Cr-Mo-V-C дозволяють при наплавленні маловуглецевими матеріалами значно підвищувати твердість та зносостійкість. Поряд з різною твердістю при застосуванні різних легувальних систем виникають відмінності в структурі наплавлених покриттів: для першого зразка структура наплавленого металу дрібнозерниста з карбідами та м'яркою матрецею, переходи між зонами – плавні; для другого і третього зразка структура представлена складними карбідами та м'яркою матрецею, спостерігається чітка границя розподілу між наплавленим металом та перехідною зоною. Побудовані графіки мікротвердості та діаграма твердості дослідних зразків.

3 РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ШНЕКА ЕКСТРУДЕРА

3.1 Призначення деталі

За своєю формою, конструкцією і технологічними ознаками деталь відноситься до класу шнеків.

Дана деталь використовується у прес-екструдерах для виробництва паливних пелет. Шнек екструдера є основним робочим органом. Обертаючись, він забезпечує пересування маси дерев'яної стружки в канавках, утвореними витками, і у місці виходу каналу екструдера спресовує стружку через отвори матриці, формуючи таким чином пелети [1].

Розглянемо всі поверхні шнека та їхнє призначення, використовуючи рисунок 3.1.

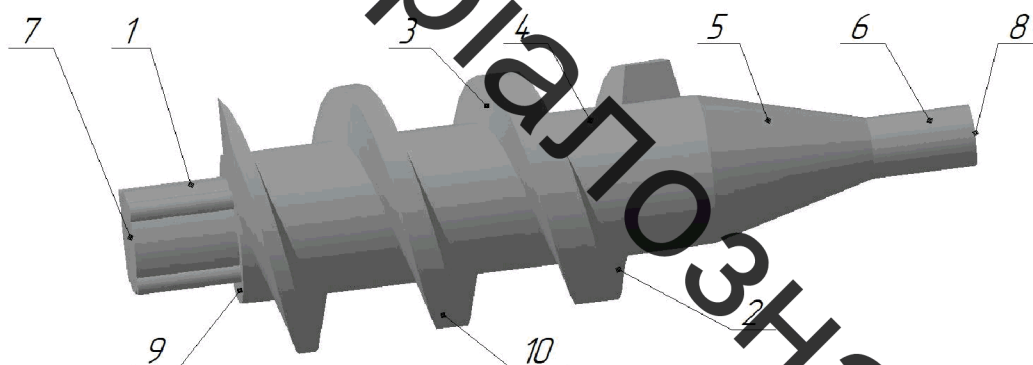


Рисунок 3.1 – Позначення поверхонь шнека екструдера

Поверхня 1 слугує для закріплення деталі в центрально-затискному патроні екструдера, забезпечуючи просторову орієнтацію шнека. Тобто поверхня є основою.

Поверхня 2 і 3 є відповідно внутрішньою і зовнішньою поверхнею витків деталі (шнек має три витки). Разом з поверхнями 4 і 10 вони забезпечують переміщення стружки вздовж каналу шнека. Поверхнею 2 відбувається пресування пелет. Такими чином, ці поверхні є виконавчими.

Конічна поверхня 5 є вільною, а поверхня 6 є допоміжною, оскільки визначає положення матриці екструдера.

Поверхні 7, 8 і 9 є торцевими. Торець 9 упирається в центрально-затискний патрон, додатково фіксуючи шнек.

Крім того, до поверхні витків 10 і поверхні 9 висуваються допуски розташування: відповідно радіальне биття 0,5 мм й торцеве биття 0,8 мм відносно осі деталі.

До всіх поверхонь висуваються такі вимоги: шорсткість поверхонь не більше як $R_a=12,5$ мкм, виконання поверхонь за чотирнадцятим квалітетом точності.

3.2 Матеріал деталі та його властивості

Шнек екструдера виготовлений з ливарної сталі 45Л ГОСТ 977–88.

Сталь 45Л належить до середньовуглецевих і характеризується гарними ливарними властивостями, які дозволяють вилити деталі складної форми. Особливості структурних перетворень цієї сталі дозволяють для отримання необхідних властивостей широко застосовувати термічну обробку [29].

Хімічні властивості сталі 45Л наведені в таблиці 3.1 [30].

Таблиця 3.1– Хімічний склад сталі 45Л

Вміст елементів %							
Вуглець, C	Кремній, Si	Мідь, Cu	Марганець, Mn	Хром, Cr	Нікель, Ni	Фос- фор P	Сірка, S
					Не більше		
0,42– 0,5	0,2–0,52	до 0,3	0,4–0,9	до 0,3	до 0,3	до 0,04	до 0,045

Механічні властивості сталі 45Л наведені в таблиці 3.2 [31].

Таблиця 3.2 – Механічні властивості сталі 45Л

Твердість за Брінеллем, НВ	Допустима міцність, МПа	Допустима текучість, МПа	Відносне видовження, δ %	Відносне звуження, ψ %
255-159	600	350	10	18

3.3 Якісна характеристика технологічності

Деталь «шнек» виготовлена з ливарної середньовуглецевої сталі 45Л ГОСТ 977–88 способом лиття. З креслення деталі бачимо (див. додаток В), що вона має складну геометрію: кінцева форма витків зі змінним профілем з постійним кроком. З точки зору механічної обробки шнеки – нетехнологічні в частині обробки бічних поверхонь витків. Як правило, таку обробку виконують фрезеруванням або точінням, для якого необхідні фасонні різці.

Нетехнологічним в даному шнеку є поверхні витків за номером 2, 3 та 10 (див. рисунок 3.1), для обробки яких необхідне фрезерування відповідними фрезами. Ускладнює обробку конусність витків шнека та змінний профіль витків. Крім того, в литій деталі не передбачено центровочних отвір, які необхідні для проведення обробки. Тому слід додатково виконати центрувальні отвори за ГОСТ 14034–74 при необхідності проведення токарних, фрезерувальних та (або) інших операцій при відновленні деталі.

Технологічними базовими поверхнями даної деталі є поверхня 1, яка слугує для закріплення шнека в прес-екструдері, та поверхня 6 (див. рисунок 3.1).

Зменшує собівартість даної деталі те, що вона після лиття, як правило, не піддається термічній і механічній обробці.

На основі проведеного аналізу можна сказати, що в цілому деталь «шнек» не є досить технологічною, що пов'язано зі складністю обробки витків.

3.4 Кількісна характеристика технологічності

Кількісний аналіз технологічності деталі проводиться за наступними показниками: коефіцієнт уніфікації, коефіцієнт точності, коефіцієнт шорсткості [32].

Вихідні дані, які необхідні для проведення кількісного аналізу деталі, наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані деталі «шнек»

Лінійні розміри	Діаметральні розміри	Кутові розміри	Шорсткість	Квалітет
205*	R2,5	45°(2) *	Ra 12,5 (10 пов)*	14 (10 пов)
25 (2)*	R2,5			
110	Ø15*			
35 (2)*	Ø35*			
5	Ø25*			
7	R2,5*			
10				
$\Sigma_{\text{заг.}} = 9$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 6$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 2$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 10$	
$\Sigma_{\text{уніф.}} = 5$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 4$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 2$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 10$	

Примітка: позначення «*» мають уніфіковані розміри.

Використовуючи таблицю 3.3, за методикою праці [32] визначимо кількісні показники технологічності. Результати розрахунків внесено до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Кількісні показники технологічності

Коефіцієнт уніфікації, K_y	Коефіцієнт точності, $K_{т.ч}$	Коефіцієнт шорсткості, $K_{ш}$	Середня шорсткість	Середній квалітет
0,78	0,93	0,08	Ra 12,5	14

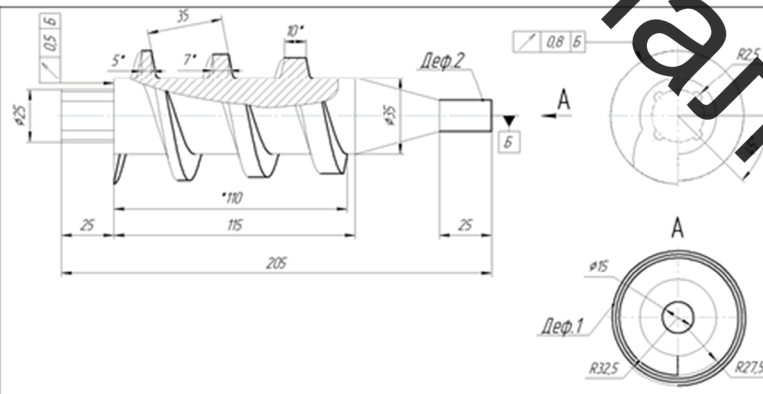
Оскільки розраховані показники (див. таблицю 3.4) $K_y=0,78>0,6$; $K_{т.ч.}=0,93>0,8$; $K_{ш}=0,08<0,32$, то деталь за кількісними характеристиками є технологічною.

3.5 Дефектування деталі

Дефект 1 та дефект 2 відносяться до механічного зносу поверхні та є виправними (див. додаток Г). Дефект 1 розташовується на внутрішній поверхні витків шнека. Знос є нерівномірним, при чому в радіальному та аксіальному напрямках: у місці виходу шнека спостерігається найбільший знос (зона найбільшого тиску, в якій відбувається пресування пелет зі стружки). Тому значення зносу приймаємо за величиною зносу крайнього найбільш зношеного витка (див. таблицю 3.5).

Крім того, на обох поверхнях присутні сліди нагару, що є також результатом механічного зносу в умовах великих тисків і сухого тертя стружки по поверхні шнека.

Таблиця 3.5 – Дефектування шнека екструдера

			Найменування деталі або складальної одиниці		Позначення
			Шнек		
			Матеріал		Твердість
			45Л		НВ 255-159
Позиція на ескізі	Можливий дефект	Спосіб вивчення дефекту і засоби контролю	Розмір, мм		Висновок
			по робочому кресленню	допустимий без ремонту	
1	Знос внутрішніх поверхонь витків	Зовнішній огляд Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-89	10 _{-0,36}	9 _{-0,36}	Відновлювати
2	Знос поверхні	Зовнішній огляд Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-89	Ø15 _{-0,43}	Ø14.5 _{-0,43}	Відновлювати

3.6 Визначення типу ремонтного виробництва

За методикою праці [32] для визначення типу виробництва й проведення оцінки розраховані показники, які містяться в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Показники ремонтного виробництва

Коефіцієнт спеціалізації	29
Такт випуску, хв	108
Величина запуску партії деталей, шт	50
Річний випуск деталей, шт	2000

Відповідно до коефіцієнта спеціалізації, зазначеного в таблиці 3.6, даний тип виробництва відноситься до середньо-серійного. За ГОСТ 3.1108-84 коефіцієнт закріплення операцій приймаємо рівним 15.

3.7 Вибір та технічне обґрунтування методів, обладнання та матеріалів для відновлення деталі

Проаналізувавши дефекти, які виникають у ході експлуатації деталі, та умови роботи шнека під час екструзії, обираємо такий метод відновлення: для дефекту 1 – автоматичне наплавлення у середовищі вуглекислого газу зношених робочих (внутрішніх) поверхонь витків шнека, оскільки нанесене покриття повинно мати високу зносостійкість та витримувати досить великі контактні напруження; для дефекту 2 – плазмове напилення циліндричної поверхні деталі, яка визначає положення шнека в матриці екструдера (див. таблицю 3.5). Такий спосіб дозволяє наносити покриття без суттєвого термічного впливу, у порівнянні з наплавленням, враховуючи діаметр зношеної поверхні [33].

З огляду на це, для проведення процесу наплавлення деталі обираємо універсальний наплавочний верстат У-653М, для напилення – установку для автоматичного плазмового напилення ТСЗП-МФ-Р-1000.

У якості матеріалу для наплавлення обираємо наплавочний дріт НП-40 Х2Г2М за ГОСТ 10543-98. Наплавлена поверхня таким дротом має твердість 39-42 HRC, після гартування – 54-56 HRC, що сприяє підвищенню зносостійкості поверхні деталі в умовах екструзії [34]. Тому для проведення поверхневого гартування СВЧ обираємо індуктор СЧВ – 15В (гартування при частоті 10 кГц) [35].

У якості матеріалу для плазмового напилення обираємо порошок ПГ-12-Н-01 за ГОСТ 21448-75 (густина порошка – 0,0088 г/мм³), який забезпечує твердість напиленої поверхні в межах 35-40 HRC [34].

Для очищення деталі перед напавкою (від вуглецевого нагару) та після напавки (від металевих бризків) обираємо установку для електроімпульсної обробки УПП–25, яка здійснює обробку у середовищі лугів і дозволяє проводити наступну промивку деталі мийним розчином «Лабомід 102» [36].

3.8 Визначення кількості переходів та операцій відновлення поверхонь

Для дефекту 1 розмір становить $10h14(0_{-0,360})$. Оскільки даний дефект відновлюється наплавленням у середовищі вуглекислого газу, то приймаємо такі граничні допуски – $T_{заг} = 900$ мкм, $T_{дет} = 360$ мкм.

Для дефекту 2 розмір становить $\varnothing 15h14(0_{-0,430})$. Даний дефект будемо відновлювати плазмовим напиленням. Для плазмового напилення обираємо граничні допуски – $T_{заг} = 300$ мкм, $T_{дет} = 430$ мкм.

З огляду на це, приймаємо, що після наплавлення та напилення необхідно виконати чорнову обробку в один прохід: для обробки напавленої поверхні – фрезерування, для напиленої поверхні – токарна обробка [37].

3.9 Розрахунок припусків на переходи механічної обробки

При визначенні припусків застосовано розрахунково-аналітичний метод, наведений у працях [37,38].

Усі розраховані і прийняті значення за цим методом для наплавленої поверхні містяться у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Припуски та граничні розміри

Маршрут обробки поверхні товщиною $10h14(0_{-0,360})$	Елементи припуску, мкм				Розрахункові величини		Допуск на виконуваний розміри, мкм	Прийняті (округлені) розміри заготовки по переходах, мм		Граничний припуск, мкм	
	Rz	H	ρ_{Σ}	ε	припуск у $2Z_b$, мкм	мінімальної товщини, мм		найбільші	найменші	$2Z_{max}$	$2Z_{min}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Наплавлення	200	300	430			11,64	900	12,54	9,64		
Фрезерування: Чорнове	50	50	25,8	250	2000	9,64	360	10	9,64	2540	2000

Потрібно зазначити, що після напилення необхідно зняти дефектний шар напиленої поверхні, дотримуючись шерсткості $Rz = 50$ (чорнове точіння в один прохід), тому що плазмове напилення забезпечує необхідний граничний допуск для $\varnothing 15h14(0_{-0,430})$.

На основі цього, можна визначити необхідну товщину наплавленого й напиленого шару покриття з врахуванням дефектного шару та припуску (таблиця 3.8).


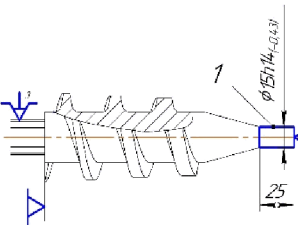
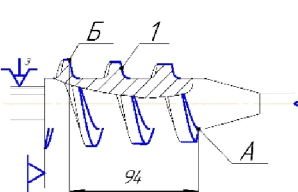
Таблиця 3.8 – Визначення необхідної товщини покриття

Поверхня	Відновлення	Механічна обробка	Знос, мм	Припуск на обробку, мм	Товщина покриття, мм
$10h14(0_{-0,360})$	Наплавлення	Чорнове фрезерування	2	1,2	4,3
$\varnothing 15h14(0_{-0,430})$	Напилення	Чорнове точіння	1,2	0,6	1,2

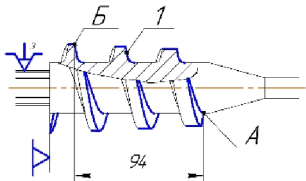
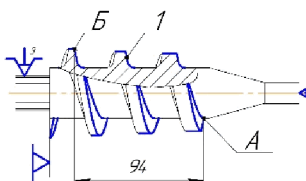
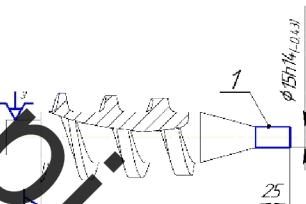
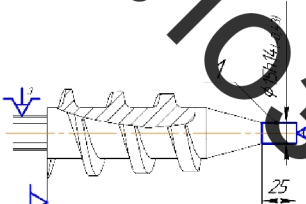
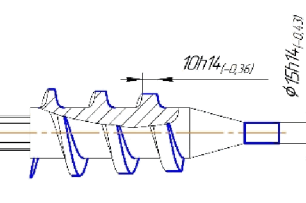
3.10 Формування маршруту відновлення деталі

Відповідно до результатів дефектування і технології відновлення дефектів, складаємо маршрут операцій відновлення поверхні витків шнека, який можна представити у вигляді таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Маршрут відновлення деталі

№	Наменування операцій та технічних переходів	Схема встановлення	Обладнання
005	<p>Очищення</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити деталь; 2. Обробити деталь провідними лугів; 3. Промити розчином "Абоніда-102"; 4. Зняти деталь. 		Установка електроімпульсної обробки УПІ-25
010	<p>Дефектувальна</p> <p>Дефектувати деталь та визначити всі дефекти, які потрібно відновити</p>		Стіл контрольний
015	<p>Токарна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Центрувати та виконати центр. отв. А2,5 ГОСТ-14034-74 на вільному торці. 		Токарно-гвинторізний верстат 16К20Ф3
020	<p>Токарна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Точити 0,3 мм пов.1 на відстань 25 мм; 3. Зняти деталь. 		Токарно-гвинторізний верстат 16К20Ф3
025	<p>Фрезерування</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Фрезерувати 2,3 мм пов.1 витків з точки А у точку Б на радіусі R21; 3. Зняти деталь. 		<ol style="list-style-type: none"> 1. Універсальний фрезерний верстат Нурко WMx 42i; 2. Поворотний стіл Kitagawa MR 320.

Продовження таблиці 3.9

<p>Наплавлення</p> <p>030</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Наплавити на пов.1 витків шар товщиною 2 мм з точки Б у точку А; 3. Наплавити на пов.1 витків шар товщиною 1,5 мм з точки Б у точку А ; 4. Зняти деталь. 		<p>Універсальний наплавочний верстат Ч-653М</p>
<p>Фрезерування</p> <p>035</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Фрезерувати 1,2 мм пов.1 витків з точки А у точку Б на радіусі R21; 3. Фрезерувати верхній витків у розмір відповідно до креслення деталі; 4. Зняти деталь. 		<ol style="list-style-type: none"> 1 Універсальний фрезерний верстат Нугсо WMx 42i; 2 Поворотний стіл Kitagawa MR 320.
<p>Напилювальна</p> <p>040</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Напилити 1,2 мм пов.1 на відстань 25 мм; 3. Зняти деталь. 		<p>Установка для плазмового напилювання ТСЗП-МФ-Р-1000</p>
<p>Токарна</p> <p>045</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Точити 0,3 мм пов.1 на відстань 25 мм; 3. Зняти деталь. 		<p>Токарно-звинтарізний верстат 16К20Ф3</p>
<p>Гартувальна</p> <p>050</p> <p>Гартувати протягом 3 с струмом частотою 10 кГц з охолодженням у воду</p>		<p>Індуктор ІЧБ-15В</p>
<p>Контрольна</p> <p>055</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити деталь; 2. Контролювати розмір 10h14; 3. Контролювати розмір 15h14; 4. Контролювати розмір витків відповідно до креслення деталі; 5. Зняти деталь. 		<p>Стіл контрольний</p>

3.11 Розрахунок та призначення режимів попередньої механічної обробки та обробки після нанесення покриття

Попередня механічна обробка та наступна обробка після наплавлення здійснюється способом фрезерування. Для цього попередньо обирається універсальний фрезерний верстат з ЧПК Hurco WMx 42i з поворним столом Kitagawa MR 320, забезпечуючи обробку в 4-х осях. Це дозволяє проводити фрезерування внутрішніх поверхонь витків шнека наступним чином: шнек закріплюється в патроні поворотного стола і підпирається рухомим центром [39].

За рахунок шпинделя поворотного стола шнек обертається, при цьому стіл поздовжньо рухається. Таким чином відбувається поєднання поступального і обертового руху шнеку. Одночасно фреза обертається у шпинделі верстата (інших рухів вона не має), фрезеруючи внутрішні витки шнека.

Для обробки обираємо кінцеву фрезу з конічним хвостовиком (за ГОСТ 17026–71) з наступними параметрами (тип 2) [40]:

число зубів – 3;

діаметр – 14 мм;

довжина фрези – 111 мм;

довжина ріжучої частини – 26 мм;

матеріал фрези для попередньої обробки – Т5К10 (твердосплав);

матеріал фрези для обробки після наплавлення – ВК8 (твердосплав).

Оскільки знос шнеку по довжині неоднаковий, сфрезеруємо витки по найбільшому зносу з врахуванням дефектного шару 0,3 мм (тобто 2,3 мм) на відстань 94 мм від початку найбільш зношеного витка у сторону хвостовика (необхідно виконати два оберта шнека) на рівні витків R21. Таким чином, забезпечується рівномірність зносу, що необхідно при наплавленні. Після наплавлення необхідно сфрезерувати напливи на діаметрі витків.

Попередня механічна обробка та наступна обробка після напилення здійснюється точінням на токарно-гвинторізному верстаті з ЧПК 16K20Ф3 [40]. Для

попереднього точіння обираємо правий прохідний різець з матеріалу Т5К10, для наступного (після напилення) – правий прохідний різець з матеріалу ВК8.

Перед точінням і фрезеруванням необхідно виконати центровочний отвір А2,5 за ГОСТ – 14034–72 на вільному торці шнека для забезпечення жорсткості закріплення.

Розрахуємо режими для попередньої і наступної обробки. Розрахунок проводиться за методикою праці [40]. Всі розраховані і прийняті значення внесені у таблиці 3.10 – 3.13.

Таблиця 3.10 – Розрахунок режимів токарної обробки - 020

Назва режиму	Позначення	Розрахункове значення
Подача інструменту	S , (мм/об)	0,4
Глибина різання	t , (мм)	0,3
Швидкість різання	v , (м/хв)	83
Поправочний коефіцієнт	K	0,65
Частота обертання	n , (об/хв)	1600
Дійсна швидкість різання	V_d , (мм/хв)	75,4
Коефіцієнт сили різання	K_p	0,94
Сила різання P_z	P_z , (Н)	22,1
Потужність	N , (кВт)	0,28
Основний час	T , (хв)	0,04
Довжина обробки	L , (мм)	25

Таблиця 3.11 – Розрахунок режимів фрезерної обробки - 025

Назва режиму	Позначення	Розрахункове значення
Подача поворотного стола	S , (мм/хв)	216
Ширинка фрезерування	B , (мм)	8
Частота обертання поворотної головки	n_c , (об/хв)	4,7

Продовження таблиці 3.11

Глибина різання	t , (мм)	2,3
Швидкість різання	v , (м/хв)	76,9
Поправочний коефіцієнт	K_v	0,65
Частота обертання фрези	n , (об/хв)	1800
Дійсна швидкість різання	V_d , (м/хв)	79,1
Коефіцієнт сили різання	K_p	0,94
Сила різання P_z	P_z , (Н)	327
Потужність	N , (кВт)	0,42
Основний час	T , (хв)	0,43
Довжина обробки	L , (мм)	94

Таблиця 3.12 – Розрахунок режимів фрезерної обробки - 035

Назва режиму	Позначення	Розрахункове значення
Подача поворотного стола	S , (мм/хв)	264
Ширина фрезерування	B , (мм)	8
Частота обертання поворотної головки	n_c , (об/хв)	5,7
Глибина різання	t , (мм)	1,2
Швидкість різання	v , (м/хв)	96
Поправочний коефіцієнт	K_v	0,71
Частота обертання фрези	n , (об/хв)	2200
Дійсна швидкість різання	V_d , (м/хв)	96,7
Коефіцієнт сили різання	K_p	0,98
Сила різання P_z	P_z , (Н)	229
Потужність	N , (кВт)	0,36
Основний час	t , (хв)	1,22
Довжина обробки	L , (мм)	94

Таблиця 3.13 – Розрахунок режимів токарної обробки - 045

Назва режиму	Позначення	Розрахункове значення
Подача інструменту	S , (мм/об)	0,4
Глибина різання	t , (мм)	0,3
Швидкість різання	v , (м/хв)	94,26
Поправочний коефіцієнт	K_v	0,74
Частота обертання	n , (об/хв)	2000
Дійсна швидкість різання	V_d , (м/хв)	94,2
Коефіцієнт сили різання	K_p	1,1
Сила різання P_z	P_z , (Н)	252
Потужність	N , (кВт)	0,39
Основний час	T , (хв)	0,032
Довжина обробки	L , (мм)	25

3.12 Розрахунок параметрів режиму нанесення покриттів

Розрахунок режимів для наплавлення та напильнення проводиться за методикою праць [41,42]. Розраховані значення показано у таблицях 3.14-3.15.

Приймаємо, що для наплавлення одного шару необхідна кількість валків становить $i = 2$ (ширину перекриття приймаємо 30% від ширини наплавлених валків).

Напильнення проводиться під кутом до витка шнека за допомогою спеціального мундштука.

Таблиця 3.14 – Розрахунок режимів наплавлення-030

Назва	Позначення	Розрахункове значення
Сила струму	I_H , (А)	150
Напруга	U , (В)	27

Продовження таблиці 3.14

Коефіцієнт наплавлення	$\alpha_H, (г/А год)$	13,2
Коефіцієнт розплавлення	$\alpha_p, (г/А год)$	15
Виліт електродного дроту	$H, (мм)$	8
Швидкість наплавлення	$v_{H1}, (м / год)$	5
	$v_{H2}, (м / год)$	6
Частота обертання деталі	$n_1, (хв^{-1})$	0,8
	$n_2, (хв^{-1})$	0,9
Основний час наплавлення	$t_1, (хв)$	5
	$t_2, (хв)$	4,44

Враховуючи особливість плазмового напилювання, товщину шару для одного проходу приймаємо 0,6 мм, тобто процес відбувається за 2 прохода.

Таблиця 3.15–Розрахунок режимів напилювання - 040

Назва	Позначення	Розрахункове значення
Площа плями напилювання	$S, (мм^2)$	3,22
Необхідна маса порошка	$m, (г)$	25
Дистанція напилювання	$L, (мм)$	150
Лінійна швидкість напилювання	$V_L, (мм/хв)$	1648
Горизонтальна швидкість переміщення плазмотрона	$U_r, (мм/хв)$	125
Швидкість обертання деталі	$n, (об/хв)$	35
Кількість проходів	n	2
Основний час	$t, (хв)$	0,4

3.13 Нормування часу

Нормування операцій обробки поверхні здійснюється за рекомендаціями праці [43]. Усі розраховані й прийняті значення нормованого часу операцій містяться у таблиці 3.16.

Таблиця 3.16 – Нормування часу операцій

№ операції	T ₀ , хв	T _д , хв	T _{оп} , хв	T _{доп} , хв	T _{п-з} , хв	Кількість деталей	T _{шт-к} , хв
005– очисна	6	2	8	0,32	12	50	8,57
010 – дефектувальна	3	0,8	3,8	0,3	13		4,37
015– токарна	0,2	1,2	1,4	0,1	13		1,76
020–токарна	0,04	1,2	1,24	0,1	13		1,6
025–фрезерування	0,43	1,9	1,62	0,12	16		2,06
030–наплавлення	9,44	2	11,44	1,71	16		13,47
035–фрезерування	1,22	1,19	2,41	0,17	16		2,9
040–напилювання	0,4	1	1,4	0,21	16		1,93
045–токарна	0,032	1,9	1,93	0,12	13		2,31
050– поверхневе гартування СВЧ	0,18	0,45	0,63	0,031	7		0,8
055– контрольна	1	0,5	1,5	0,075	13		1,85

4 ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ

4.1 Вибір конструктивної схеми для автоматизованого нанесення покриттів

З огляду на геометрію відновлювальної деталі та зношеної поверхні, яка відновлюється плазмовим напилюванням, обираємо конструктивну схему для автоматизованого процесу нанесення покриттів, зображену на рисунку 4.1.

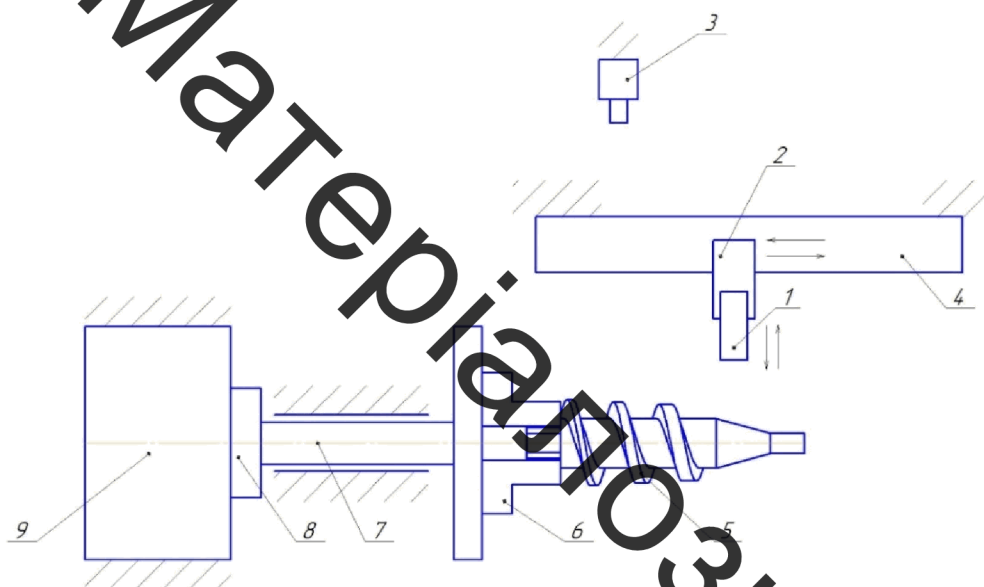


Рисунок 4.1 – Конструктивна схема установки для нанесення покриттів:

1 – напилювальний пристрій; 2 – механізм вертикального переміщення, 3 – живильник, 4 – механізм горизонтального переміщення, 5 – відновлювана деталь, 6 – пристрій закріплення деталі, 7 – вал шпинделя, 8 – муфта, 9 – електродвигун

4.2 Визначення закріплення деталі

Вибір способу закріплення деталі та її просторове положення під час нанесення покриттів визначається розмірами деталі, її вагою та розташуванням конфігурацією поверхонь, що відновлюються.

Враховуючи те, що шнек екструдера має довжину 205 мм, розташуємо його в горизонтальному положенні (остаточний вигляд конструкції попередньо показано на рисунку 4.2). Застосуємо у якості закріплювального пристрою трьохкулачковий самоцентруючий патрон 7100-0027 ГОСТ 2675-80 діаметром 160 мм, закріпленого на фланці, що приварений до валу шпинделя (зварний шов виконаний за ГОСТ 5264-80).

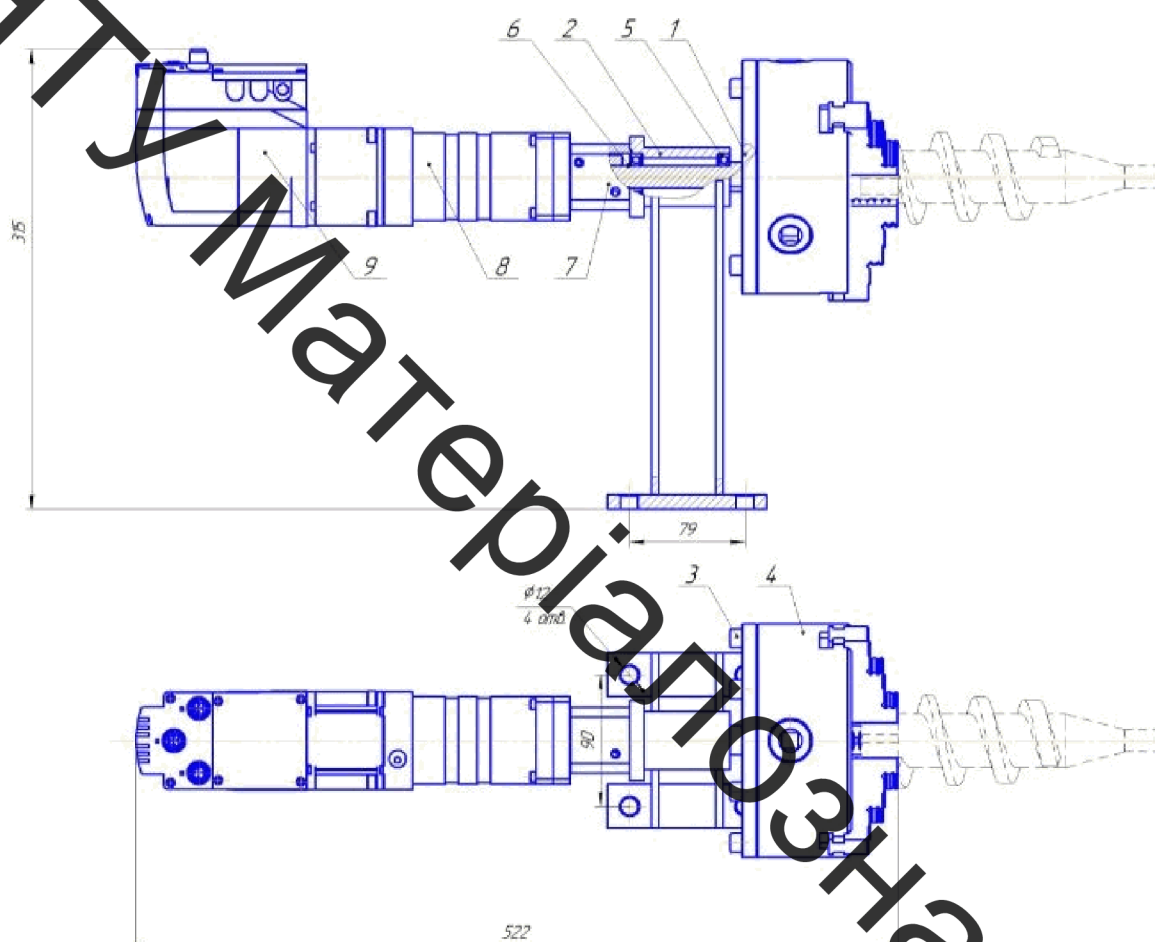


Рисунок 4.2 – Конструкція обертача:

1 – вал шпинделя з фланцем; 2 – корпус шпинделя; 3 – гвинти; 4 – кулачковий патрон; 5 – підшипник кочення; 6 – стопорне кільце; 7 – осьовий набір; 8 – редуктор;
9 – серводвигун

Для вибору електродвигуна, кріпильних елементів, розмірів та матеріалу корпусу, валу було знайдено масо-центрувальні характеристики всіх тіл, які обертаються в процесі відновлення деталі (початковими об'єктами для розрахунку

попередньо обираємо трьохкулачковий патрон та тихохідний вал) та здійснено необхідні розрахунки.

4.3 Розрахунок масо-центрувальних характеристик деталі та пристрою її закріплення

Для визначення масо-центрувальних характеристик було розроблено 3D-моделі початкових деталей (кулачковий патрон та закріплений у ньому шнек), що обертаються (рисунок 4.3).

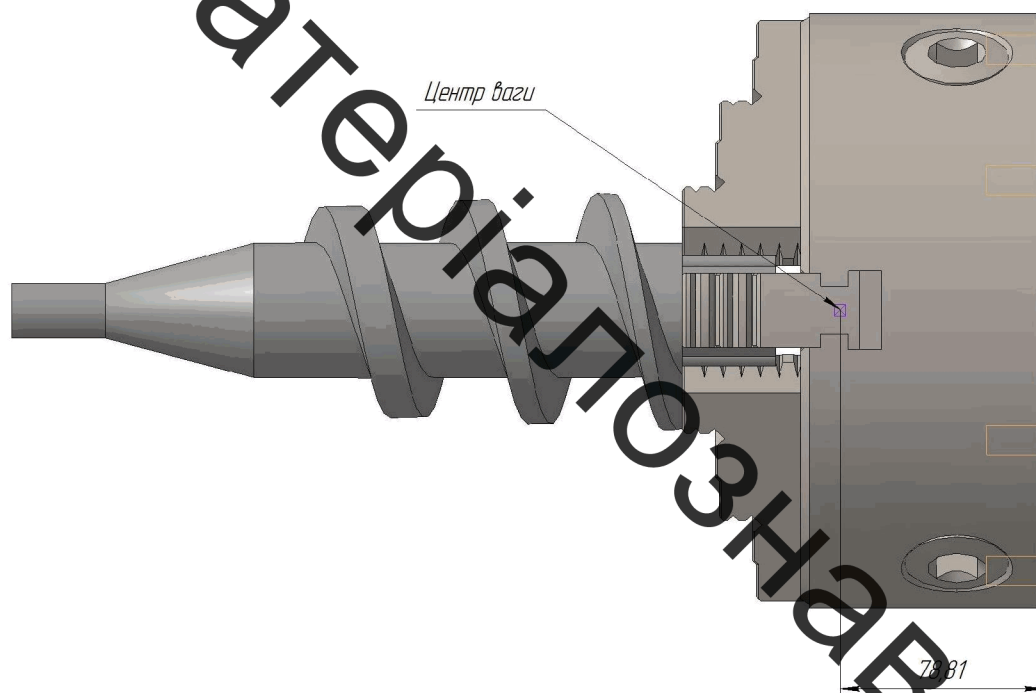


Рисунок 4.3 – 3D-модель початкових моделей, що обертаються в процесі відновлення

В програмі КОМПАС 3-D визначено масо-центрувальні характеристики:

Маса $M = 22,709$ кг ;

Площа $S = 2709,101$ см²;

Об'єм $V = 2903,988 \text{ см}^3$;

Центр мас $X_c = -0,0414 \text{ см}$;

$Y_c = 0,0411 \text{ см}$;

$Z_c = 22,783 \text{ см}$;

Моменти інерції

В центральній системі координат:

Осьові моменти інерції $J_x = 4525 \text{ кг} \cdot \text{см}^2$;

$J_y = 4525 \text{ кг} \cdot \text{см}^2$;

$J_z = 480 \text{ кг} \cdot \text{см}^2$.

На основі отриманих даних та додаткових розрахунків було обрано діаметр валу, який з конструктивних міркувань та умови міцності приймається по розміру діаметра осьового набору та валу електродвигуна, запропонованого програмою PositioningDrives компанії Festo, який становить 15 мм. Тобто приймаємо діаметр вала шпинделя 15 мм та підберемо відповідні підшипники: обираємо підшипники серії 80102 ГОСТ 7242-81 ($d = 15 \text{ мм}$, $D = 35 \text{ мм}$, $B = 9 \text{ мм}$) з вантажопідемністю $C_0 = 3500 \text{ Н}$ [44].

4.4 Розрахунок та вибір виконавчих механізмів обертача

Для розрахунку приводів обертання, горизонтального та вертикального переміщення було застосовано програму PositioningDrives компанії Festo.

Початковими даними для розрахунку обертача є момент інерції тіл, які обертаються (в нашому випадку становить $J_z = 480 \text{ кг} \cdot \text{см}^2$) та частота обертання відновлювальної деталі, яка за розрахунками становить 35 об/хв. Відстань від центра ваги мас деталей приймаємо рівною нулю, оскільки шпиндель буде сприймати усі навантаження. Час розгону приймаємо 1 с, тип привода – сервопривід змінного струму з вбудованим контролером. Також у комплекті для серводвигуна прередбачений редуктор.

Монтажне розташування – горизонтальне. Результати розрахунку відображено на рисунку 4.4.

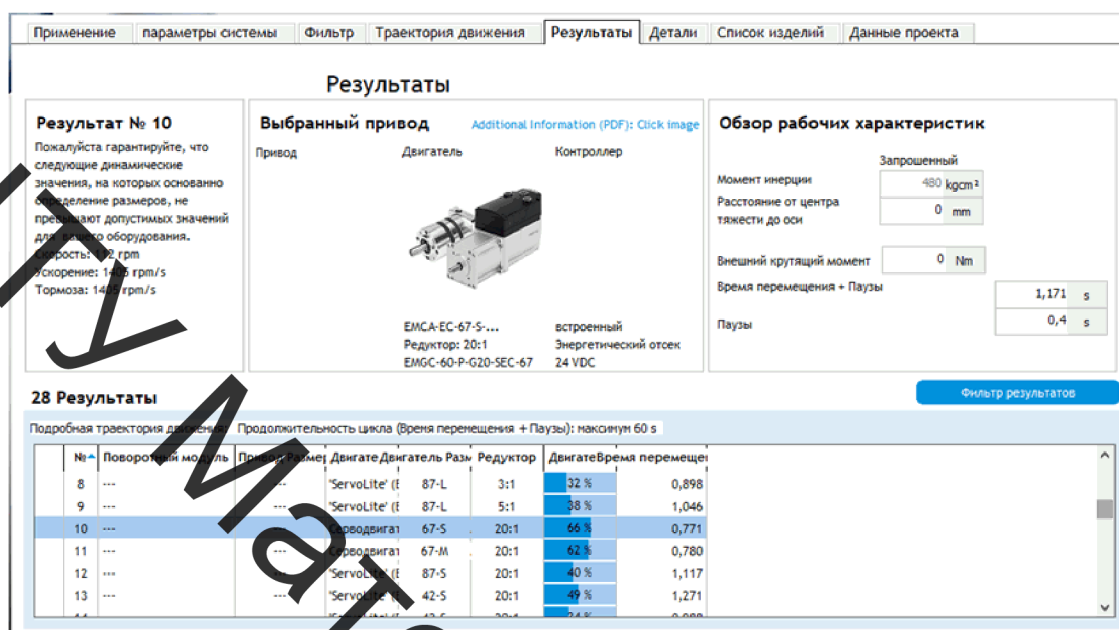


Рисунок 4.4 – Вибір двигуна обертача

Програмою PositioningDrives було запропоновані наступні комплектуючі, які наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Комплектуючі обертача

№	Назва	Позначення по номенклатурі компанії Festo
1	Серводвигун	EMCA-EC-67-S-17E-CO
2	Редуктор	EMGC-60-P-G20-SEC-67
3	Осьовий набір	EAMM-A-F37-60H

У відповідності з рисунком 4.2 розроблено 3D-модель обертача (див. рисунок 4.5). Для цього спочатку було 3D-модель шпиндельного вузла та виконано зборку з серводвигуном, редуктором та осьовим набором (див. таблицю 4.1).

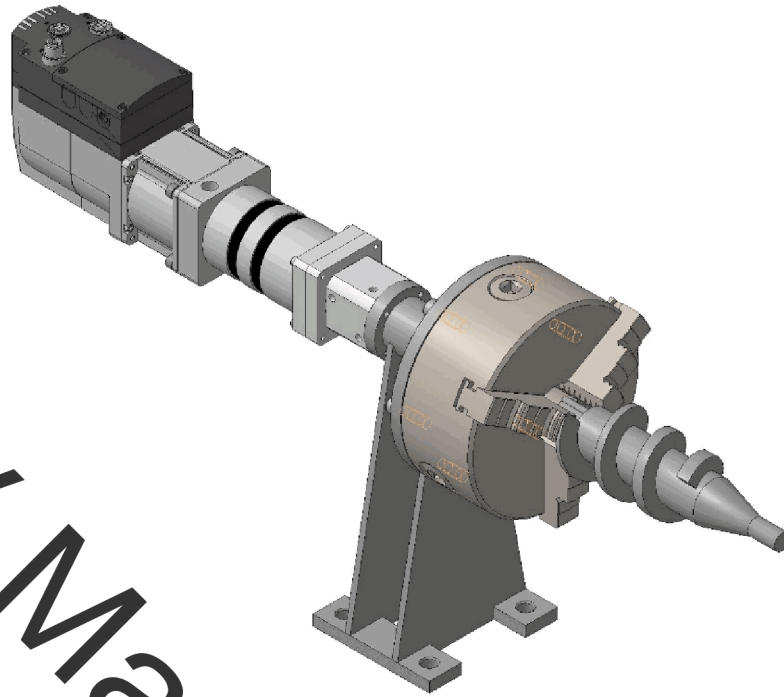


Рисунок 1.5 – 3-D модель обертача

Масо-центрувальні характеристики обертача:

Маса	$M = 35.799833 \text{ кг}$
Площа	$S = 6088.051066 \text{ см}^2$
Об'єм	$V = 4578.131890 \text{ см}^3$
Центр ваги	$X_c = -0.529017 \text{ см}$
	$Y_c = -0.001375 \text{ см}$
	$Z_c = -37.015324 \text{ см}$

Моменти інерції

В абсолютній системі координат:

Осьові моменти інерції	$J_x = 68282.856066 \text{ кг*см}^2$
	$J_y = 68835.650164 \text{ кг*см}^2$
	$J_z = 1145.192005 \text{ кг*см}^2$

4.5 Розрахунок масо-центрувальних характеристик напилювального пристрою

Було розроблено 3D-модель плазмового напилювального пристрою – плазмотрон (рисунок 4.6).

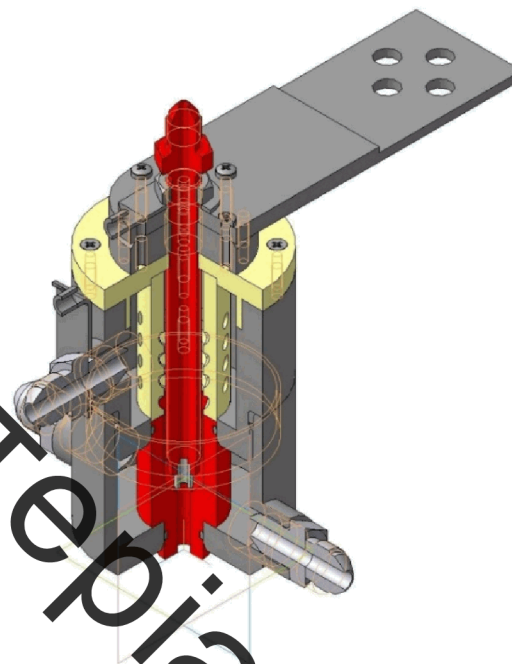


Рисунок 4.6– 3D-модель напилювального пристрою

Визначимо засобами САПР КОМПАС 3-D масо-центрувальні характеристики даної моделі:

Маса	$M = 1.859091$ кг;
Площа	$S = 107867.082745$ мм ² ;
Об'єм	$V = 238120.754109$ мм ³
Центр ваги	$X_c = -0.000099$ мм
	$Y_c = 61.311768$ мм;
	$Z_c = -2.321209$ мм.

Даний плазмотрон має наступні технічні характеристики:

- струм – 250-400 А;
- напруга на катоді – 30-36 В;
- фракція порошку – не більше 100 мкм;

- подача охолоджувальної рідини (води) – 3-5 л/хв;
- тиск води – 0,6-1 МПа;
- продуктивність – 50-150 г/хв;
- витрати плазмоутворюючого газу (повітря) – 3-4 м/год;
- витрати транспортуючого газу (повітря) – 0,4-0,8 м/год;
- коефіцієнт використання матеріалу 80 %;
- маса виробу – 1,8 кг.

4.6 Розрахунок та вибір виконавчих механізмів приводів переміщення напилювального пристрою

Вихідними даними для вибору привода переміщення напилювального пристрою є загальна маса, яку необхідно переміщувати. Це маса напилювального пристрою – 1,8 кг, маса кріпильної пластини – 0,2 кг, за допомогою якої пристрій кріпиться до консольного привода та маса приєднаних комунікацій, яка приблизно становить 0,5 кг. Разом вона становить 2,5 кг. Враховуючи це та розміри деталі, яку необхідно обробити, було обрано консольний привід з величиною переміщення 200 мм за допомогою програми PositioningDrives (рисунок 5.8).

Результат № 868

Пожалуйста гарантируйте, что следующие динамические значения, на которых основано определение размеров, не превышают допустимых значений для вашего оборудования.
 Скорость: 1 m/s
 Ускорение: 25 m/s²
 Тормоза: 25 m/s²

- Добавить (Сравните продукты)

Выбранный привод

Additional information (PDF): [Click image](#)

Привод: EGLS-B5-45-200-10P
 Двигатель: EMMS-AS-55-M-LS-xx
 Контроллер: SMMP-AS-C2-3A-Mx

Осевой: EMM-A-D32-55A
 Нет редуктора
 Энергетический отсек 230 VAC (Однофазный)

Обзор рабочих характеристик

Эффективный ход: 200 mm
 Точность повторения +/-: 0,1 mm
 Движущаяся масса: 2,5 kg
 Вертикальный 90°
 Дополнительное внешнее усилие: 0 N
 Время перемещения + Паузы: 0,916 s
 Паузы: 0,4 s

1216 Результаты (Оптимальные типоразмеры осей)

Подробная траектория движения: Продолжительность цикла (Время перемещения + Паузы): максимум 60 s

	№	Привод	Размер	Направляющая	Двигатель	Двигатель Разм	Редуктор	Привод	Двигатель	Направляющая	Время перемещен
	866	Шариковая винтовая пл	32	Шариковый поу	Серводвигат	55-М	---	11 %	46 %	2 %	0,533
	867	Шариковая винтовая пл	45	Сепаратор поу	Серводвигат	55-М	---	35 %	42 %	1 %	1,397
	868	Шариковая винтовая пл	45	Сепаратор поу	Серводвигат	55-М	---	52 %	49 %	2 %	0,516
	869	Шариковая винтовая пл	40	Шариковый поу	Серводвигат	40-М	3:1	4 %	91 %	2 %	1,067
	870	Шариковая винтовая пл	40	Шариковый поу	Серводвигат	40-М	5:1	4 %	91 %	2 %	1,519
	871	Шариковая винтовая пл	40	Шариковый поу	Серводвигат	40-М	3:1	4 %	61 %	2 %	2,481

Рисунок 4.7 – Вибір компонентів пристрою вертикального переміщення

Програмою PositioningDrives було запропоновані наступні комплектуючі, які наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Комплектуючі вертикального пристрою переміщення

№	Назва	Позначення по номенклатурі компанії Festo
1	Серводвигун	EMMS-AS-55-M-LS-RR
2	Лінійний привід	EMGC-60-P-G20-SEC-67
3	Осьовий набір	EAMM-A-D32-55A
4	Контролер	CMMP-AS-C2-3A-M3

На основі даних 3-D моделей, позначених у таблиці 4.2 а також 3-D плазмотрона, було скомпоновано вертикальний консольний привід для переміщення напилювального пристрою (рисунок 4.8).

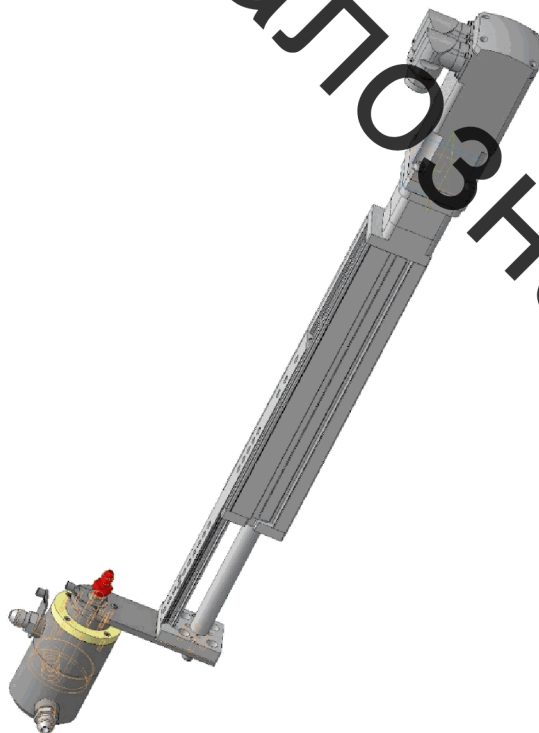


Рисунок 4.8 – Консольний привід переміщення напилювального пристрою

Маса скомпанованого консольного привода (з врахуванням плазмотрона) становить 12 кг. Враховуючи це та габарити деталей, які необхідно обробити, було обрано порталний привід з величиною 600 мм за допомогою програми PositioningDrives (рисунок 4.9).



Рисунок 4.9 – Вибір компонентів пристрою горизонтального переміщення

Програмою PositioningDrives було запропоновані наступні комплектуючі, які наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Комплектуючі горизонтального пристрою переміщення

№	Назва	Позначення по номенклатурі компанії Festo
1	Серводвигун	EMCA-EC-67-M-1TE-CO
2	Лінійний привід	EGC-70-600-TB-KF-0H-GK
3	Редуктор	EMGC-60-P-G3-SEC-67
4	Осьовий набір	EAMM-A-L38-60H

На основі даних 3-D моделей, позначених у таблиці 4.3, було скомпоновано

горизонтальний порталний привід для переміщення напилювального пристрою (рисунок 4.10).

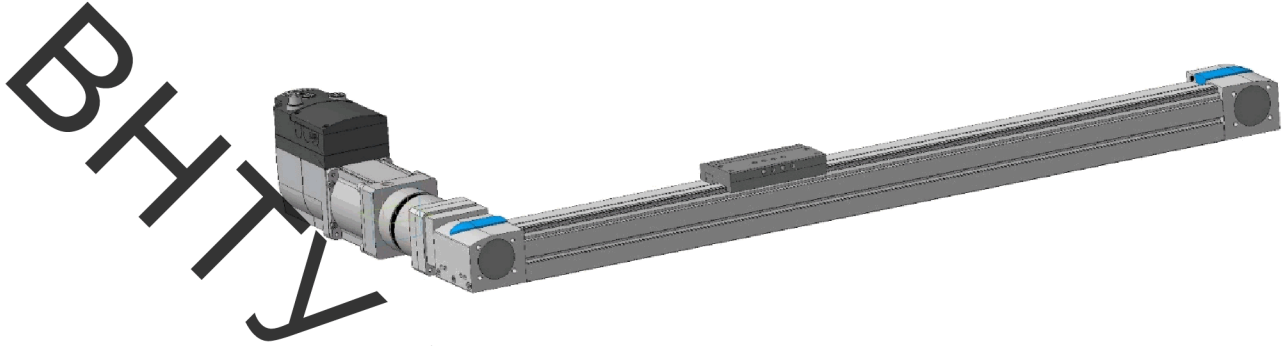


Рисунок 4.10 – Портальний привід переміщення напилювального пристрою

З'єднавши усі механізми згідно з їх функціональним призначенням, було отримано функціональний вузол вертикального та горизонтального переміщень напилювального пристрою (рисунок 4.11)



Рисунок 4.11 – Механізм переміщення напилювального пристрою

4.7 Розробка установки з числовим програмним керуванням

Для створення рамної конструкції було використано профільний металопрокат, а саме кутник 70x70x7 за ГОСТ 8509-93 та лист зі сталі 3 товщиною 10 за ГОСТ 19903-2015. Конструкція рами – зварна (зварювання електродугове за ГОСТ 5264-80). Установка зображена на рисунку 4.12. Робоче місце наведено у додатку .

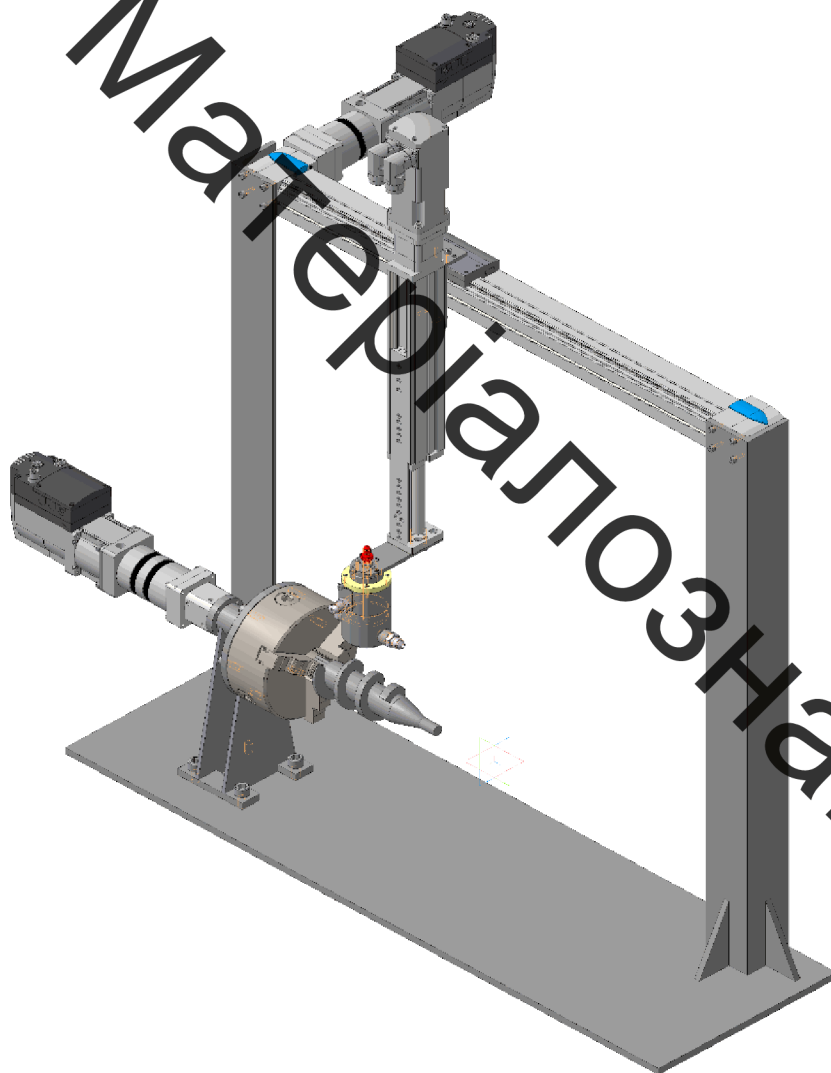


Рисунок 4.12 – Установка для плазмового напилювання з числовим програмним керуванням

5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНОГО РІШЕННЯ

5.1 Прогнозування витрат на виконання конструкторської технологічної роботи

У попередніх розділах розглянуто спосіб відновлення та підвищення зносостійкості шнека екструдера, виконано відповідне технічне обґрунтування. Для здійснення техніко-економічного обґрунтування необхідно також виконати розрахунок економічної ефективності процесу відновлення шнека екструдера [45,46].

Основну заробітну плату кожного із розробників, дослідників та кількість днів показано в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Основна заробітна плата розробників

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн.
1. Керівник проекту	10000,00	455,00	10	4550,00
2. Інженер-технолог	7000,00	318,00	10	3180,00
3. Технік	5500,00	250,00	10	2500,00
Всього				10230,00

Мінімальна погодинна ставка робітника 1-го розряду з 01.01.2019 року встановлена на рівні 25,13 грн/годину. Величина чинних тарифних коефіцієнтів робітників відповідних розрядів для бюджетної сфери наведена в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Величина чинних тарифних коефіцієнтів робітників відповідних розрядів для бюджетної сфери

Розряд	1	2	3	4	5	6	7	8
K_i	1,00	1,09	1,18	1,27	1,36	1,45	1,54	1,64
Мінімальна погодинна ставка	25,13	27,39	29,65	31,92	34,18	36,44	38,07	41,21

Розраховуємо основну заробітну плату робітників, якщо вони беруть участь у виконанні даного етапу роботи і виконують роботи за робочими професіями. Розрахунки заносимо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Основна заробітна плата робітників

Найменування робіт	Трудомісткість н.-год	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1. Очисна	0,14	1	25,13	3,59
2. Дефектувальна	0,07	4	31,92	2,32
3. Токарна	0,03	3	29,65	0,87
4. Токарна	0,03	4	31,92	0,85
5. Фрезерування	0,05	5	34,18	1,17
6. Наплавлення	0,22	4	31,92	7,17
7. Фрезерування	0,05	5	34,18	1,65
8. Напилювання	0,03	4	31,92	1,03
9. Токарна	0,04	3	29,65	1,14
10. Поверхнєве гартування СВЧ	0,01	3	29,65	0,40
11. Контрольна	0,03	4	31,92	0,98
Всього:				21,17

Розраховуємо додаткову заробітну плату всіх розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи. Вона розраховується як (10...12)% від суми основної заробітної плати всіх розробників та робітників. Розраховані дані заносимо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи

Найменування робіт	Основна заробітна плата, грн	Додаткова заробітна плата, грн
Розробники:		
1. Керівник проекту	4550,00	546,00
2. Інженер-технолог	3180,00	381,60
3. Технік	2500,00	300,00
Всього:	10230,00	1227,60
Робітники:		
1. Очисна	3,59	0,43
2. Дефектувальна	2,32	0,28
3. Токарна	0,87	0,10
4. Токарна	0,85	0,10
5. Фрезерування	1,17	0,14
6. Наплавлення	7,17	0,86
7. Фрезерування	1,65	0,20
8. Напилювання	1,03	0,12
9. Токарна	1,14	0,14
10. Поверхнєве гартування СВЧ	0,40	0,05
11. Контрольна	0,98	0,12
Всього:	21,17	2,54
Загальні витрати:	10251,17	1230,14

Нарахування на заробітну плату $N_{зп}$ розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$H_{\text{зп}} = (Z_o + Z_p + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100}, \quad (5.1)$$

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.;

Z_p – основна заробітна плата робітників, грн.;

Z_d – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

β – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, %.

Ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування встановлена 22%.

$$H_{\text{зп}} = (10230 + 21,17 + 1230,14) \cdot 0,22 = 2525,9 \text{ (грн.)}$$

Розраховуємо амортизацію обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались під час відновлювальних робіт. Відрахування розраховуємо по кожному виду обладнання, приміщення тощо. Всі результати заносимо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень

Найменування	Балансова вартість, грн.	Срок корисного використання, років	Термін використання, міс	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
Переобладнання старого приміщення	150000	20	12	7500
Наплавочний верстат У-653М	50000	5	12	10000
Фрезерний верстат Нигсо WMx 42i	300000	5	12	60000
Токарно-гвинторізний верстат 16К20Ф3	120000	5	12	24000
Комп'ютер та інтерфейс	4000	2	12	2000
Всього				103500

Розраховуємо витрати на матеріали, що були використані під час виконання даного етапу роботи, визначаємо по кожному виду матеріалу та заносимо до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн.	Витрачено, кг	Вартість витраченого матеріалу, грн.
1 Порошок для наплення ПГ-12-Н-01	700	0,025	17,5
2 Наплавочний дріт Інп-40Х2Г2М	50	0,43	21,5
3 Вуглекислий газ	5	5,0	25
4 Лобомід-102	34	0,2	6,8
5 Ганчір'я	8	0,1	0,8
		Всього	71,6

Визначаємо вартість комплектуючих, що були використані під час виконання даного етапу роботи та заносимо дані до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектувальних	Кількість	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
1. Напилувальна установка з ЧПК	1	100000	100000
2. Обертач	1	5000	5000
3. Плазмовий напилувач	1	1500	1500
	Всього		106500

Розраховуємо витрати на силову електроенергію для виконання даного етапу роботи та заносимо до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Витрати на електроенергію

Найменування операції	Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість операції, год.	Витрати, кВт	Сума, грн
1. Очисна	Установка електроімпульсної обробки УПП-25	25	0,14	3,57	7,61
2. Дефектувальна	Щтангенциркуль ШЦ-1				
3. Токарна	Токарно-гвинторізний верстат 16К20Ф3	11	0,03	0,32	0,69
4. Токарна	Токарно-гвинторізний верстат 16К20Ф3	11	0,03	0,29	0,62
5. Фрезерування	Фрезерний верстат Hurco WMx 42i	18	0,03	0,62	1,32
6. Наплавлення	Наплавочний верстат У-653М	15	0,22	3,37	7,17
7. Фрезерування	Фрезерний верстат Hurco WMx 42i	18	0,05	0,87	1,85
8. Напилювання	Установка ТСЗП-МФ-Р-1000	15	0,03	0,48	1,03

Продовження таблиці 5.8

9. Токарна	Токарно-гвинторізний верстат 16К20Ф3	11	0,04	0,42	0,90
10. Поверхнєве гартування СВЧ	Індуктор СЧВ-15В	15	0,01	0,20	0,43
11. Контрольна	Штангенциркуль ШЦ-1		0,03		
Всього					21,62

Інші витрати $V_{ін}$ охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо.

Інші витрати I_v можна прийняти як (200...300)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які виконували дану роботу, тобто:

$$V_{ін} = (2 \dots 3) \cdot (3_o + 3_p). \quad (5.2)$$

$$V_{ін} = 2 \cdot (10230 + 21,17) = 20502,34 \text{ (грн).}$$

Підсумовуємо всі попередні витрати та визначаємо їх загальну суму, тобто визначимо капітальні вкладення. Всі дані заносимо до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Капітальні вкладення (загальні витрати)

Статі витрат	Сума, грн.
Основна заробітна плата розробників	10230
Основна заробітна плата робітників	21,17
Додаткова заробітна плата	1230,14
Нарахування на заробітну плату	2525,9
Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень	103500

Продовження таблиці 5.9

Витрати на матеріали	71,6
Витрати на комплектуючі	106500
Витрати на силову електроенергію	21,62
Інші витрати	20502,34
Всього	244602,77

5.2 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

Собівартість відновлення шнека екструдера розраховуємо за формулою:

$$S_e = Z_p + Z_o + H_{zn} + M + B_e + B_{in}, \quad (5.3)$$

де Z_p – основна заробітна плата робітників, $Z_p = 21,17$ грн.;

Z_o – додаткова заробітна плата робітників, $Z_o = 2,54$ грн.;

H_{zn} – нарахування на заробітну плату, $H_{zn} = 5,22$ грн.;

M – витрати на матеріали на одиницю продукції, $M = 71,6$ грн.;

B_e – витрати на силову електроенергію, $B_e = 21,62$ грн.;

B_{in} – інші витрати, $B_{in} = 47,42$ грн.

$$S_B = 21,17 + 2,54 + 5,22 + 71,6 + 21,62 + 47,42 = 169,57 \text{ (грн).}$$

Розраховуємо ціну реалізації відновлення вал-шестерні за формулою:

$$C_p = S_e \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{w}{100}\right), \quad (5.4)$$

де P – нормативний рівень рентабельності, $P = 20 \dots 50\%$;

w – ставка додатку на додану вартість, 20% .

$$Ц_p = 169,57 \cdot (1 + 0,5) \cdot (1 + 0,2) = 305,3 \text{ (грн)}.$$

Приймаємо ціну реалізації 400 грн (вартість нової деталі складає 500 грн).

Величина чистого прибутку, який отримає виробник протягом одного року, розраховуємо за формулою:

$$\Pi = \left\{ \left[Ц_p - \frac{(Ц_p - M) \cdot f}{100} - S_e - \frac{q \cdot S_e}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{h}{100} \right] \right\} \cdot N, \quad (5.5)$$

де f – зустрічна ставка податку на додану вартість, $f = 20\%$;

h – ставка податку на прибуток, $h = 18\%$;

q – норматив, який визначає величину адміністративних витрат, витрат на збут та інші операційні витрати, $q = 5...10\%$;

N – число виробів, які планується реалізувати за рік, шт;

M – витрати на матеріали, грн.

$$\begin{aligned} \Pi &= \left\{ \left[400 - \frac{(400 - 71,6) \cdot 20}{100} - 169,57 - \frac{5 \cdot 169,57}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 2000 = \\ &= 256285,26 \text{ (грн)}. \end{aligned}$$

Визначаємо величину чистого дисконтованого доходу від застосування модернізованого технологічного процесу, якщо планується протягом 4-х років відновлювати робочі поверхні шнека прес-екструдера.

В розробку інноваційного технологічного процесу підприємство однократно вклало 244602,77 грн. інвестицій.

Планується 256285,26 грн. річного прибутку від реалізації продукції.

Норма дисконту складає 0,2.

Проведемо розрахунки за формулою :

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{\Pi_t}{(1+d)^t} - K, \quad (5.6)$$

де Π_t – прибуток отриманий від реалізації відповідної кількості нової продукції у t -му році функціонування проекту, грн;

K – величина капітальних вкладень у розробку інноваційного рішення, грн;

d – норма дисконту, величина якої залежить від рівня ризику, рівня банківської ставки по вкладам, рівня інфляції;

n – термін, протягом якого продукція реалізовуватиметься на ринку (термін функціонування проекту), років;

t – відповідний рік функціонування проекту, в якому очікується прибуток, грн.

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{256285,26}{(1+0.2)^1} + \frac{256285,26}{(1+0.2)^2} + \frac{256285,26}{(1+0.2)^3} + \frac{256285,26}{(1+0.2)^4} - 244602,77 = \\ &= 521847 \text{ (грн)}. \end{aligned}$$

Термін окупності розраховуємо за формулою 5.7:

$$T_{ок} = \frac{K}{\Pi}, \quad (5.7)$$

$$T_{ок} = \frac{244602,77}{256285,26} = 0,954 \text{ років}$$

5.3 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Загальні витрати ZB на виконання та впровадження результатів НДДКР (або теперішня вартість інвестицій PV) дорівнює 400 грн. Результати вкладених у наукову розробку інвестицій виявляються у першому році.

Ці результати виявляться у тому, що у кожному наступному році підприємство отримає чистого прибутку 256285,26 грн відносно базового року.

Тоді рисунок, що характеризує рух платежів (інвестицій та додаткових прибутків) буде мати вигляд, наведений на рисунку 5.1.



Рисунок 5.1 – Життєвий цикл наукової розробки з фіксацією платежів

Розрахуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{абс}$ за формулою:

$$E_{абс} = ПП - PV, \quad (5.8)$$

де $ПП$ – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн;

PV – теперішня вартість інвестицій $PV = 3B$, грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків $ПП$ розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^i}, \quad (5.9)$$

де $\Delta\Pi$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн;

T – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні (для України цей показник знаходиться на рівні 0,2);

t – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки «0».

$$ПП = \frac{521847}{(1+0.2)^1} + \frac{521847}{(1+0.2)^2} + \frac{521847}{(1+0.2)^3} + \frac{521847}{(1+0.2)^4} = 1350923,4 \text{ (грн).}$$

$$E_{\text{абс}} = 1350923,4 - 400 = 1350523,4 \text{ (грн).}$$

Оскільки $E_{\text{абс}} > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Розраховуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій $E_{\text{в}}$ за формулою:

$$E_{\text{в}} = T_{\text{ж}} \sqrt[1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}}{-1}, \quad (5.10)$$

де $E_{\text{абс}}$ – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

PV – теперішня вартість інвестицій $PV = 3B$, грн;

$T_{\text{ж}}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

Далі, розрахована величина $E_{\text{в}}$ порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування $\tau_{\text{мін}}$, яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування $\tau_{\text{мін}}$ визначається за формулою

$$\tau = d + f, \quad (5.11)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; $d = (0,14...0,2)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,1)$, але може бути і значно більше.

Якщо величина $E_B > \tau_{\min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки. В іншому випадку фінансування наукової розробки здійснюватися не буде.

Спрогнозуємо величину τ_{\min} . Припустимо, що за даних умов:

$$\tau_{\min} = 0,2 + 0,05 = 0,25.$$

Тоді відносна (щорічна) ефективність вкладних інвестицій в проведення наукових досліджень та впровадження їх результатів складе:

$$E_e = \sqrt[4]{1 + \frac{1350523,4}{400}} - 1 = 6,62.$$

Оскільки величина $E_B > \tau_{\min}$, то інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій. Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}$ можна розрахувати за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_B}, \quad (5.12)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{6,62} = 0,15 \text{ роки.}$$

Так як $T_{ок} < 3...5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

Показник внутрішньої норми дохідності (Internal Rate of Return, IRR або внутрішня норма прибутковості, внутрішня норма дисконту, внутрішній коефіцієнт ефективності, внутрішня норма окупності, перевірочний дисконт) характеризує максимально прийнятний відносний рівень витрат, які можуть бути зроблені при реалізації певного проекту. Дозволяє знайти граничне значення норми дисконту, що розділяє інвестиції на прийнятні і не вигідні [45,46].

Мінімальне можливе значення внутрішньої норми дохідності проекту IRR_{\min} розраховується за такою формулою:

$$IRR_{\min} = \sqrt[n]{\frac{\sum_{i=1}^n (P_t + A_t)}{K}} - 1, \quad (5.13)$$

де P_t –прибуток від реалізації відповідної кількості нової продукції у відповідному t-му році, грн,

A_t –амортизаційні відрахування у відповідному t-му році, грн;

n– термін, протягом якого реалізовується продукція;

t – відповідний рік функціонування проекту.

За формулою 5.13 визначаємо внутрішню норму дисконту:

$$IRR_{\min} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot (256285,26 + 103500)}{244602,77}} - 1 = 0,55$$

5.4 Висновки до розділу 5:

Розглянувши різні методи відновлення та врахувавши їхні позитивні та негативні сторони можна зробити висновок: як метод, що дозволить розв'язати поставлену задачу по підвищенню якості відновлення деталі «шнек екструдера»

можна використовувати метод наплавлення в середовищі захисних газів та плазмове напилення.

Метод задовольняє наступними параметрами: стабільність якості всієї поверхні; висока продуктивність методу при низькій вартості; використання універсального обладнання, відсутність трудоміких технологічних операцій; висока зносостійкість, яка в 3...5 разів вища за нову деталь.

Використання модернізованого технологічного процесу на підприємстві дозволить отримати позитивний економічний ефект.

Впровадження модернізованого технологічного процесу потребує від інвестора 244602,77 грн. капітальних вкладень.

При оцінці ефективності інноваційного проекту були отримані такі важливі показники, як:

- чистий дисконтований дохід (інтегральний ефект) 521847 грн;
- внутрішня норма дохідності (прибутковості) – 55%;
- термін окупності 0,954 року.

Отримані показники свідчать про високий рівень дохідності для інвестора і підтверджують доцільність впровадження технологічного процесу відновлення деталі «шнек еструдера».

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз умов праці

Досліджуваним об'єктом є дільниця відновлення плазмовим напиленням та наплавленням у середовищі захисних газів.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори діляться на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

До фізичних небезпечних та шкідливих виробничих факторів відносяться [47]:

- запиленість;
- механізми, що рухаються; частини виробничого обладнання, що рухаються; вироби та заготовки, що переміщуються;
- підвищена температура поверхонь обладнання;
- підвищений рівень шуму на робочому місці (через механізми, що рухаються);
- підвищена вологість повітря (виробування на герметичність та охолодження прохолодною водою);
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- підвищена напруга магнітного поля;

Біологічні шкідливі та небезпечні фактори відсутні.

До хімічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів відносяться:

- по характеру впливу на організм людини - канцерогенні;
- по шляху проникнення в організм людини - через органи дихання.

До психофізіологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів відносяться:

- фізичні перевантаження (статичні фізичні перевантаження);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці).

6.2 Техніко-організаційні вимоги щодо безпечної праці

Вимоги до виробничих та допоміжних приміщень. Будівлі повинні відповідати

вимогам СН 245 - 71:

- площа виробничого приміщення на одного працюючого - $4,5 \text{ м}^2$;
- об'єм виробничого приміщення на одного працюючого - 15 м^3 ;
- висота цеху - $3,5 \text{ м}$.

Ремонтні майстерні, інструментальні кладові, службові приміщення повинні розташовуватись в добудованих до основної будівлі.

Згідно зі СНП 2.0.04-87 допоміжні приміщення потрібно розташовувати в добудованих до виробничих будівель в місцях з найменшою дією небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Висота допоміжних приміщень, розташованих в виробничих будівлях, повинна бути не менше $2,4 \text{ м}$. На рисунку 6.1 зображено план виробничого приміщення (цех по відновленню деталей) з нанесеною схемою вентиляції.

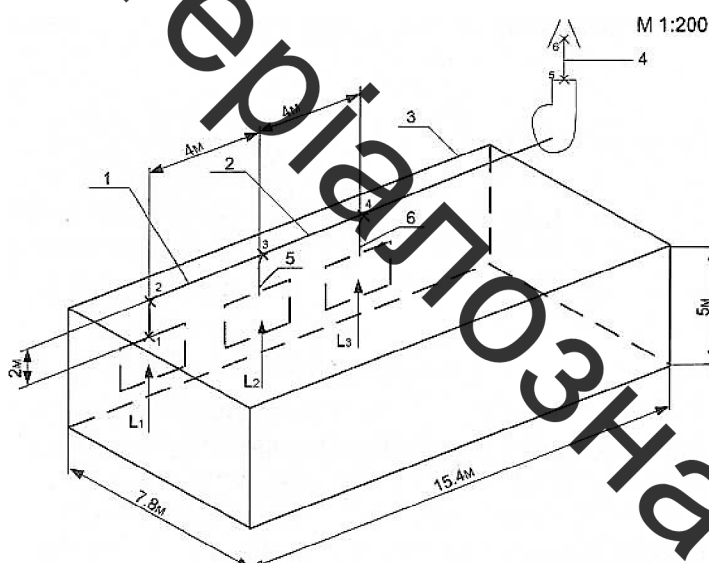


Рисунок 6.1 – Схема приміщення цеху

Розміри цеха: довжина – $15,4 \text{ м}$, ширина – $7,8 \text{ м}$, висота – 5 м . Ці розміри відповідають зазначеним вимогам.

6.2.1 Мікроклімат.

Згідно ГОСТ 12.1.005 - 88 показники, які характеризують мікроклімат:

- температура повітря;
- відносна вологість повітря;

- швидкість руху повітря;
- інтенсивність теплового випромінювання.

Оптимальні показники мікроклімату поширюються на всю робочу зону, допустимі показники встановлюються диференційовано для постійних та непостійних робочих місць. Допустимі величини показників мікроклімату встановлюються у випадках, коли по технологічним вимогам, технічним та економічним причинам не забезпечуються оптимальні норми.

З огляду на умови роботи в цеху по відновленню деталей, приймаємо категорію робіт середньої тяжкості ІІб. Відповідно до цього, вимоги до показників мікроклімату вказані у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Оптимальні і допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Температура, С°		Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с		
	Оптимальна	Допустима на постійних робочих місцях	Оптимальна	Допустима на постійних і непостійних робочих місцях, не більше	Оптимальна, не більше	Допустима на постійних і непостійних робочих місцях, не більше	
		Верхня межа	Нижня межа				
Холодний	17-19	21	15	40-60	75	0,2	<0,4
Теплий	20-22	27	16	40-60	70 при 25С°	0,3	0,2-0,5

6.2.2 Освітлення.

Згідно СНП ІІ - 4 - 79, в залежності від зорової роботи в приміщенні, де знаходиться досліджуєий об'єкт, можна віднести до І групи приміщення та приміщення, в яких проводиться розрізнення об'єктів зорової роботи при фіксованому напрямку лінії зору працюючих на робочу поверхні.

Площа, в якій нормується освітленість - Г (горизонтальна),

- розряд зорових робіт - ІVa (для зварювальних робіт, середньої точності зорових

робіт та найменшого розміру об'єкту розрізнення – від 0,5 до 1);

- освітленість, лк:

комбінована (загальна + місцева) - 750; загальна - 300;

- показник осліплення - не більше 40%;

- коефіцієнт пульсації - не більше 20%.

В СНП II - 4 - 79 приведені нормовані значення коефіцієнта природного освітлення для III поясу світлового клімату. Для інших поясів коефіцієнт природного освітлення визначається по формулі 6.1:

$$e_H^{I,II,III,IV,V} = e_H^{III} \cdot m \cdot C \quad (6.1)$$

де $e_H^{III} = 1,5\%$;

- $m = 0,9$ - коефіцієнт світлового клімату;

- $C = 0,7$ - коефіцієнт сочячності клімату для азимуту 180° .

Тому

$$e_H^{IV} = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,7 = 0,95\%.$$

Робоча поверхня знаходиться на відстані 1,5 м від підлоги.

Норми освітлення для цеху по відновленню деталей містяться у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Норми освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкту розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Характеристика фону	Контраст об'єкту з фоном	Освітленість, КЕО, $e_H^I, \%$		
						Штучне освітлення		Природне освітлення
						Комбіноване	Загальне	
Середньої точності	Більше 0,5 до 1	IV	a	Темний	Малий	750	300	1,2

Для освітлення цеху слід застосувати газорозрядні лампи. Для місцевого освітлення повинні застосовуватись світильники.

6.2.3 Шум, вібрація.

Шум є хаотичним сполученням звуків різної частоти і інтенсивності.

По характеру спектру шум відноситься до широкополосного постійного.

Дія шуму на людину: загально біологічні роздратування, патологічні зміни, функціональні розлади, механічні ушкодження. При довгій дії інтенсивного шуму можуть відбутися патологічні зміни слухового органу.

Згідно з ГОСТ 12.1.003 - 83 приведемо допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях (за СН 3223 - 85)

Вид трудової діяльності	Рівні звукового тиску, дБ, в октавних полосах із середньгеометричним й частотами, Гц.									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБ
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Методи і засоби боротьби з шумом у відповідності з ГОСТ 12.1.003 – 83 відбувається таким чином: захист від шуму повинен досягатися за рахунок розробки шумобезпечної техніки, використанням засобів і методів колективного захисту і індивідуального захисту, будівельно акустичними методами .

Основні засоби колективного захисту зниження шуму в джерелі його, виникнення і на шляху його розповсюдження.

По ГОСТ 12.1.012 - 90 в нашому випадку категорія вібрації по санітарним нормам і критеріям оцінки: 3 тип "а" – межа зниження продуктивності праці (таблиця 6.4).

Таблиця 6.4 – Норми одночислових показників вібраційного навантаження

Вид вібрацій	Категорія вібрацій по санітарним нормам	Напрямок дії вібрації	Нормативні коректовані по частоті і еквівалентні коректовані значення			
			Віброприскорення		Віброшвидкості	
			$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$	дБ	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2} \times 10^{-2}$	дБ
Загальна	3 тип "а"	ZoXoYo	0,1	100	0,2	95
Локальна	—	ZoXoYo	2,0	126	2,0	112

Основні засоби колективного захисту від вібрації зниження вібрації дією на джерело збудження, вібродемпфування, віброізоляція та ін.

Засоби індивідуального захисту: нагрудники, пояси та ін. При побудові приміщення потрібно використовувати вібропоглинаючі покриття.

6.2.4. Опалення та вентиляція.

Приміщення відноситься до пожежонебезпечних: категорія Г, тому в системі опалення використовується гаряча вода з температурою 150°C (відповідно до СНП.2.04.05 84).

При роботах в зону дихання робітників потрапляють аерозолі, які мають в своєму складі тверді фази різних металів (марганцю, хрому, нікелю, міді, титану, алюмінію, заліза, вольфраму та ін.) та їх оксиди, концентрація яких не повинна перевищувати норми відповідно до ГОСТ 12.1.005- 88.

З огляду на це, відповідно до СНП 2.04.05 - 84 вибираємо загально-обмінну приточну вентиляцію.

Виконаємо розрахунок загально-обмінної приточної вентиляції.

По охопленню приміщення вентиляція загально-обмінна, тобто повітря циркулює від робочих місць. По повноті та стабільності повітрообміну вентиляція представляє собою повний повітрообмін з підігрівом повітря, яке потрапляє в робочу зону.

1) Розрахунок необхідного повітрообміну.

Розрахунок при загально обмінній вентиляції ведемо по кратності

повітрообміну за формулою 6.2:

$$L = K \cdot V \text{ [м}^3\text{/год]} \quad (6.2)$$

де K – коефіцієнт кратності показує, скільки раз на годину змінюється повітря у приміщенні. Залежить від типу приміщення та виконуємої роботи. (Приймаємо $K = 5$);

V – об'єм приміщення ($7,8 \times 1,5,4 \times 5$) = 600 м^3 .

Тоді повітрообмін:

$$L = 5 \cdot 600 = 3000 \text{ (м}^3\text{/год)}$$

2) Розбиваємо схему (див. рисунок 6.1) на ділянки і отримуємо 6 ділянок - відрізків повітропроводу, по довжині якого площа поперечного перелізу та витрати однакові.

Витрати повітря:

$$1д - L_1 = 1000 \text{ м}^3\text{/год};$$

$$2д - L_1 + L_2 = 1000 + 1000 = 2000 \text{ м}^3\text{/год};$$

$$3д - L_1 + L_2 + L_3 = 2000 + 1000 = 3000 \text{ м}^3\text{/год};$$

$$4д - L_1 + L_2 + L_3 = 3000 \text{ м}^3\text{/год};$$

$$5д - L_2 = 1000 \text{ м}^3\text{/год};$$

$$6д - L_3 = 1000 \text{ м}^3\text{/год};$$

3) Назначаємо центральний повітропровід, де витрати найбільші і втрати тиску також максимальні. Це повітропровід 1 - 2 - 3 - 4.

4) У центральному повітропроводі приймаємо швидкість руху 12 м/с , а у відгалуженнях – 6 м/с .

Визначимо поперечні розміри повітропроводів на ділянках.

На ділянці 1:

$$S_1 = \frac{L_1}{V_1} [m^2]; \quad (6.3)$$

$$S_1 = \frac{1000}{3600 \cdot 6} = 0.05 (m^2);$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_1}{\pi}} [mm]; \quad (6.4)$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,05}{3,14}} = 0,25 (m) = 250 (mm);$$

$d_1 = 250$ мм, що відповідає нормальному ряду діаметрів. Тому швидкість перераховувати немає потреби.

Аналогічно на ділянках 2, 5, 6 та 3,4 приймаємо: $S_{2,5,6} = 0,05 m^2$, $d_{2,5,6} = 250$ мм; $S_{3,4} = 0,07 m^2$, $d_{2,4} = 298$ мм

По нормальному ряду діаметрів вибираємо найбільше ближче значення $d_3 = 315$ мм та перерахуємо швидкість повітря:

$$v = \frac{L_3 \cdot 4}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{3000 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,315^2} = 10,7 \left(\frac{m}{c} \right).$$

На ділянці 4 приймаємо $d_4 = d_3 = 315 (mm)$; $v_4 = v_3 = 10,7 (m/c)$.

5) Виконуємо розрахунок мережі повітропроводу за методикою праці [47].

6) Знаючи витрати повітря, приймаємо $L_B = 1.1 \cdot L = 1.1 \cdot 3000 = 3300 (m^3/год)$ та втрати тиску на магістральному повітропроводі $\Delta p_B = 1.1 \cdot \Delta p = 1.1 \cdot 19 = 20.9 (кгс/m^2)$.

Приймаємо вентилятор типу Ц4 - 70 (радіальний, сталевий) А4105 - 1. Його характеристики: тип Ц4 - 70; номер вентилятора - 4; діаметр робочого колеса $B = 1,05 D_{ном}$

Порядковий номер робочої характеристики по збільшенню швидкості обертання в межах даного вентилятора - 1.

7) Обираємо електродвигун АОЛ 2-11-6: потужність $N = 0,4$ кВт; частота

обертання 935 об/хв; маса вентилятора з електродвигуном складає 81 кг.

6.3 Техніка безпеки

Основними вимогами охорони праці, які висуваються в проектуванні машин та механізмів, є безпека для людини, надійність та зручність експлуатації.

Об'єм приміщення на одного працюючого повинен бути не менше 15 м³, а площа - не менше 4,5 м², виключаючи площу, яка зайнята обладнанням та проходами.

Підлога в приміщенні повинна виконуватись з негорючих матеріалів та задовольняти гігієнічним, технологічним і експлуатаційним вимогам кожного конкретного виробництва у відповідності з вимогами СНП II - В - 8 - 71.

6.3.1 Електробезпека

Однією із важливих умов безпеки обладнання є електробезпека - система організаційних та технічних засобів, які забезпечують захист людини від електричного струму. Приміщення відноситься до вологих, в яких пари вологи виділяються короткочасно в невеликій кількості і відносна вологість повітря перевищує 75%. Для подолання небезпеки ураження людини електричним струмом використовують занулення.

6.4 Пожежна безпека

Цех відноситься до приміщення категорії Г по вибухо- та пожежонебезпеці (цех по відновленню наплавленням на напилюванням) [47].

По ступеню вогнестійкості будівля відноситься до IIIа - будівлі з переважно каркасною конструктивною схемою. Елементи каркасу - із сталевих незахищених конструкцій. Огороджуючі конструкції - із сталевих не профільованих листів або із негорючих листових матеріалів з важкогорючими утеплювачами.

Межі вогнестійкості конструкції об'єкту повинні бути такими, щоб конструкції зберігали несучі і огороджуючі функції протягом евакуації людей або перебування їх в місцях колективного захисту. При цьому межі вогнестійкості повинні

встановлюватись без врахування впливу засобів гасіння пожежі, але з врахуванням пожеже – вибухонебезпеки виробничих процесів. Основні вимоги показані регламентуються відповідно до СНП 2.01.02-85.

У приміщенні висота від підлоги до низа виступаючих конструкцій перекриття повинна бути не менше 2,2 м, висота від підлоги до низу виступаючих частин комунікацій і обладнання в місцях регулярного проходу людей і на шляхах евакуації - не менше 2 м, а в місцях нерегулярного проходу людей - не менше 1,8 м. Відстані до евакоходів для категорії приміщення Г і III ступеню вогнестійкості не обмежуються щільністю людського потоку в загальному проході. Крім цього, СНП 2.09.02 -85 визначає кількість людей на 1 м ширини евакуаційного виходу 260 .

Евакуаційні шляхи повинні забезпечувати безпечну евакуацію всіх людей, які знаходяться в приміщенні будівлі через евакоходи.

Кількість евакоходів із будівлі потрібно приймати не менше двох.

Ширина шляхів евакуації в світлі повинна бути не менше 1 м, а дверей – не менше 0,8м. Приймаємо для даного приміщення 2 пожежних щити. Згідно ГОСТ 12.4.026 їх фарбують в білий колір із червоною смужкою по периметру. Всі засоби пожежогасіння фарбують в червоний колір. На кожному щиті повинен бути набір протипожежного інвентарю і первинних засобів пожежогасіння.

6.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Для зниження можливих доз опромінення при ліквідації наслідків у зонах забруднення проводиться дезактивація території, будинків і споруджень, устаткування, техніки й інших об'єктів, виконуються заходи щодо усунення пилу. Роботи ведуться позмінно з урахуванням припустимих доз опромінення, встановлених для формувань. Радіоактивні відходи, що утворюються при дезактивації, вивозяться на спеціально створювані пункти захоронення [48].

Реєвакуація населення здійснюється після завершення робіт з дезактивації населених пунктів чи зниження забруднення внаслідок природного розпаду РР до

припустимих рівнів. Дозвіл на реевакуацію дається після обстеження населених пунктів спеціально створюваними комісіями.

Для проведення дезактивації використовується вода. Разом з водою застосовуються спеціальні препарати, що підвищують ефективність змивання радіоактивних речовин. Це поверхнево-активні і комплексоутворюючі речовини, кислоти, луги. До перших відносять порошок СФ-2 і препарати ОП-7 і ОП-10; до других - фосфати натрію, трилон - Б, лужна і лимонна кислоти, солі цих кислот.

Для одержання розчину порошок додають у воду невеликими порціями при постійному перемішуванні. Дезактивацію транспортних засобів і техніки проводять із застосуванням 0,15 %-го розчину СФ-2 у воді (улітку) чи аміачній воді, що містить 20 - 24% аміаку. Препарат ОП-7 і ОП-10 застосовують як складову частину дезактивуючих розчинів, призначених для дезактивації поверхонь будинків споряджень і устаткування.

Пункт спеціальної обробки ПуСО доцільно розробляти і організовувати на базі даного підприємства тому, що воно повністю забезпечене потрібним персоналом та спеціалістами, які здатні обслуговувати та працювати в ПуСО, також підприємство має всі необхідні засоби техніку та обладнання для організації ПуСО.

Розташування ПуСО зручно зробити на виїзді з міста тому, що поблизу протікає річка, яка повністю може забезпечити потреби ПуСО у водопостачанні. Електропостачання забезпечує лінія електропередач, яка проходить поблизу.

При частковій дегазації і дезінфекції з використанням дегазаційних комплектів насамперед обробляються ті частини і поверхні техніки та транспорту, з якими необхідний контакт при виконанні роботи (поставленої задачі).

Повна дегазація складається з повного знезаражування або видалення зі всієї поверхні техніки і транспорту отруйних речовин шляхом протирання заражених поверхонь розчинами для дегазації; при їх відсутності можуть бути використані розчинники і розчини для дезактивації. Для протирання використовуються щітки дегазаційних машин, комплектів і приладів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У магістерській кваліфікаційній роботі виконаний аналіз умов процесу екструзії і відомих методів відновлення та підвищення зносостійкості робочих поверхонь шнека екструдера. Обрано спосіб відновлення та необхідні матеріали для проведення процесу нанесення покриттів: наплавлення із застосуванням легувальних комплексів, компоненти яких сприяють підвищенню абразивної стійкості (за рахунок утворення твердих структур), жаростійкості та стійкості проти корозії.

2. Встановлено, що методом наплавлення у середовищі вуглекислого газу маловуглецевим дротом типу Св-08Г2С на сталеві поверхні зі сталі 45 з попередньо нанесеними різними легувальними комплексами Cr-B₄C-Mo-C та Cr-Mo-V-C (у вигляді суспензій на основі рідкого скла) можна отримувати зносостійкі шари, здатні працювати в умовах екструзії паливних пелет; виявлено пряму залежність механічного зносу від твердості поверхонь шнека в умовах шнекової екструзії.

3. Розроблена математична модель процесу шнекової екструзії показує, що тиск вздовж витків шнека збільшується по експоненціальному закону. Це пояснює максимальні значення зносу, які виникають на периферійних ділянках витків у зоні дозування.

4. Виконані дослідження дозволили отримати результати, аналіз яких показав:

4.1 В умовах, наближених до екструзії, поверхні з більшою твердістю мають більшу зносостійкість та краще протидіють механічному зносу.

4.2 Твердість поверхні підвищується наплавленням дротом Св-08Г2С: при застосуванні легувального комплексу Cr-B₄C-Mo-C інтегрована твердість наплавленої поверхні складає 44 HRC; при застосуванні комплексу Cr-Mo-V-C – 60 HRC.

4.3 Наплавлення поверхні із застосуванням комплексів Cr-B₄C-Mo-C і Cr-Mo-V-C дозволяє отримати шари без видимих дефектів, мікро- та макротріщин (при швидкості наплавлення зразків 5 м/год та силі струму 100 А).

4.4 В обох випадках застосування легувальних комплексів Cr-B₄C-Mo-C і Cr-Mo-V-C наплавлені поверхні мають три зони: наплавлений метал, перехідна зона

та основний метал. Проте структура наплавлених покриттів виявилась різною. Система Cr-B₄C-Mo-C дозволила отримати дрібнозернисту структуру з карбідами в наплавленому шарі, переходи наплавлений шар – перехідна зона та перехідна зона – основний метал є плавними; система Cr-Mo-V-C в наплавленому металі дозволила отримати складну карбідну структуру, переходи між зонами – різкі, особливо при переході з наплавленого шару у перехідну зону, де можна виділити явно виражену границю розподілу. Наявність карбідів підтверджується відповідними значеннями мікротвердості.

5. Розроблений технологічний процес відновлення шнека екструдера дозволяє підвищити його зносостійкість та отримувати якісні покриття.

6. Спроектоване технологічне обладнання (установка з ЧПК) дозволяє проводити автоматизоване напилювання зношених поверхонь та підвищити продуктивність процесу відновлення.

7. Виконаний розрахунок економічного ефекту процесу відновлення шнека екструдера з врахуванням розробленого технологічного процесу показує, що його впровадження на підприємстві дозволить отримати позитивний економічний ефект у розмірі 521847 грн.

8. Проаналізовані умови праці на ділянці дозволили встановити основні шкідливості та чинники, які впливають на самопочуття та здоров'я робітників у робочій зоні та на підприємстві загалом, що зменшує ймовірність виникнення аварійної ситуації. Розрахована вентиляція сприяє зменшенню впливу негативних факторів, які виникають у ході процесу відновлення шнека екструдера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гомонай М. В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технология, режимы работы: учеб. пособие / М. В. Гомонай. – М.: МГУЛ, 2006. – 68 с.
2. Гончар В.А. Підвищення зносостійкості і довговічності екструдерів для переробки фуражного зерна з домішками мінералів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: спец. 05.02.04 – «Тертя та зношування в машинах» / В.А. Гончар. – Хмельницький, 2014. – 20 с. 5.
3. Ястреба С.П. Підвищення ефективності роботи і довговічності олійних пресів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: спец. 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв» / С.П. Ястреба. – Київ, 2012. – 19 с.
4. Дворук В.І. Підвищення зносостійкості конструкційної сталі при терті ковзання в масі незакріпленого абразиву методом електроерозійної обробки / В.І. Дворук, К.В. Борак, С.С. Добранський // Проблеми трибології – 2014. – № 4. – С. 90-95.
5. Износ оборудования при переработке пластмасс / [Стамбурский Е.А. Бейль А.И., Карливан В.П., Беспалов Ю.А.]. – М.: Химия, 1985. – 208 с.
6. Деркач В.В. Підвищення зносостійкості циліндра екструдера методом термодифузійної біметалізації : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук : спец. 05.02.04 – «Тертя та зношування в машинах» / В.В. Деркач. – Київ, – 2000. – 20 с.
7. Васильків В.В. Види зношення спіралей гвинтових робочих органів / В.В. Васильків, Д.Л. Радик // Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 100. – С. 197 – 202.
8. Моисеев А.В. Износостойкость дереворежущего инструмента / А.В. Моисеев. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 112 с.
9. Підвищення ефективності виконання заходів з охорони праці та екологічної безпеки під час експлуатації шнекових екструдерів : монографія / Б. М. Цимбал, В. А. Войтов, С. Р. Артем'єв, О. Д. Малько, О. П. Шароватова; Нац. ун-т цивіл. захисту України. - Харків : Бровін О.В., 2018. - 173 с.

10. Briquettes de biomasse de presse [Ressource électronique]: (Site Web) // Anyang Gemco Energy Machinery Co., Ltd. – Mode d'accès: WWW.URL: www.biodiesel-machine.com/fr/biomass-briquette-press.html. – Dernière visite: 2014.

– Titre de l'écran.

11. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. — К.: Техніка, 1970.— 120 с.

12. Гончар В.А. Дослідження зносостійкості азотованої сталі X12 в корозійно-абразивному середовищі / В.А. Гончар // Інформатика та механіка : тези доповідей VIII українсько-польської конференції молодих науковців. – Хмельницький, 2011. – С. 45-46.

13. Черняев В.В. Математическое моделирование влияния геометрических параметров шнека на процессы тепломассопереноса // Вестник ПГТУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – № 3.

14. Бойко А.І. Дослідження динаміки спрацювання периферійної частини витка шнекового робочого органу / А.І. Бойко, В.М. Савченко, В.Л. Куликівський // Науково-виробничий журнал: Техніка і технології АПК. - 2011. № 5. - С. 20-22.

15. Куликівський В.Л. Експериментальні дослідження ефективності роботи гвинтових транспортерів зерноочисних машин / В.Л. Куликівський / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2013. – Вип. 134: Технічні сервіс машин для рослинництва. – С. 95-101.

16. Луцак Д.Л. Підвищення зносостійкості шнеків обладнання для виробництва цегли / Д.Л. Луцак Я.А., Криль, П.М. Присяжнюк // Підвищення надійності машин і обладнання: III Всеукраїнська наук.-практ. конф., 15 квітня 2009 р.: тези доповідей студентів, магістрантів та аспірантів. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – С. 16 – 20.

17. Фенгел Д. Древесина (химия, ультраструктура, реакции): Пер. с англ. / Д. Фенгель, Г. Вегенер, А.А. Леонович // Под ред. д.-ра техн. наук, проф. А.А. Леоновича – М. : Лесная промышленность, 1988. – 512 с.

18. Гевко Б. М. Технология изготовления шнеков. – Львов: Вища шк. Изд-во при Львовском, ун-те, 1986. – 128 с.

19. Термічна обробка металів [Текст]: [навч. посіб.] / А. В. Мохорт, М. Г. Чумак — К.: Либідь, 2002. — 512 с.

20. Лахтин Ю. М. Основы металловедения. — М.: Metallurgiya, 1988. — 320 с.

21. Keller K. Ionitrieren steggepanzelter Schnecken Tür Spritzgießmaschinen / K. Keller // *Plastverarbeiter*. – 1972. – Bd. 23. – S. 1-6.

22. Sidan H. Nitriding Rust-Proof and Acid-Proof Steels / H. Sidan // *Techn. Rundschau*. – Bd. – 1958. – № 242. – S. 842.

23. Восстановление шнеков экструдеров плазменной наплавкой разнополярно-импульсным током / А.В. Грановский, В.В. Чигарев, Н.А. Макаренко, К.А. Кондрашов, А.М. Кушпи // *Захист металургійних машин від поломок: зб. наукових праць / ПДТУ*. – Маріуполь, 2011. – Вип. 13. – С. 235-238.

24. Сіньковський А.С. Матеріали для напилення і наплавлення [Текст]: технологія і устатк. відновлення і підвищ. зносостійкості деталей машин та конструкцій / А. С. Сіньковський ; Одес. нац. політехн. ун-т. - О. : Наука і техніка, 2008. - 126 с.

25. Добровольський О. Г. Матеріалознавство та матеріали у машинобудуванні: Навчальний посібник. К: КНУБА, 2004 – 109 с.

26. Савуляк В.І. Термодинаміка синтезу композиційних зносостійких матеріалів на основі тугоплавких металів / В. І. Савуляк, Г. О. Чорна // *Вісн. Сум. держ. ун-ту. Сер. Техн. науки*. - 2002. - № 9. - С. 83-88.

27. Сом А.И. Сплав на Fe-основе для плазменно-порошковой наплавки шнеков экструдеров и термопластавтоматов [Электронный ресурс] А.И. Сом // *Плазма-Мастер Лтд. – Наука / – Электрон. дан.* – 2014. – Режим доступа: http://www.plasma-master.com.ua/rus/science/science_Fe-alloy .htm.

28. Савуляк В. І. Наплавлення високовуглецевих зносостійких покриттів / В. І. Савуляк, В. Й. Шенфельд. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 124 с.

29. Гольдштейн М. И. Специальные стали. Учебник для вузов./М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер/ – М.: Metallurgiya, 1985. – 408 с.

30. Колосков М. М. Марочник сталей и сплавов / М. М. Колосков, Е. Т. Долбенко, Ю.В. Каширский и др.; Под ред. А.С. Зубченко - М.: Машиностроение, 2001. – 672 с.

31. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин и др; Под общ.ред. В. Г. Сорокина. М.: Машиностроение, 1989. — 640 с.

32. Проектування технологічних процесів відновлення поверхонь: лабораторний практикум / Савуляк В. І., Шенфельд В. Й., Дусанюк Ж. П. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 51 с.

33. Шиліна О.П. Газотермічні методи напилювання покриттів. Навчальний посібник./ О.П. Шиліна, А.Ю. Осадчук/ ВНТУ, 2006.- 103 с.

34. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки/Пер. с яп. Х12 В. Н. Попова; Под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985.— 240 с.

35. Демичев А.Д. Поверхностная закалка индукционным способом. – Л.:Машиностроение, 1979. – 80 с.

36. Молодык Н.В. Восстановление деталей машин. Справочник./ Н.В. Молодык, А.С. Зенкин /М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.

37. Токаренко В.М. Технологія автодорожнього машинобудування і ремонт машин. Курсове проектування: – Навчальний посібник. – К: Вища шк., 1992 р.–127 с.

38. Горбацевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроение [Учебное пособие для машиностроительных спец. вузов]: Изд. 4-е перероб. и доп./ А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкрет – М.: Выш. Школа, 1983 г. – 256 с.

39. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://hurso-ukraine.com.ua/>

40. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т./ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

41. Савуляк В.І. Відновлення деталей машин: Навчальний посібник / В. І. Савуляк, В. Т. Івацько. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – Ч. 1. – 93 с.

42. Шиліна О.П. Газотермічна обробка матеріалів. Навчальний посібник. / О.П. Шиліна, А.Ю. Осадчук/ ВДТУ, 2004. -72 с.

43. Савуляк В.І. Технічне нормування в ремонтному виробництві. /В.І.Савуляк, С.В. Білошицький/ – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 243 с.

44. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. М.: Машиностроение, 1980. Т.2.– 560 с.

45. Козловський В. О. Техніко-екопомічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах і роботах. Навчальний посібник. / В. О. Козловський - Вінниця: ВДТУ, 2003. – 75 с.

46. Козловський В. О. Інноваційний менеджмент. Практикум. / В. О. Козловський, О. Й. Лесько. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 166 с.

47. Юдин Е.Я., Белов С.В. Охрана труда в машиностроении: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1983. – 432 с.

48. Поліщук О. В., Христин О. В., Томчук М. А. Цивільний захист. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ – 2015. – 98 с.

ВНТУ Матеріалознавство

ДОДАТКИ

Додаток А

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ГМ
д.т.н., проф. _____ Поліщук Л.К.
«__» _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на магістерську кваліфікаційну роботу
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ШНЕКА
ЕКСТРУДЕРА

08-27.МКР.08.00.00.000 ТЗ

Керівник: д.т.н., професор, каф. ГМ
_____ В. І. Савуляк
Виконав: ст.гр. ІЗВ-18м
_____ Хоменко О. С.

Вінниця 2019

Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу

Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу складається з основних етапів, які відповідають стандарту та ГОСТ 2.103-2013.

Підстава для розробки наказ ректора ВНТУ № 254 від «02» жовтня 2019 року.

1 Назва та об'єкт проектування

Назва: підвищення якості відновлення робочих поверхонь шнека екструдера.

Умовне позначення: 08-27.МКР 08.00.00.000 ТЗ

Деталь «Шнек екструдера» виготовляється із сталі 45Л ГОСТ 977–88 способом лиття і є робочим органом прес-екструдера. Має складну конічну форму витків (робоча гвинтова поверхня) зі змінним профілем. Відіграє роль транспортера дерев'яної сировини (стружки) та забезпечує її пресування з утворення паливних пелет шляхом гарячої екструзії. Відноситься до швидкозгошованих деталей.

Вказані на кресленні допустимі відхилення розмірів, шорсткості та відхилень геометричної форми та відносного розташування поверхонь з геометричними похибками верстатів є відповідними.

Вказані на кресленні допустимі відхилення розмірів, шорсткості та відхилень геометричної форми та відносного розташування поверхонь з геометричними похибками верстатів є відповідними.

Задані на кресленні розміри можуть використовуватись для безпосереднього вимірювання на деталі.

На кресленні деталі немає специфічних вимог і тому немає необхідності змінювати вимоги.

Квалітети точності та шорсткість оброблюваних поверхонь можуть бути забезпечені при застосуванні відповідних методів обробки та кількості переходів. Відносне розташування поверхонь може бути забезпечене за рахунок застосування відповідних схем базування при механічній обробці та правильної організації змісту операцій.

2 Мета, завдання, призначення та джерела розробки

Розробка технологічного процесу проводиться на основі завдання на магістерську кваліфікаційну роботу згідно наказу ректора ВНТУ № від 02.10.19 р., складеного у відповідності до вимог навчального плану підготовки спеціалістів у ВНТУ і затвердженого кафедрою ГМ.

Призначенням даної магістерської кваліфікаційної роботи є виконання технологічних та конструкторських розробок для вдосконалення технологічного процесу аналога. Це можливо досягнути шляхом введення необхідних операцій для кращих експлуатаційних властивостей шнека екструдера, проведення необхідних розрахунків оптимальних режимів обробки та модернізації, або проектуванням нової конструкції окремого технологічного обладнання.

Мета і завдання досліджень. є розробка ефективного способу одержання зносостійких покриттів робочих поверхонь шнеків, які здатні працювати в умовах екструзії, шляхом наплавлення недорогими маловуглецевими матеріалами із застосуванням легувальних комплексів.

Науково-технічною задачею, яка вирішується в даній роботі є дослідження впливу легувальних комплексів на твердість та структуру поверхневих шарів, утворених шляхом наплавлення маловуглецевими матеріалами, покращення триботехнічних характеристик робочих поверхонь деталей типу шнек.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Наплавлення поверхневого шару з вибраним легувальним комплексом та керування твердістю і стабільністю структури;

2. Використання мікроструктурних методик досліджень металевих фаз, що утворюються під час наплавлення;
3. Методи планування експериментів;
4. ДюрOMETричні дослідження;
5. Триботехнічні дослідження.

Джерелами розробки є:

- методика техніко-економічного обґрунтування роботи;
- методика проектування технологічного процесу відновлення деталей типу шнек;
- методика модернізації та проектування конструкції технологічного обладнання;
- вимоги до комплексу документів “Єдина система конструкторської та технічної документації”;
- загальні правила розробки технологічних процесів і вибір засобів технологічного оснащення ГОСТ 14.301-89;
- ДЕСТ 14.305-93 – Правила вибору технологічної оснастки;
- технічна література, довідникові видання.

1. Савуляк В.І. Ремонт та відновлення деталей машин та апаратів. Методичні вказівки до виконання курсових проектів / В.І. Савуляк. – Вінниця: ВНТУ [Електронний ресурс], 2009.

2. Савуляк В.І. Технічне нормування в ремонтному виробництві. /В.І.Савуляк, С.В. Білошицький/ – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 243 с.

3. Козловський В. О. Техніко-екопомічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах і роботах. Навчальний посібник. / В. О. Козловський - Вінниця: ВДТУ, 2003. – 75 с.

4. Козловський В. О. Інноваційний менеджмент. Практикум. /В. О. Козловський, О. Й. Лесько. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 166 с.

5. Оснач О. Ф. Промисловий маркетинг: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. Ф. Оснач, В. П. Пилипчук, Л. П. Коваленко – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 364 с.

6. Савуляк В.І. Відновлення деталей автомобілів. Навчальний посібник / В.І. Савуляк, В.Т. Івацько. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 104 с.

7. Савуляк В. І. Магістерська кваліфікаційна робота. Загальні вимоги та рекомендації до її виконання : навчальний посібник. / В. І. Савуляк, О. П. Шиліна – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 64 с.

8. Шиліна О.П. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Наплавлення і напилювання» студентами напряму підготовки 6.050504 – Зварювання /Уклад. О.П. Шиліна. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 34 с.

3 Технічні вимоги та економічні показники

3.1 Вимоги до загальної структури і послідовності проектування

Зміст розділів магістерської кваліфікаційної роботи та строки їх виконання визначаються завданням на магістерську кваліфікаційну роботу та положенням кафедри по модульно-рейтинговій оцінці рівня та термінів виконання роботи.

Стадії розробки та етапи робіт встановлені по ГОСТ 2.103-2013.

Поетапні строки, що вказуються в ТЗ, є орієнтовними. Основними строками виконання робіт вважають строки, які встановлені в плані дослідно-конструкторських робіт.

Зміст стадій проектування та строки їх виконання визначаються завданням на магістерську кваліфікаційну роботу.

3.2 Вихідні дані для технологічного проектування

Приймаємо наступні вихідні дані для технологічного проектування:

– річний обсяг ремонту валу коробки відбору потужності 2000 шт,

– знос поверхонь, що відновлюються, не більше 2 мм від робочого креслення.

3.3 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації

З метою підвищення надійності, ремонтпридатності та економічності експлуатації технологічного обладнання, що розробляється, слід максимально застосувати стандартні вироби.

Рівень стандартизації та уніфікації конструкції повинен складати не менше 80%.

3.4 Вимоги до техніки безпеки та охорони навколишнього середовища

Конструктивні рішення повинні відповідати вимогам безпеки згідно встановлених параметрів відповідних стандартів по охороні праці та безпеці виробництва.

Викиди в навколишнє середовище не повинні перевищувати параметри, встановлені екологічним паспортом підприємства.

4 Стадії та етапи розробки

Проектування технологічного процесу повинно проводитись з використанням варіантного пошуку раціонального рішення, включати такі основні етапи:

-техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу відновлення шнека екструдера;

- розробка основної проектної задачі;

- технологічне проектування технологічного процесу;

- розробка обладнання та пристосування для технологічного процесу;

- охорона праці, навколишнього середовища та ЦО;

- економічна ефективність розробок.

5 Порядок контролю та приймання

Контроль та приймання розробок виконується у відповідності до „Положення про дипломне проектування” на кафедрі ГМ.

Технічне завдання оформлюється у відповідності з загальними вимогами до текстових конструкторських документів по ГОСТ 2.705-2013, на листах формату А4 по ГОСТ 9327-90.

ВНТУ Матеріалознавство

Додаток Б

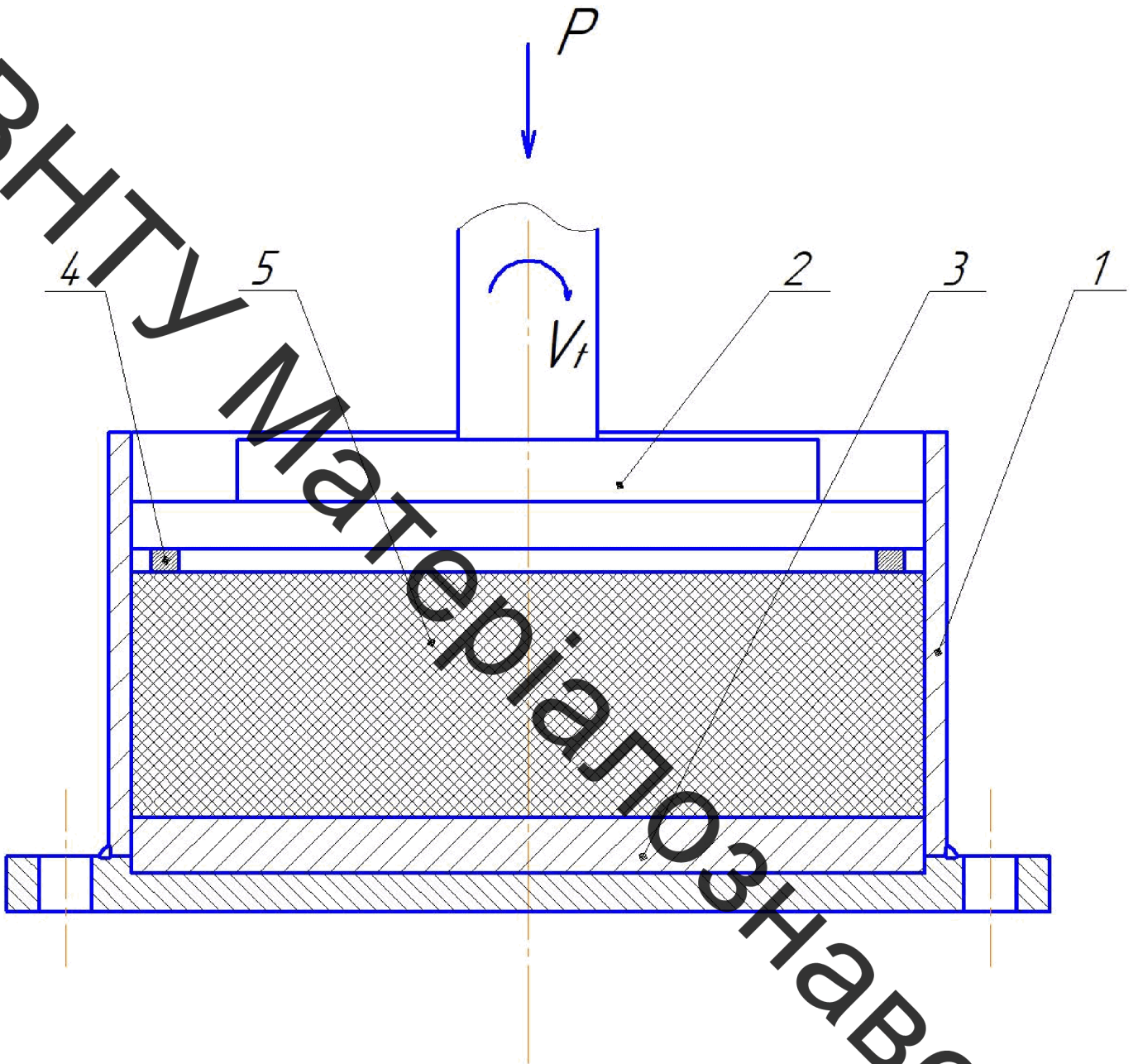
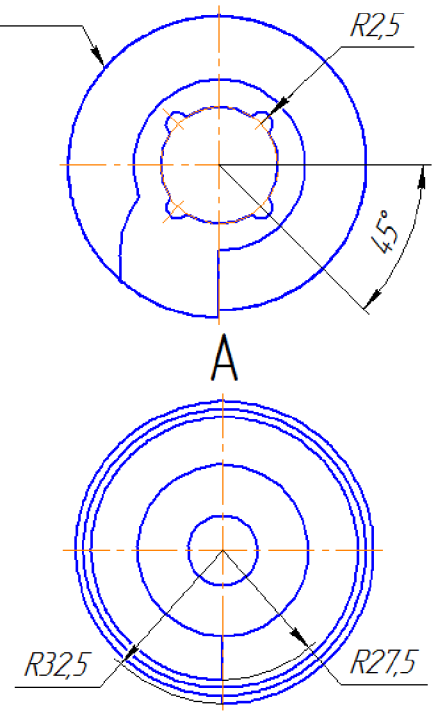
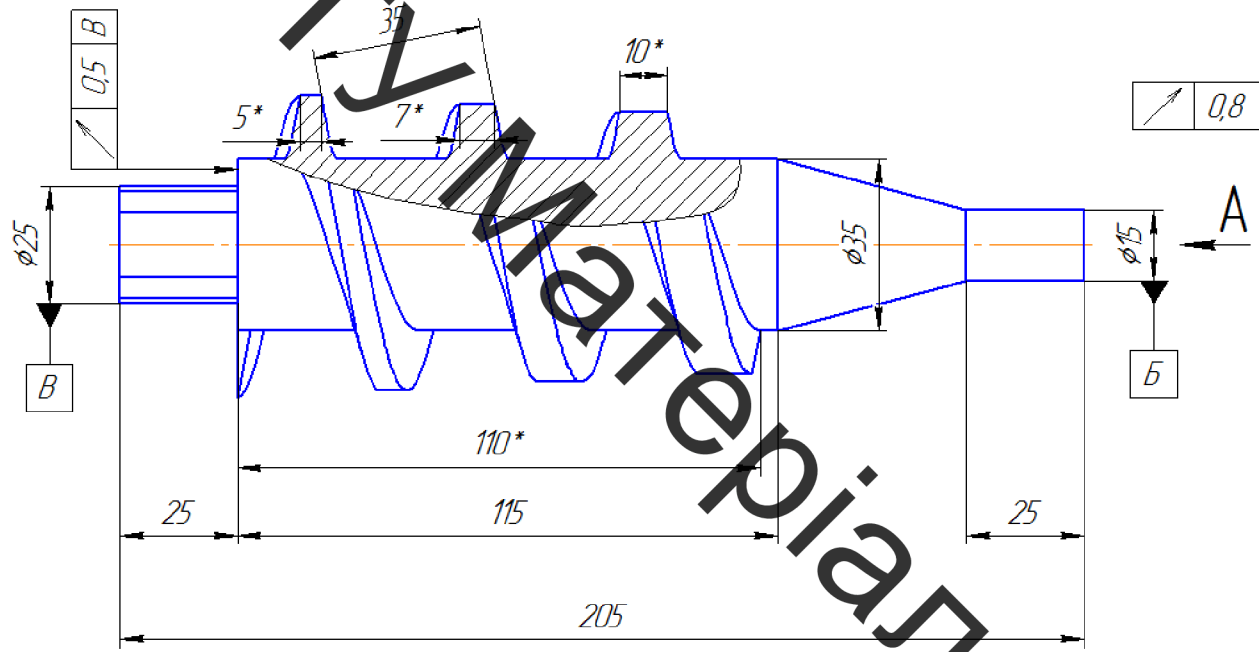


Рисунок Б1 – Схема для випробування на зношування.

1 – корпус; 2 – тримач зразків; 3 – контртіло; 4 – зразки; 5 – дерев'яна стружка

08-27.MKP.08.00.001

$\sqrt{Ra\ 12,5}$



- 1 255...159 НБ
- 2 Невказані графічні відхилення розмірів Н14, н14, $\pm IT14/2$
- 3 Невказані лідарні радіуси 2 мм
- 4 Кут гвинтавої нарізки 13°
- 5 *Розміри для довідок
- 6 Напрямок обертання лівої; три витки; гострі кромки скруглити

08-27.MKP.08.00.001

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
							1:1
Разраб.		Хоменко О.С.					
Проб.		Савилюк В.І.					
Т.контр.		Савилюк В.І.					
Н.контр.		Бакалець Д.В.					
Л.п.з.		Пашук Л.К.					

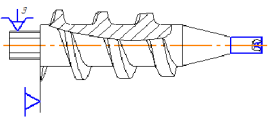
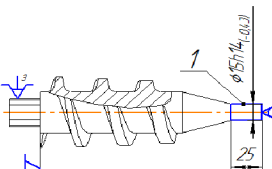
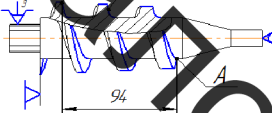
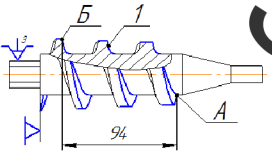
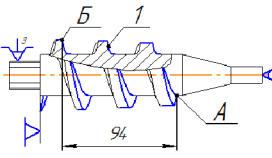
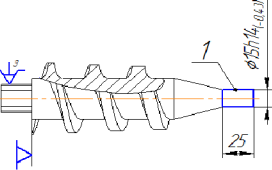
Шнек екструдера

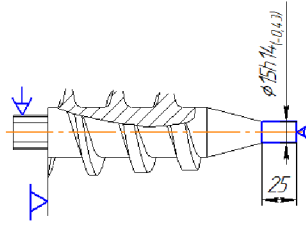
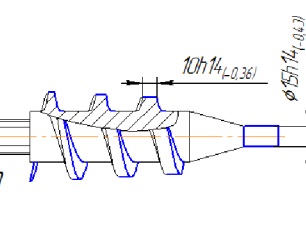
Сталь 45

ГОСТ 977-83

копірдаст

Лист	Листов	Масштаб
	1	1:1
ст. зр. 13В-18М		
ЕАТН		
Формат А3		

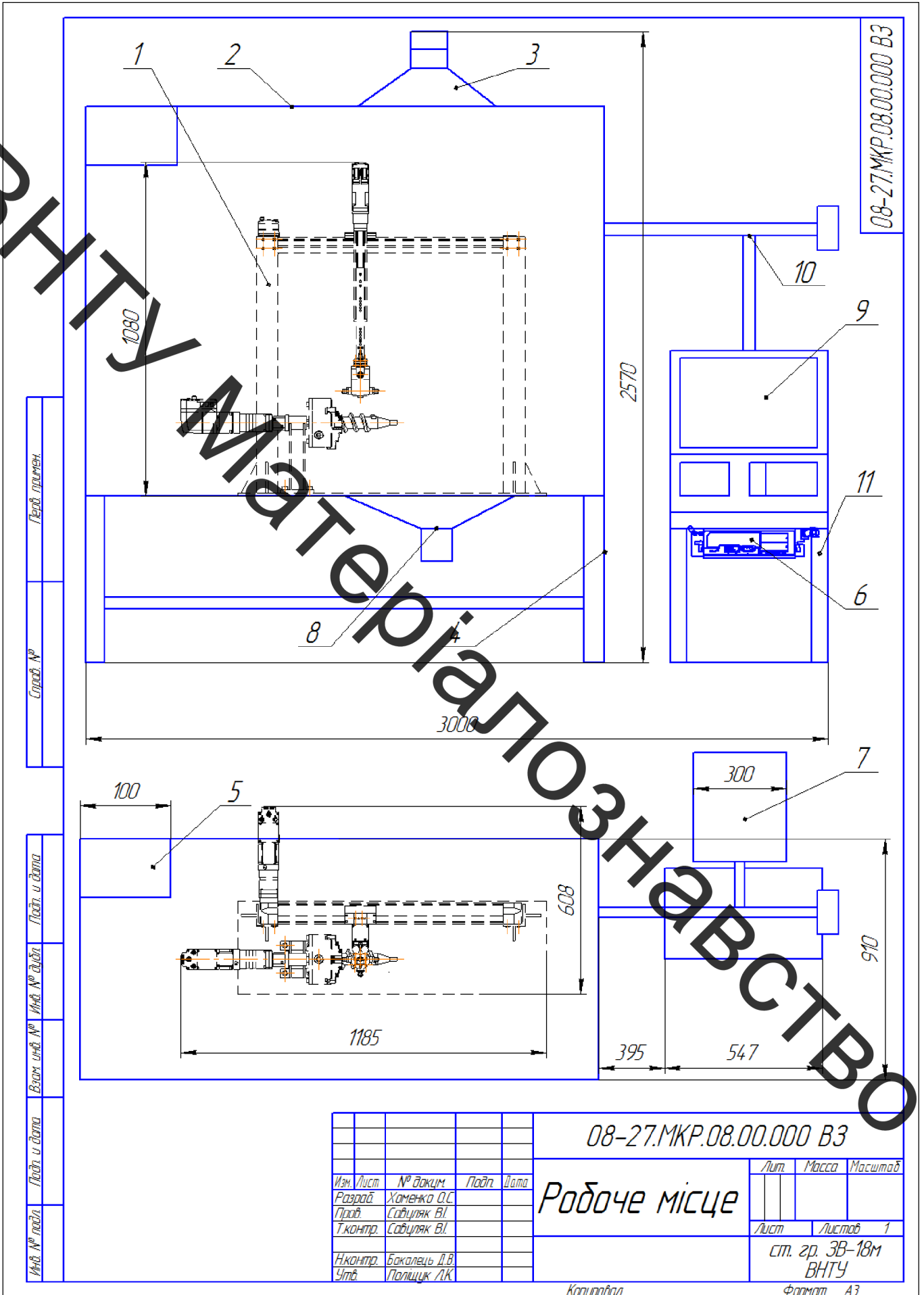
№	Найменування операції та технічних переходів	Схема встановлення	Обладнання
005	<p>Очисна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити деталь; 2. Обробити деталь в розчині лугів; 3. Промити розчином "Лабомід-102"; 4. Зняти деталь. 		Установка електроімпульсної обробки УІП-25
010	<p>Дефектувальна</p> <p>Дефектувати деталь та визначити всі дефекти, які потрібно відновити</p>		Стіл контрольний
015	<p>Токарна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Центрувати та виконати центр. отв. $\varnothing 25$ дов. 1-14.034-74 на вільному торці. 		Токарно-гвинтарічний верстат 16К20Ф.
020	<p>Токарна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Точити 0,3 мм пов.1 на відстань 25 мм; 3. Зняти деталь. 		Токарно-гвинтарічний верстат 16К20Ф.
025	<p>Фрезерування</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Фрезерувати 2,3 мм пов.1 витків з точки А у точку Б на радіусі R21; 3. Зняти деталь. 		<ol style="list-style-type: none"> 1. Універсальний фрезерний верстат Нисса WMx 42i; 2. Поворотний стіл Kitagawa MR 320.
030	<p>Наплавлення</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Наплавити на пов.1 витків шар товщиною 2 мм з точки Б у точку А; 3. Наплавити на пов.1 витків шар товщиною 1,5 мм з точки Б у точку А ; 4. Зняти деталь. 		Універсальний наплавочний верстат Ч-653М
035	<p>Фрезерування</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Фрезерувати 1,2 мм пов.1 витків з точки А у точку Б на радіусі R21; 3. Фрезерувати вершини витків у розмір відповідно до креслення деталі; 4. Зняти деталь. 		<ol style="list-style-type: none"> 1. Універсальний фрезерний верстат Нисса WMx 42i; 2. Поворотний стіл Kitagawa MR 320.
040	<p>Напилювальна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Напилити 1,2 мм пов.1 на відстань 25 мм; 3. Зняти деталь. 		Установка для плазмового напилювання ТСЗП-МФ-Р-1000

045	<p>Токарна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Точити 0,3 мм пов.1 на відстань 25 мм; 3. Зняти деталь. 		Токарно-гвинторізний верстат 16К20Ф
050	<p>Гартувальна</p> <p>Гартувати протягом 3 с струмом частота 10 кГц з охолодженням у воду</p>		Індуктор С4В-15В
055	<p>Контрольна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установити деталь; 2. Контролювати розмір 10h14; 3. Контролювати розмір $\phi 15h14$; 4. Контролювати поверхні витків відповідно до креслення деталі; 5. Зняти деталь. 		Стіл контрольний

Формат		Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
<i>Документація</i>							
A1				08-27.МКР.08.00.000 ВЗ	Вид загальний		
<i>Складальні одиниці</i>							
A1	1			08-27.МКР.08.10.000	Установка з ЧПК для напилення	1	
A2	2			08-27.МКР.08.20.000	Захисна камера	1	
A2	3			08-27.МКР.08.30.000	Вентиляція приточно-витяжна	1	
A2	4			08-27.МКР.08.30.000	Станина	1	
A3	5			08-27.МКР.08.40.000	Живильник	1	
<i>Стандартні вироби</i>							
	6				Контролер СММР-АС-С2-3А-М3	1	
	7				Блок живлення плазматрона ВД-406	1	
<i>Інші вироби</i>							
	8				Витяжка	1	
	9				Комп'ютер	1	
	10				Шляхопровід	1	
	11				Стіл	1	
				08-27.МКР.08.00.000			
Изм. Лист		№ докум.		Подп.	Дата		
Разраб. Хоменко О.С.							
Проб. Савчуляк В.І.							
Исполн. Баколиць Д.В.							
Утв. Поліщук Л.К.							
Робоче місце						Лист	Лист
						1	1
						ЗВ-18м ВНТУ	

Копировав

Формат А4



08-27.МКР.08.00.000 ВЗ

Перш. приміст.
Стор. №

Лист. і дата
Інд. № дроб.
Інд. № дроб.
Інд. № дроб.
Лист. і дата
Інд. № дроб.

Ізм.	Лист	№ док.	Підп.	Дата
Розроб.		Хоменко О.С.		
Проб.		Савицьк В.І.		
Т.контр.		Савицьк В.І.		
Інконтр.		Бакалець Д.В.		
Утв.		Поліщук Л.К.		

08-27.МКР.08.00.000 ВЗ

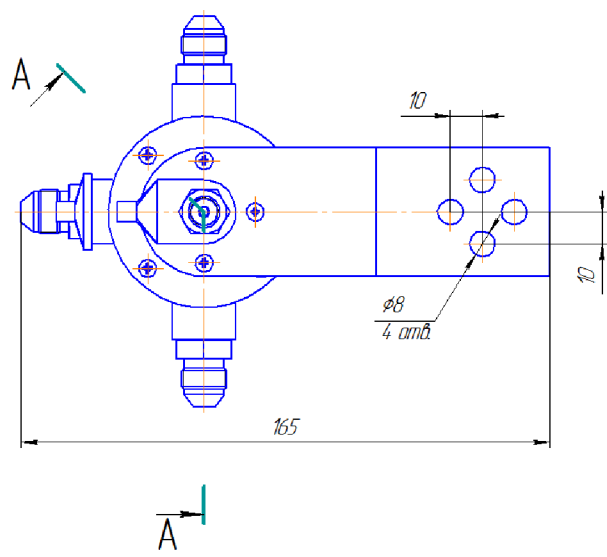
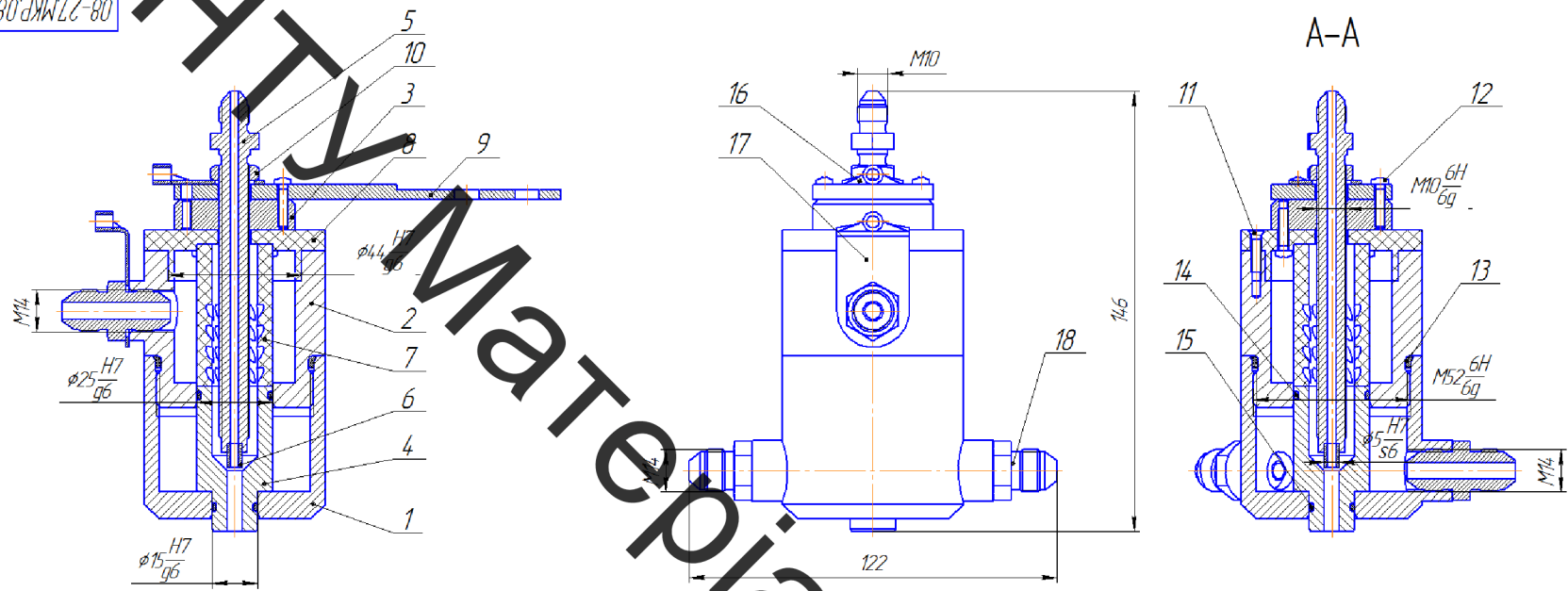
Робоче місце

Лист	Маса	Масштаб
Лист	Листов	1
ст. гр. ЗВ-18м ВНТУ		

Копірован

Формат А3

08-27.MKP.08.11.000 СК



- 1. Всі розміри для довідок
- 2. Під дію з'єднання під прохідники встановити на герметик КМТ-20
- 3. Для з'єднань 691-89 при кінцевому складанні
- 4. Герметичність з'єднань перевірити надлишковим тиском в 0,6 МПа на протязі 10 хв
- 2. 4. Мат.технічні вимоги за ОСТ.4.ГО.070.015

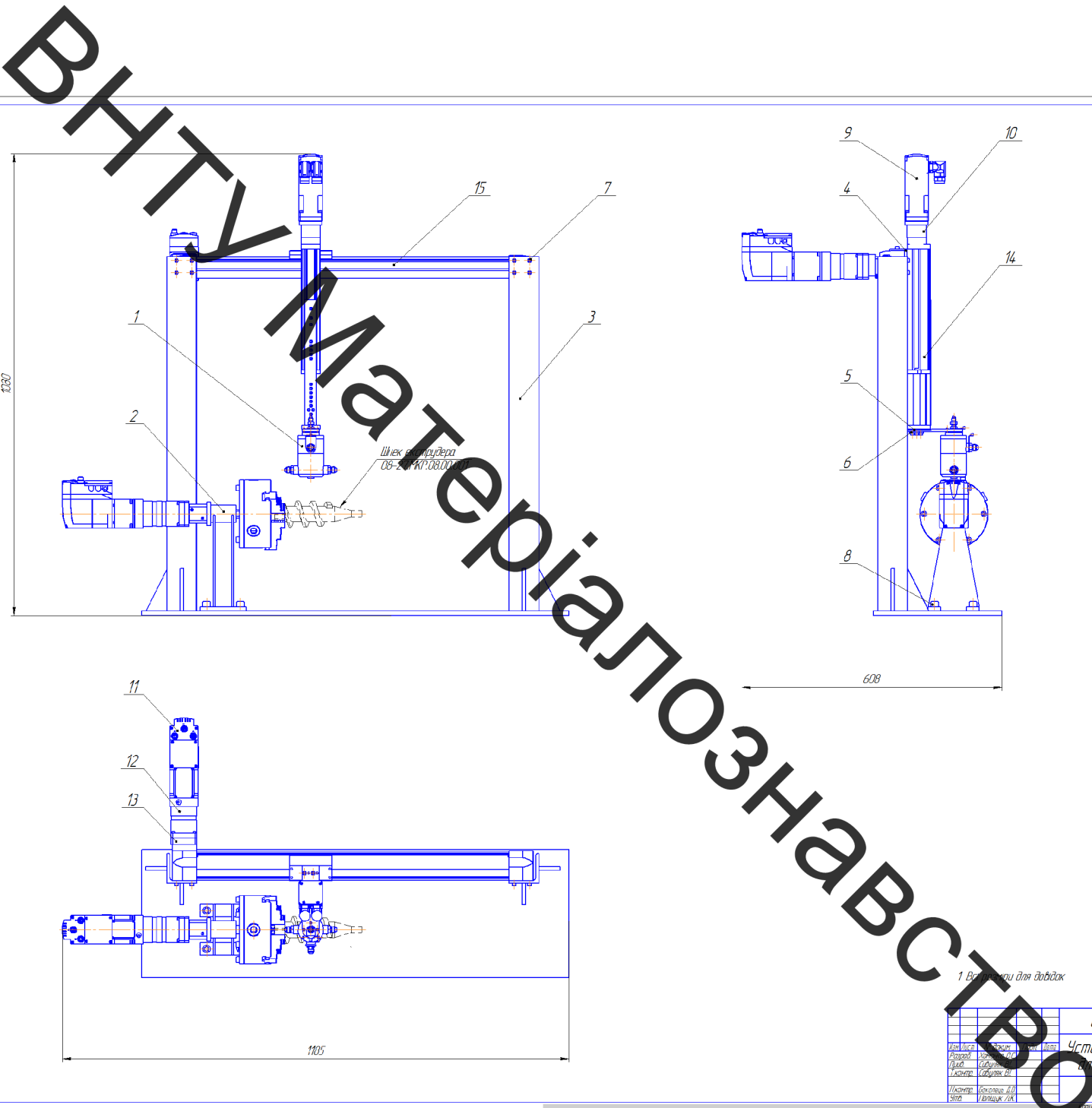
Листів у складі: 1
 Сторінок: 1
 Назва: 08-27.MKP.08.11.000 СК
 Код: 08-27.MKP.08.11.000 СК

08-27.MKP.08.11.000 СК				Лист	Масштаб
Відкриття	№ докум.	Розроб.	Дата	11	
Розроб.	Харченко О.С.	Проєкт.	Савицький В.І.		
Лист	Савицький В.І.			Листів	1
Начальник	Борисенко Л.В.	Учт.	Савицький В.І.	ст. зр. ЗВ-18м ВНТУ	
Копія				Формат А2	

Формат		Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание								
<i>Документация</i>															
Старый №	Перв. примен.	08-27.МКР.08.10.000.000.000	A1	08-27.МКР.08.10.000 СК	Установка з ЧПК для напилення										
			<i>Сборочные единицы</i>												
			A2	1	08-27.МКР.08.11.000	Плазматрон	1								
A2	2	08-27.МКР.08.12.000	Обертач	1											
A3	3	08-27.МКР.08.13.000	Рама	1											
<i>Детали</i>															
A4	2	08-27.МКР.08.10.001	Планка	1											
A4	5	08-27.МКР.08.10.002	Изолятор	1											
A4	6	08-27.МКР.08.10.003	Изоляційна втулка	4											
<i>Стандартные изделия</i>															
Взам. шиф. №	Инд. № дубл.	Взам. шиф. №	Инд. № дубл.	Инд. № дубл.	Инд. № дубл.	Инд. № дубл.	Инд. № дубл.								
								3	Гвинт ГОСТ Р ИСО 4762 - M5 x 16	16					
								8	Гвинт ГОСТ Р ИСО 4762 - M12 x 20	4					
								9	Серводвигун ЕММС-4S-55-M-LS-RR	1					
								10	Осьовий набір ЕАММ-А-032-55А	1					
								11	Серводвигун ЕМСА-ЕС-07-1-115-50	1					
								12	Редуктор ЕМГС-60-Р-Г3-54-50	1					
								13	Осьовий набір ЕАММ-А-138-60	1					
								14	Консольний привід ЕГСЛ-BS-45-200-10Р	1					
								15	Портальна вісь ЕГС-70-600-ТВ-КФ-ОН-БК	1					
								08-27.МКР.08.10.000							
								Инд. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
									Разраб.	Хоменко О.С.				Лист	Листов
									Пров.	Савуляк В.І.				1	1
									Н.контр.	Баколець Д.В.				ст. гр. 3В-18м ВНТУ	
Утв.	Поліщук Л.К.														

Копировал

Формат А4



08-27.МКР.08.10.000 СК

Лист № 0000
 Назва: ЧПУ
 Код: 08-27.МКР.08.10.000
 Дата: 08.10.2008
 Версія: 1.0

1 Висновки для надіток

08-27.МКР.08.10.000 СК		Лист	Місця	Всього
Лист	Місця	Всього	15	
Установка з ЧПУ		Лист	Листів	1
для напильня		ст. зр. ЗБ-184		
		ВНТУ		
		Формат А1		

ВНТУ Матеріалознавство