

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра ГМ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему:
Підвищення якості відновлення робочих
поверхонь шнека екструдера

Виконав: ст. гр. 13В-18м
Хоменко О.С.

Науковий керівник: д.т.н., проф.
Савуляк В.І.

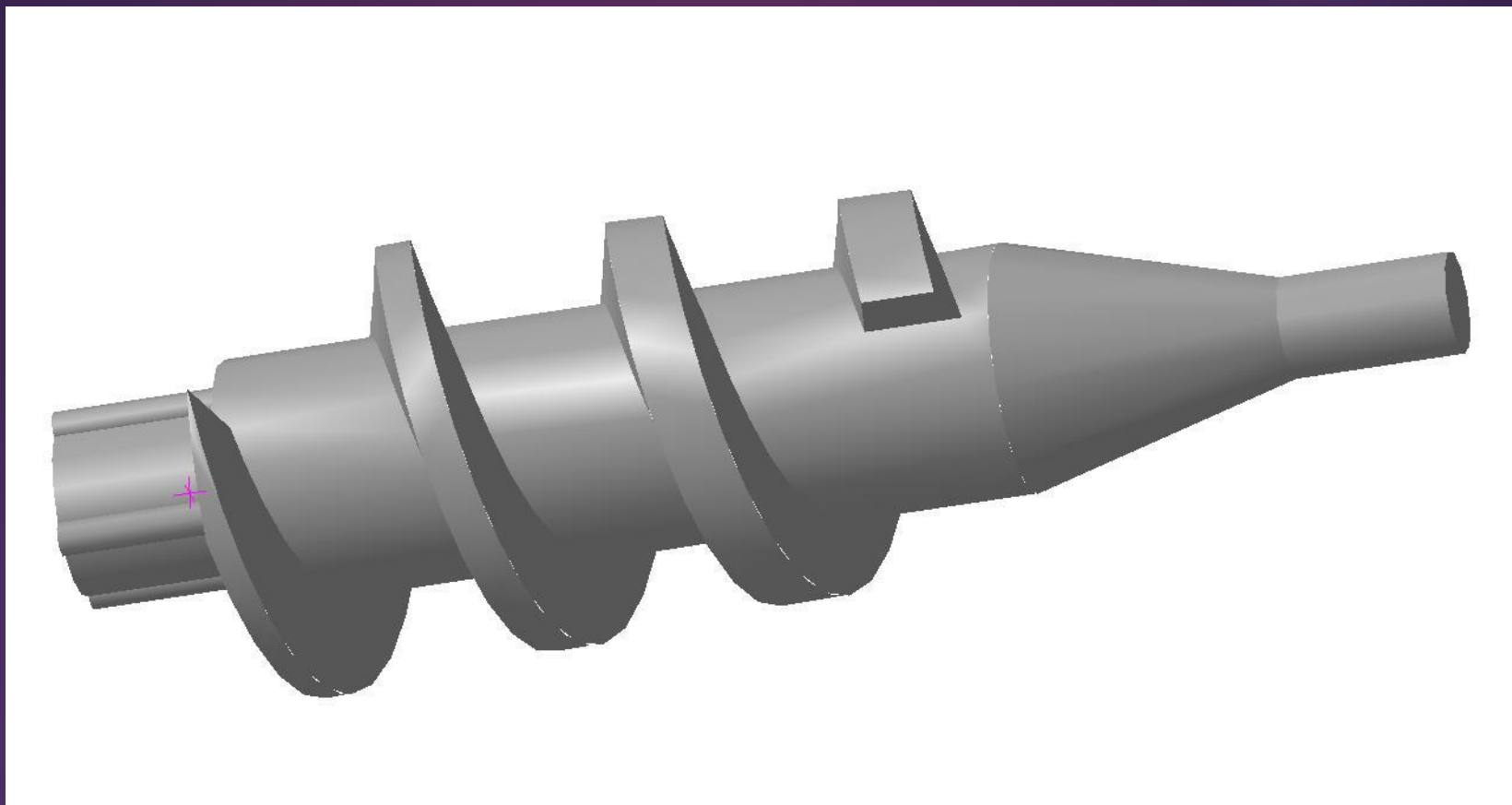
Метою роботи є розробка ефективного способу одержання зносостійких покриттів робочих поверхонь шнеків, які здатні працювати в умовах екструзії, шляхом наплавлення недорогими маловуглецевими матеріалами із застосуванням легувальних комплексів.

Задачі дослідження:

- Розробити математичну модель процесу шнекової екструзії.
- Дослідити вплив твердості робочих поверхонь шнеків на їх механічний знос в умовах сухого тертя з дерев'яною стружкою, що імітує процес екструзії.
- Встановити та підібрати спосіб нанесення легувального комплексу на поверхню для наплавлення.
- Обрати відповідний наплавний матеріал та спосіб нанесення покриття.
- Дослідити вплив легувальних комплексів на основі хрому, молібдену, ванадію, вуглецю, карбїду 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.

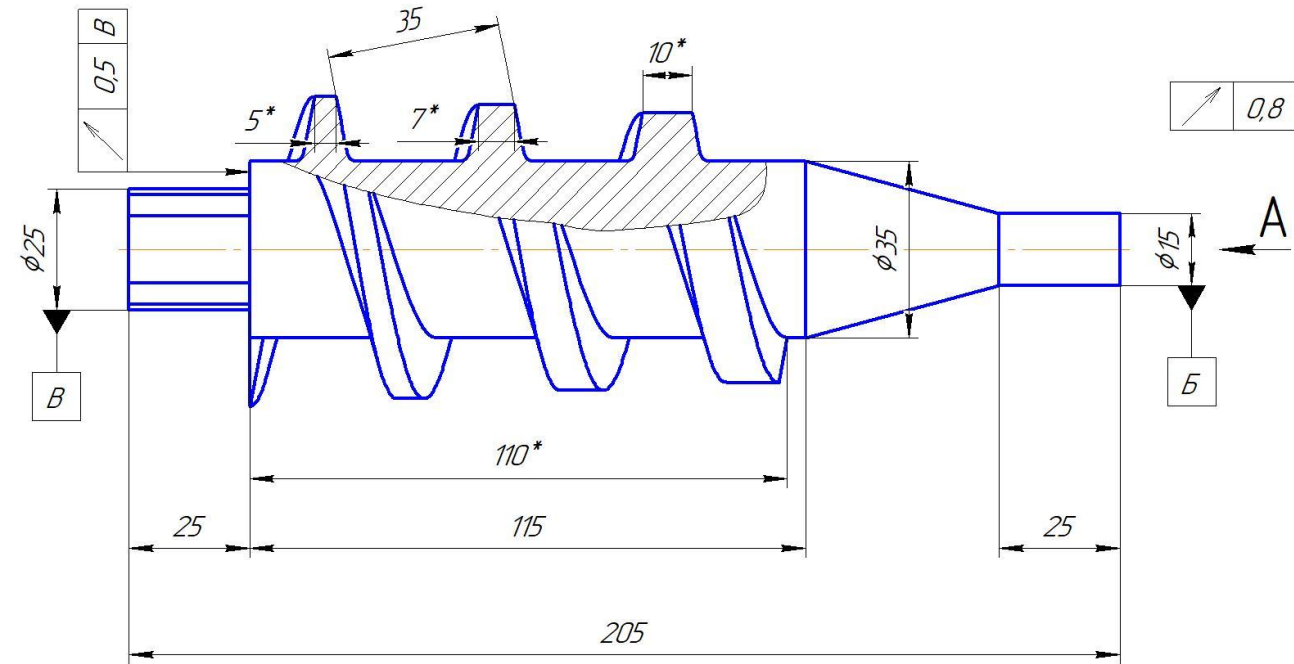
Предмет дослідження – наплавлення зносостійких покриттів з використанням легувальних комплексів Cr-Mo-V-C та Cr-B₄C-Mo-C.



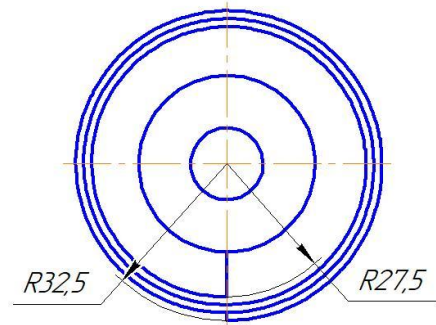
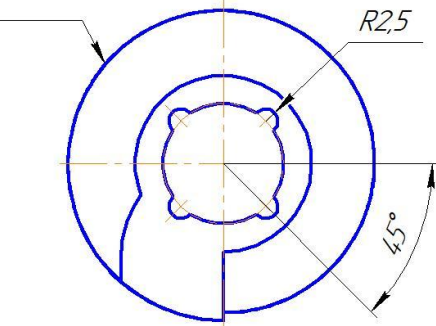
3D модель шнека экструдера

08-27.МКР.08.00.001

$\sqrt{Ra\ 12,5}$



$\sqrt{Ra\ 0,8\ B, B}$



- 1 255...159 НВ
- 2 Невказані граничні відхилення розмірів Н14, h14, ±IT14/2
- 3 Невказані ливарні радіуси 2 мм
- 4 Кут звинтової нарізки 11°13'
- 5 *Розміри для довідок
- 6 Напрямок обертання лівий; три витки; гострі кромки скруглити

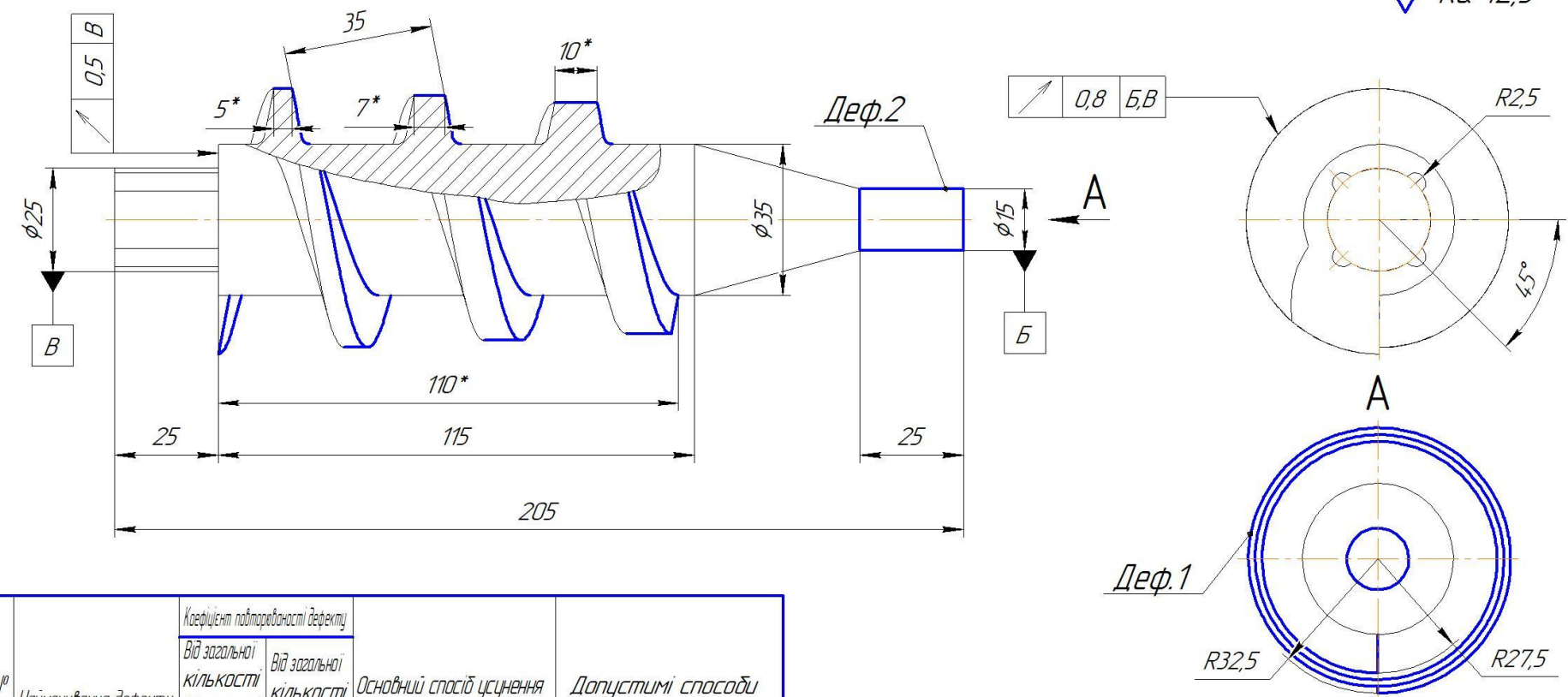
Тверд. примен.
Староб. №
Лист. і дата
Лист. № докл.
Взам. шиф. №
Лист. і дата
Лист. № докл.

08-27.МКР.08.00.001

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Шнек экструдера	Лит	Масса	Масштаб
Разраб.		Хоменко О.С.						1:1
Проб.		Савуляк В.І.				Лист	Листов	1
Т.контр.		Савуляк В.І.				Ст. гр. 13В-18М, ВНТУ		
Н.контр.		Бакалець Д.В.			Сталь 45/1 ГОСТ 977-88			
Утв.		Поліщук Л.К.			Копировал Формат А3			

08-27.МКР.08.00.002 Р

√ Ra 12,5



№ дефекту	Найменування дефекту	Коефіцієнт повторюваності дефекту		Основний спосіб усунення дефекту	Допустимі способи усунення дефекту
		Від загальної кількості деталей, що надійшли до дефектування	Від загальної кількості ремонтпридатних деталей		
1	Знос внутрішньої поверхні витків	0,6	0,8	Автоматичне наплавлення у середовищі вуглекислого газу дротом НГ-40Х2Г2М	Ручне дугове наплавлення електродам Т-590
2	Знос поверхні	0,6	0,8	Плазмове наплавлення порошком ПГ-12-Н-01	Ручне дугове наплавлення електродам УОНИИ 13/45

- 1 255..159 НВ
- 2 Невказані граничні відхилення розмірів Н14, н14, ± IT14/2
- 3 Невказані ливарні радіуси 2 мм
- 4 Кут підйому гвинтової лінії 11°13'
- 5 *Розміри для довідок
- 6 Напрямок обертання лівий; три витки; гострі кромки скруглити

Відновленню не піддаються деталі, що мають сколи та тріщини

				08-27.МКР.08.00.002 Р			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Хоменко О.С.						1:1
Пров.	Савилюк В.І.						
Т.контр.	Савилюк В.І.				Лист	Листов	1
Н.контр.	Бакалець Д.В.				Ст. гр. 13В-18М, ВНТУ		
Утв.	Поліщук Л.К.				Формат А3		

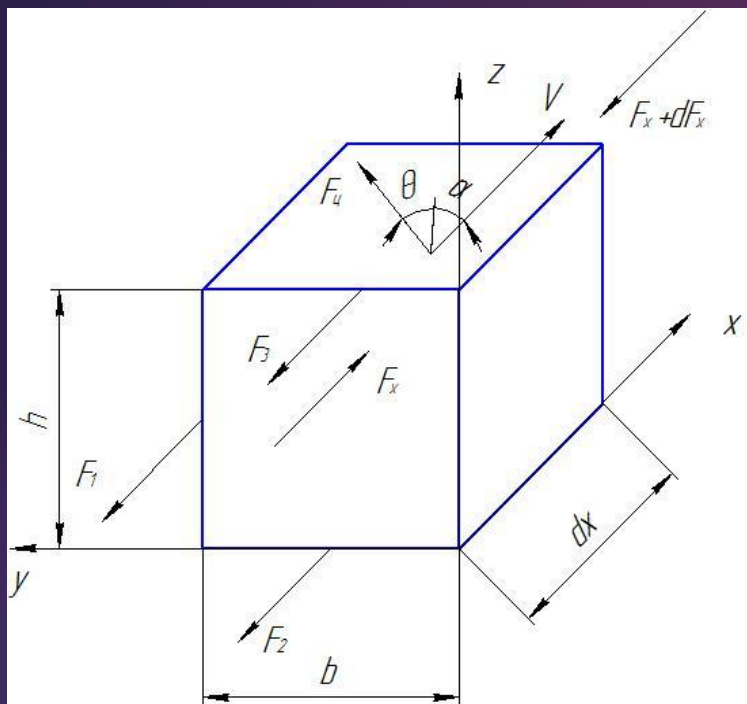
Шнек екструдера

Сталь 45/1
ГОСТ 977-88



Зношені поверхні шнека екструдера

Математична модель процесу екструзії



$$\begin{cases} F_x - (F_x + dF_x) - 2 \cdot F_1 - F_2 + F_4 \cdot \cos(\theta + \alpha) - F_3 = 0; \\ F_1 = \frac{F_x}{h \cdot b} \cdot h \cdot dx \cdot f_m; \\ F_2 = \frac{F_x}{h \cdot b} \cdot b \cdot dx \cdot f_m; \\ F_3 = F_4 \cdot \sin(\theta + \alpha) \cdot f_m; \\ F_4 = \frac{F_x}{h \cdot b} \cdot b \cdot dx \cdot f_y. \end{cases}$$

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

$$A = -\frac{2 \cdot f_m}{b} - \frac{f_m}{h} - \frac{f_m \cdot f_y \cdot \sin(\theta + \alpha)}{h} + \frac{f_y \cdot \cos(\theta + \alpha)}{h}$$

$$\frac{dF_x}{F_x} = \frac{dP_x}{P_x}$$

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

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

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

де P_0 – початковий тиск, МПа;

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

x – відповідна координата, м.

Триботехнічні дослідження

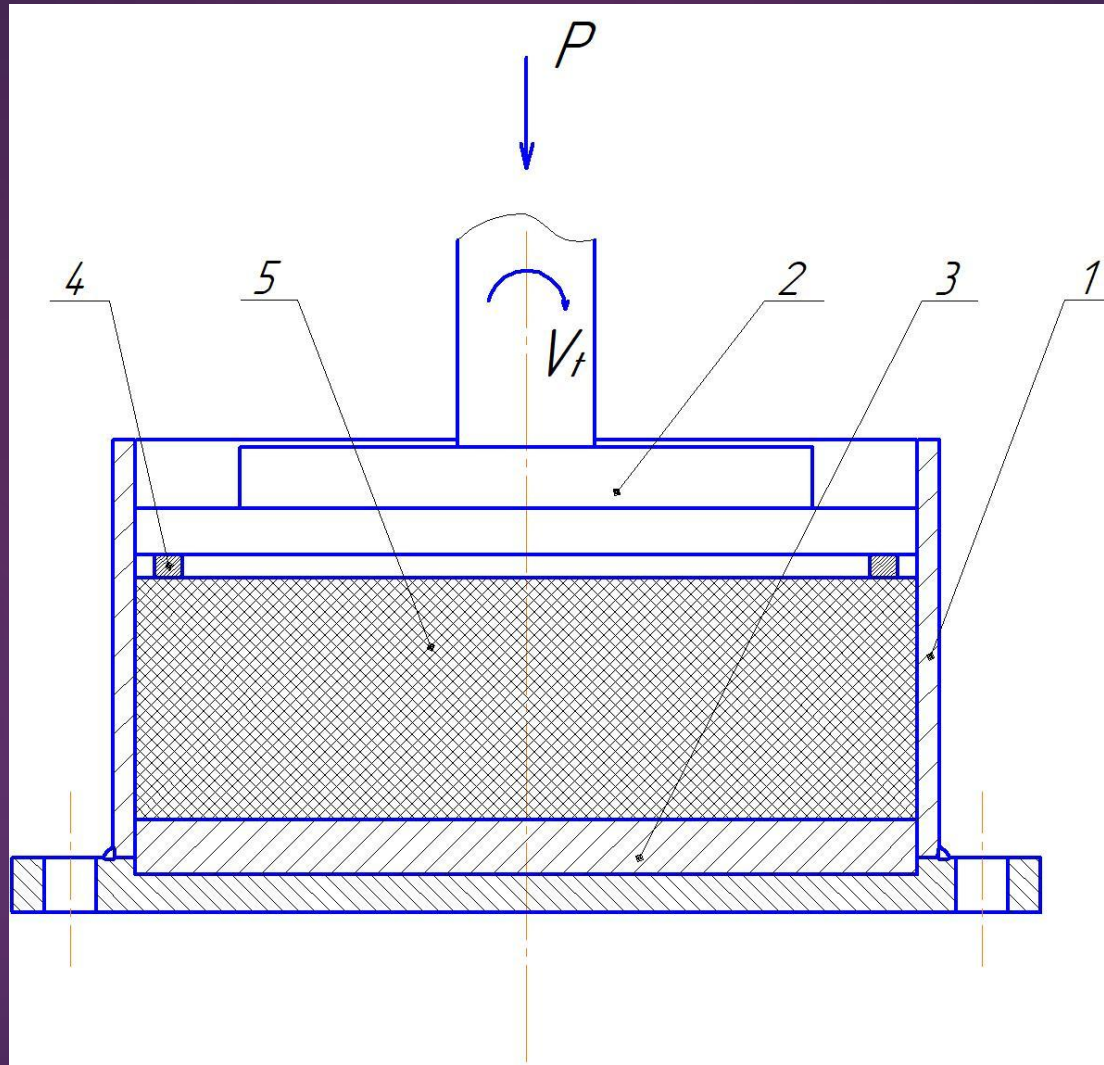


Схема для випробування на зношування:

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



Зразок з твердістю поверхні 35 HRC



Зразок з твердістю поверхні 55 HRC

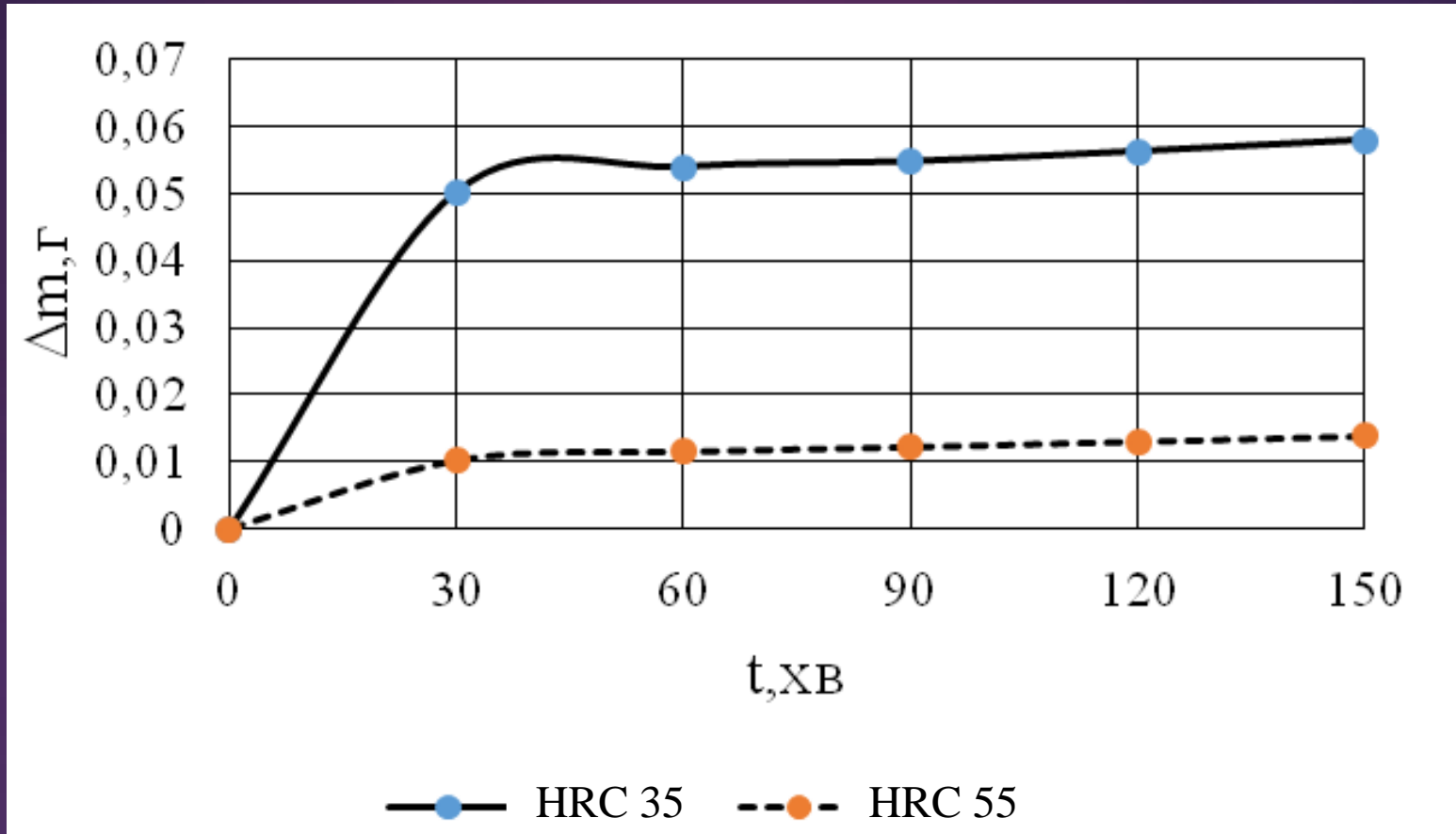


Тримач із закріпленими зразками



Реалізація схеми випробування на свердильному верстаті 2Н135

Результати дослідження



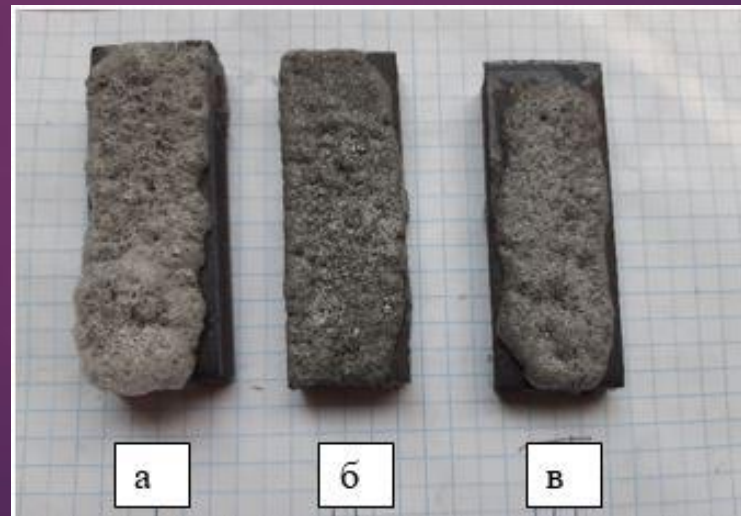
Побудовані криві зносу на основі отриманих значень зносу

Наплавлення поверхонь із застосуванням легувальних комплексів

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
Молібден Мо, %	0,5	1	1
Ванадій V, %	-	1	1
Карбід бору В ₄ С, %	1	-	-
Залізо Fe, %	Інше	Інше	Інше

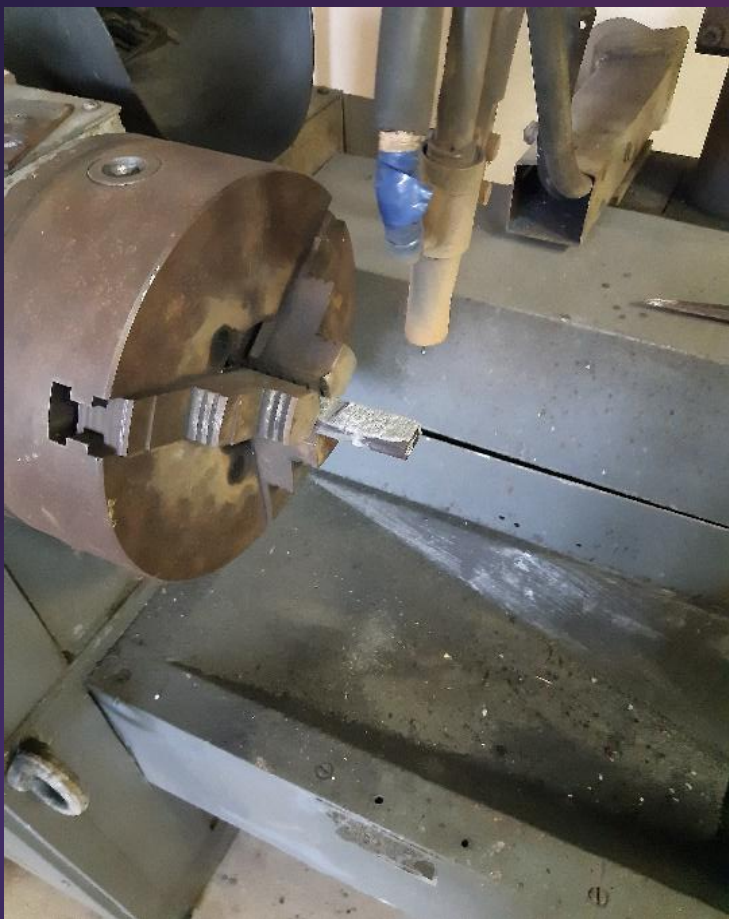


Зразки з нанесеними суспензіями до просушки



Зразки після просушки при 300°C протягом 1 год

а – зразок 1 (Cr-B₄C-Mo-C);
б – зразок 2 (Cr-Mo-V-C);
в – зразок 3 (Cr-Mo-V-C).



Наплавлення зразків на
установці УД-209М

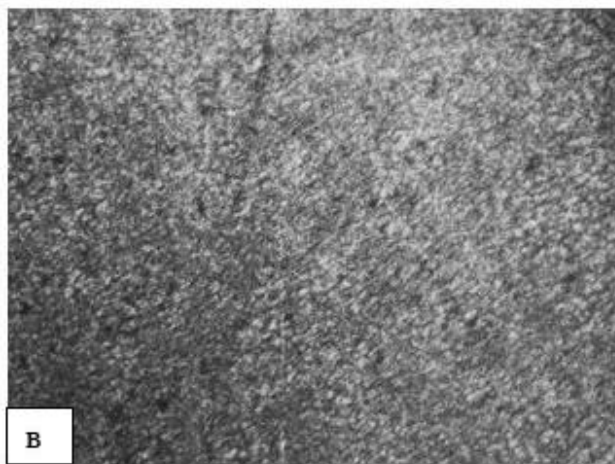
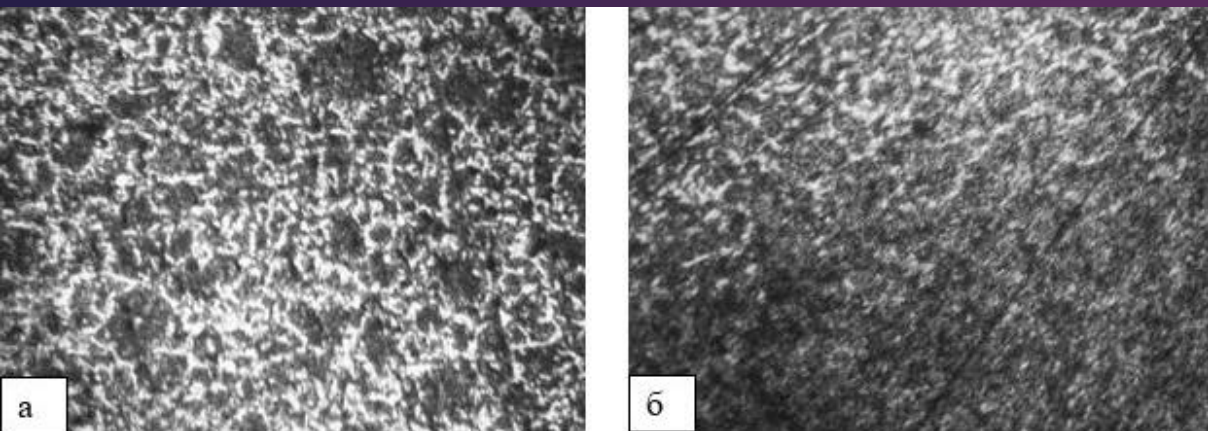


Наплавлені зразки:

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

Наплавлення відбувалось дротом Св-08Г2С
при швидкості 5 м/год та силі струму 100 А

Наплавлений зразок 1



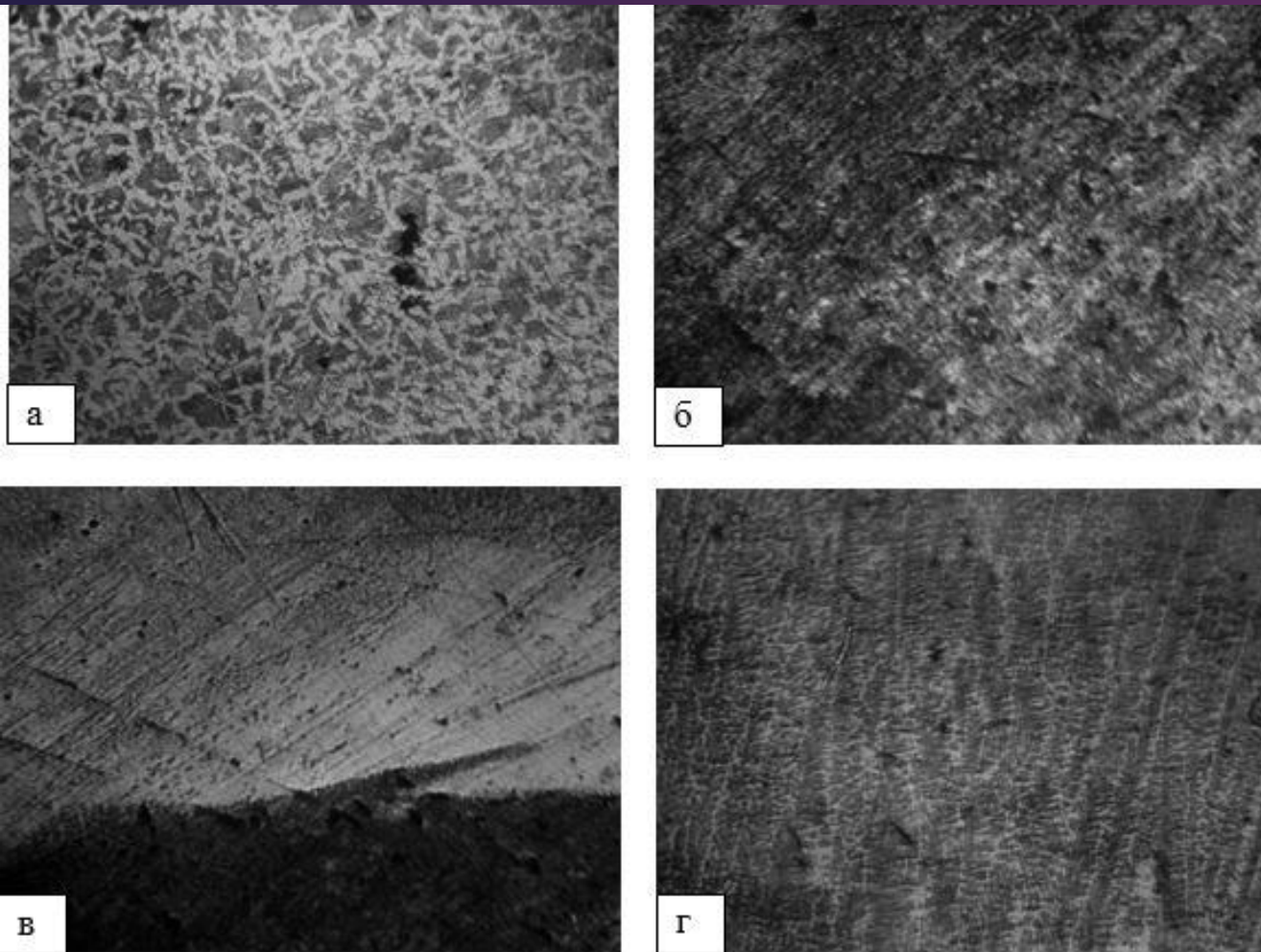
Мікроструктура зразка 1 (x150):

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



Загальна твердість утвореної поверхні складає 44 HRC

Наплавлений зразок 2



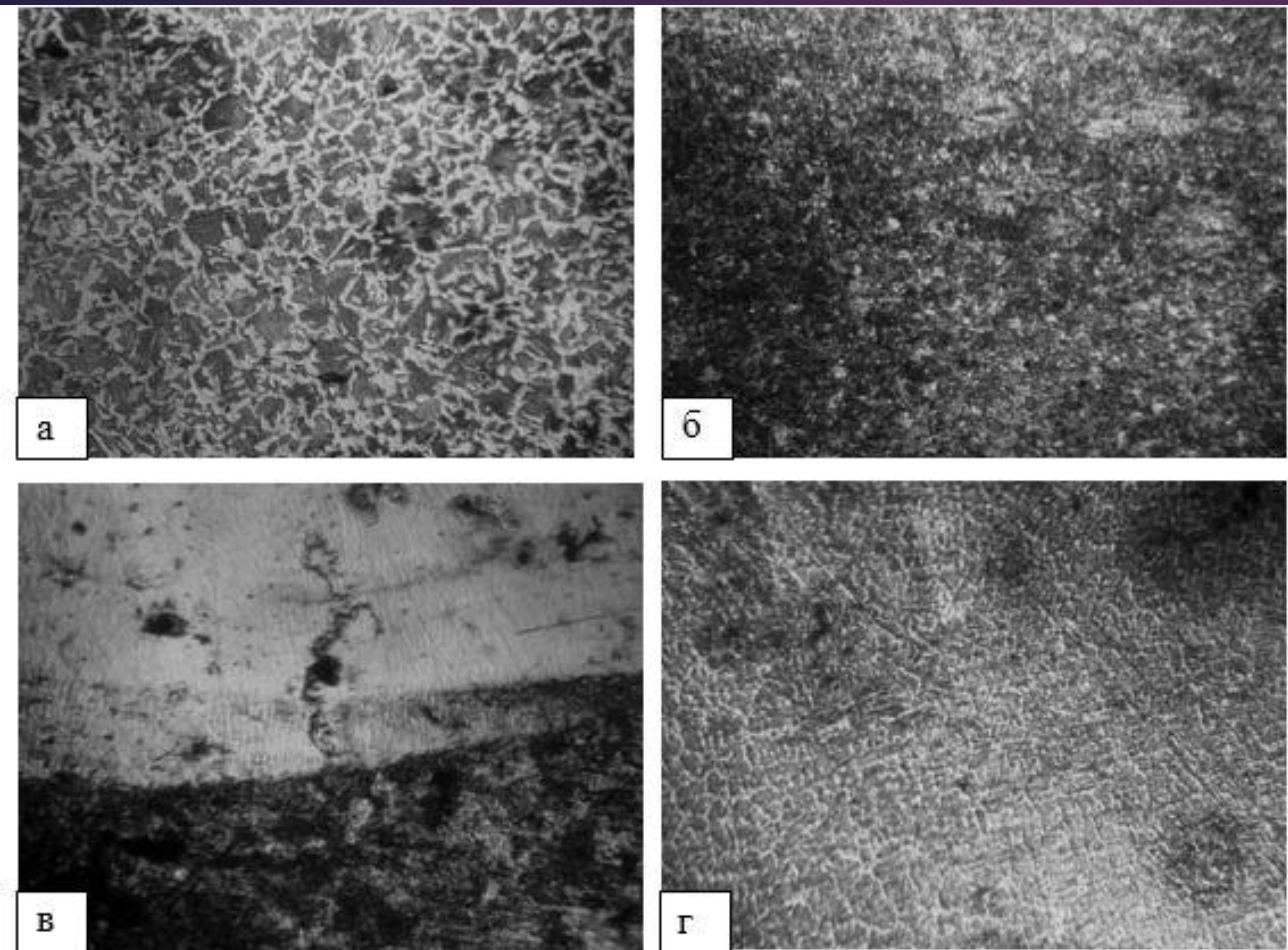
Мікроструктура зразка 2 (x150):

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



Загальна твердість утвореної поверхні складає 55 HRC

Наплавлений зразок 3



Мікроструктура зразка 3 (x150) :

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

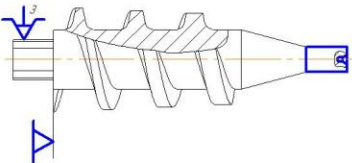
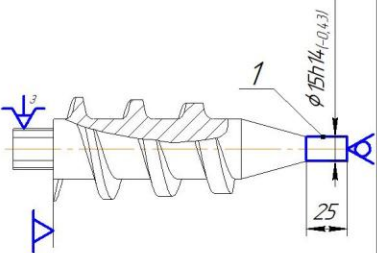


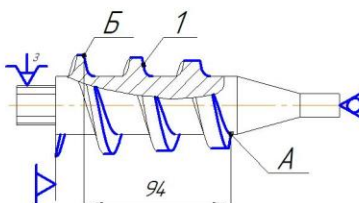
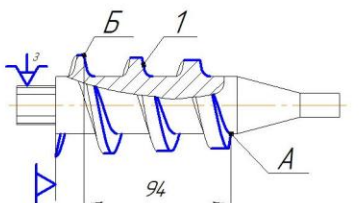
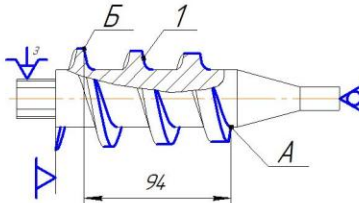
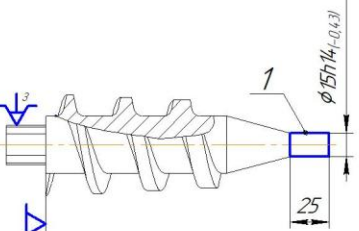
Загальна твердість утвореної поверхні складає 60 HRC

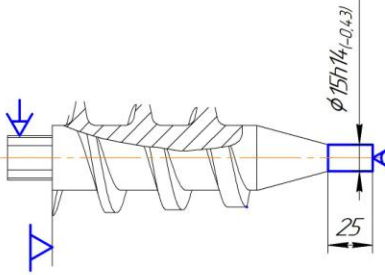
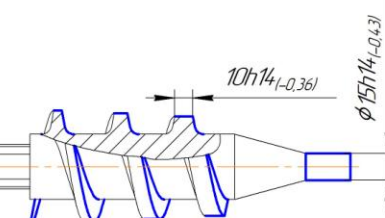
Наукова новизна

- 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.
- 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-V₄C-Mo-C і Cr-Mo-V-C, дозволяє отримати різні структури. Легувальний комплекс Cr-V₄C-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.
- Встановлено, що легувальний комплекс Cr-V₄C-Mo-C дозволяє отримувати при наплавленні дротом Св-08Г2С дрібнозернисту структуру наплавленого шару з карбідними включеннями з плавними переходами між зонами утвореного покриття.

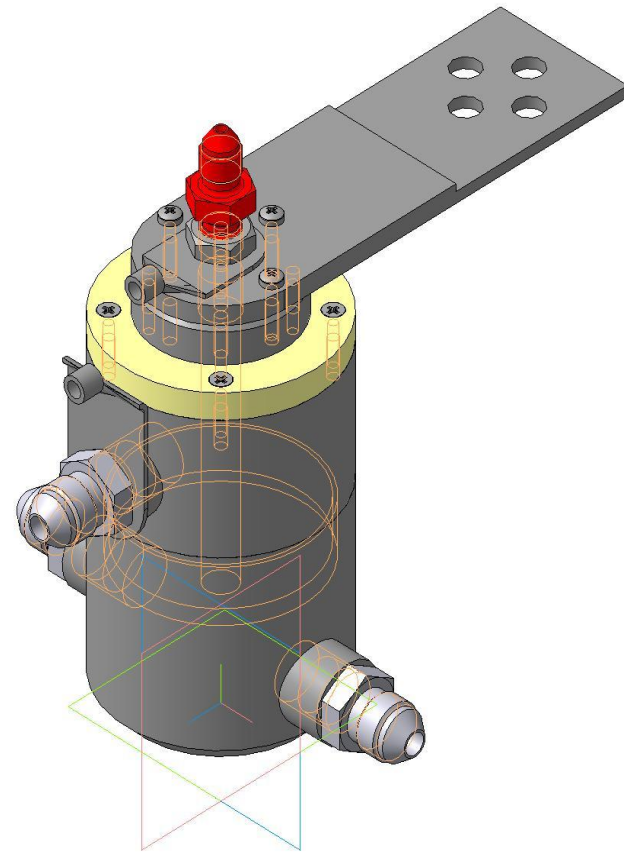
Технологічний процес відновлення шнека екструдера

№	Найменування операції та технічних переходів	Схема встановлення	Обладнання
005	<p style="text-align: center;"><i>Очисна</i></p> <p>1. Встановити деталь; 2. Обробити деталь в розчині лугів; 3. Промити розчином "Лабомід-102"; 4. Зняти деталь.</p>		Установка електроімпульсної обробки УПП-25
010	<p style="text-align: center;"><i>Дефектувальна</i></p> <p>Дефектувати деталь та визначити всі дефекти, які потрібно відновити</p>		Стіл контрольний
015	<p style="text-align: center;"><i>Токарна</i></p> <p>1. Встановити та закріпити деталь; 2. Центрувати та виконати центр. отв. А2,5 ГОСТ-14034-74 на вільному торці.</p>		Токарно-гвинторізний верстат 16К20Ф3
020	<p style="text-align: center;"><i>Токарна</i></p> <p>1. Встановити та закріпити деталь; 2. Точити 0,3 мм пов.1 на відстань 25 мм; 3. Зняти деталь.</p>		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 Нурсо 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. 		<p>Універсальний наплавочний верстат У-653М</p>
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 Нурсо 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. 		<p>Установка для плазмового напилювання ТСЗП-МФ-Р-1000</p>

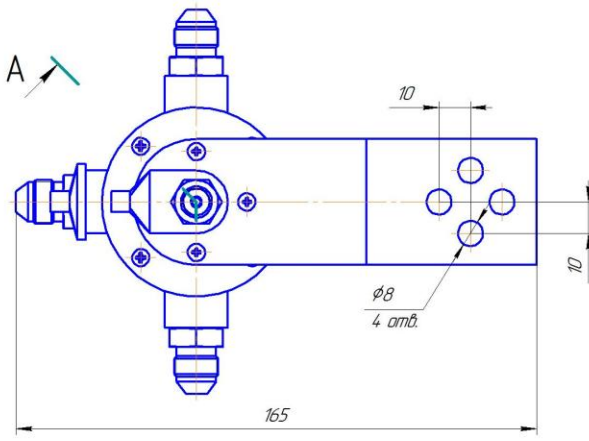
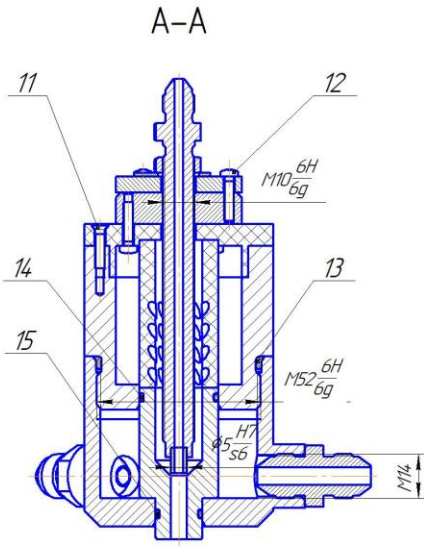
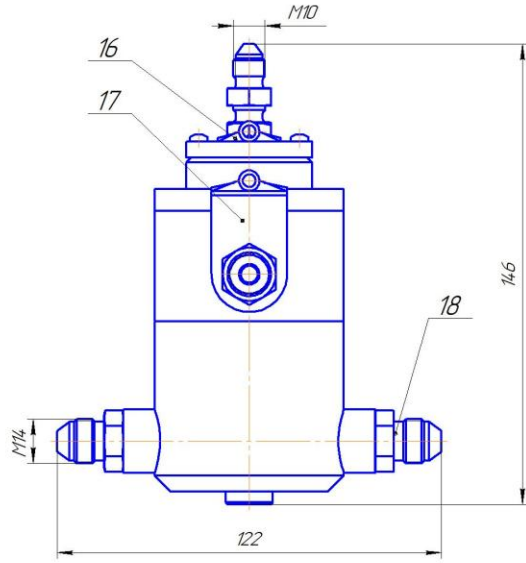
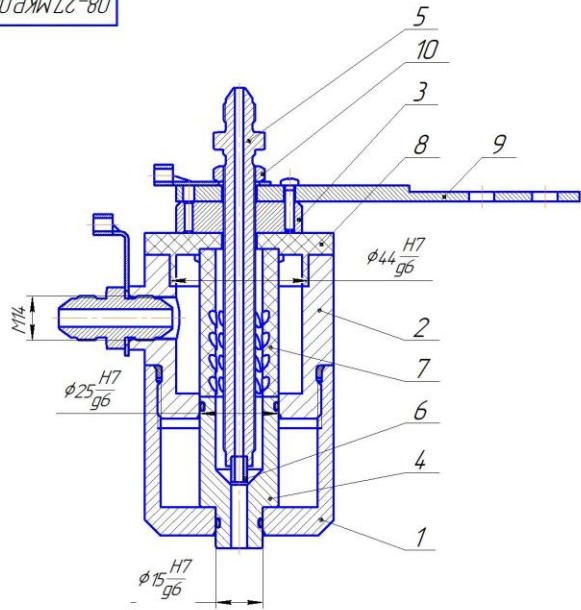
045	<p style="text-align: center;"><i>Токарна</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь; 2. Точити 0,3 мм пов.1 на відстань 25 мм; 3. Зняти деталь. 		Токарно-гвинторізний верстат 16К20Ф3
050	<p style="text-align: center;"><i>Гартувальна</i></p> <p>Гартувати протягом 3 с струмом частотою 10 кГц з охолодженням у воду</p>		Індуктор СЧВ-15В
055	<p style="text-align: center;"><i>Контрольна</i></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 кроєння деталі; 5. Зняти деталь. 		Стіл контрольний

3D модель плазмотрона



Складальне креслення плазматрона

08-27.МКР.08.11.000 СК

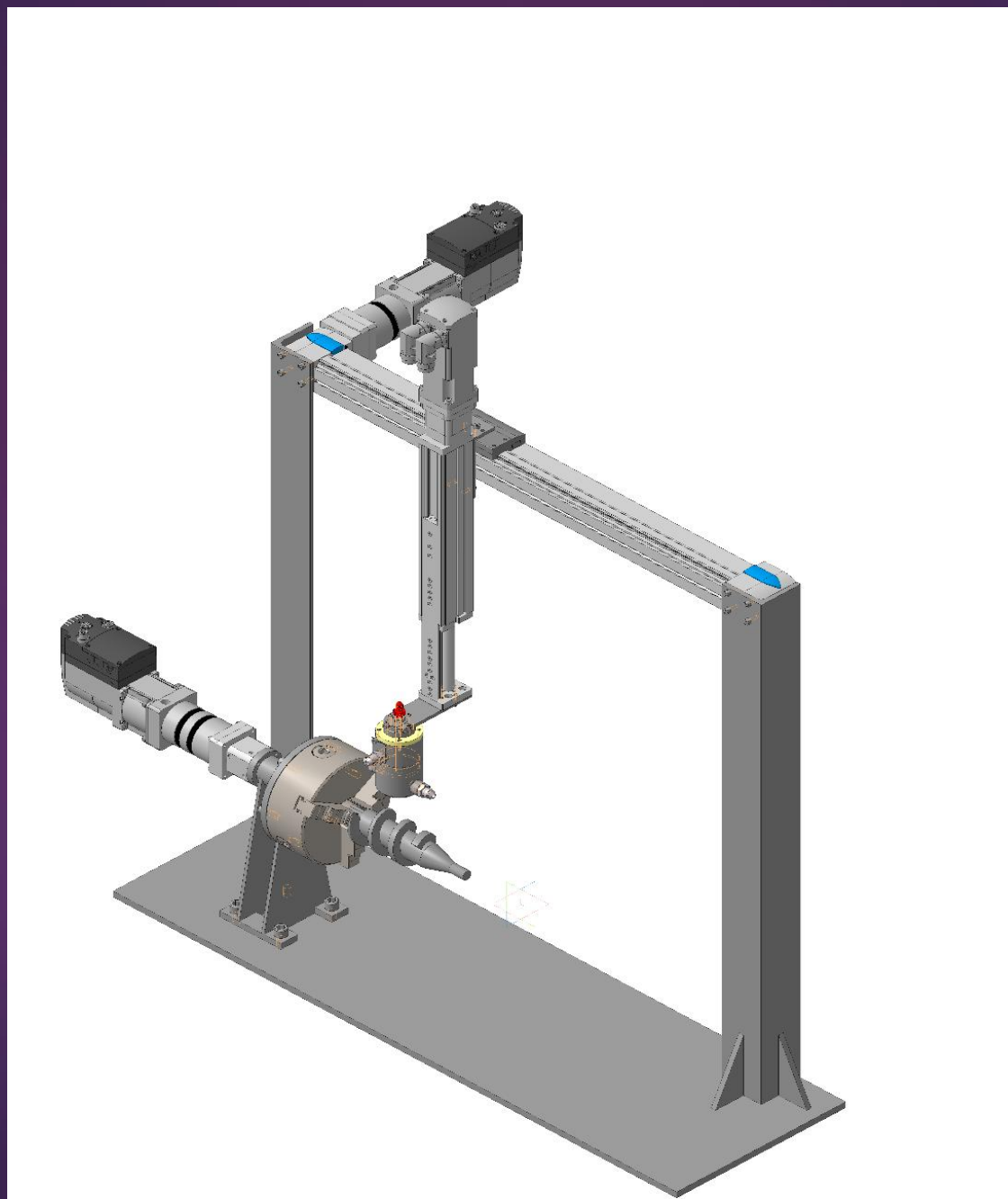


1. Всі розміри для надійок
2. Різьбоді з'єднання під прохідники встановити на герметик КЛТ-30 по ТУ 38.103.691-89 при кінцевому складанні
3. Герметичність з'єднань перевірити надлишковим тиском в 0,6 МПа на протязі 10 хв
4. Інші технічні вимоги за ОСТ.4ГО.070.015

Листів: 1	Лист №: 1
Строби №: 1	Листів і дата: 1
Варіант №: 1	Лист №: 1
Листів і дата: 1	Лист №: 1
Листів і дата: 1	Лист №: 1
Листів і дата: 1	Лист №: 1

08-27.МКР.08.11.000 СК			
Изм/Лист	№ докум	Подп	Дата
Разраб	Хомченко О.С.		
Проб	Собуляк В.І.		
Т.контр	Собуляк В.І.		
Исполн	Бокалець Д.В.		
Этп	Полещук Л.К.		
Плазматрон			Лист 1
Лит			Масса
Масштаб			1:1
ст. гр. 3В-18м			ВНТУ
Формат А2			

3D модель установки з ЧПК для напилення



ВИСНОВКИ

- 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.
- В умовах, наближених до екструзії, поверхні з більшою твердістю мають більшу зносостійкість та краще протидіють механічному зносу.
- Твердість поверхні підвищується наплавленням дротом Св-08Г2С: при застосуванні легувального комплексу Cr-V₄C-Mo-C інтегрована твердість наплавленої поверхні складає 44 HRC; при застосуванні комплексу Cr-Mo-V-C – 60 HRC.
- Розроблений технологічний процес відновлення шнека екструдера дозволяє підвищити його зносостійкість та отримувати якісні покриття.
- Спроектване технологічне обладнання (установка з ЧПК) дозволяє проводити автоматизоване напилювання зношених поверхонь та підвищити продуктивність процесу відновлення.
- 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. протягом 4 років.

Дякую за увагу !