

Пояснювальна записка до дипломної роботи

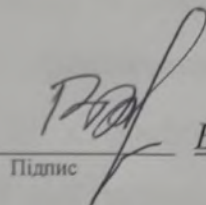
магістра
Освітньо-кваліфікаційний рівень

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство
Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс
автомобілів»

на тему: «Підвищення зносостійкості шнека
зернопереробного екструдера іонним азотуванням»

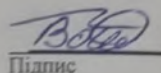
Шифр **MP TAM 23.22374. 000 ПЗ**

Виконав: студент 2-го курсу, група *MTBAM 22-1*


Підпис

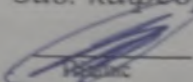
V.V. Вальчук
Ініціали, прізвище

Керівник *к.т.н., доц. каф. ТАМ.*


Підпис

V.A. Гончар
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри *ТАМ д.т.н., проф.*


Підпис

O.V. Диха
Ініціали, прізвище

16 12 2023 р.

На тему «Підвищення зносостійкості шнека зернопереробного екструдера іонним азотуванням»

Обсяг пояснювальної записки – 89 сторінок, кількість рисунків - 14, таблиць - 4, додатків, кількість джерел згідно із переліком посилань - 67.

Створення конкурентоздатного обладнання для виробництва високоефективних комбікормів для тварин є ключовим завданням в галузі народного господарства України. Переробка фуражного зерна методом екструдювання визначається як прогресивний напрямок у вирішенні цього завдання. Цей метод включає баротермічну обробку зерна за високої температури (до 160 °С) та тиску (до 10 МПа) з додаванням мінералів. Такий режим екструзії призводить до руйнування високомолекулярних органічних сполук і їх перетворення в більш прості, що легко засвоюються тваринами. Використання відходів зернового виробництва, таких як насіння трав і лущиння гречки, у виробництві комбікормів сприяє зниженню їх собівартості. Додавання мінералів, зокрема сапоніту, що включає понад 20 елементів і мікроелементів, значно підвищує продуктивність тварин. Однак абразивні частинки у складі сапоніту призводять до значного зносу та скорочення терміну служби обладнання. Наразі існує багато досліджень, присвячених конструкції і принципам роботи екструдерів, але вивчення їх стійкості до зносу в абразивному середовищі залишається недостатнім. З цієї причини, дослідження стійкості до зносу та довговічності екструдерів для обробки фуражного зерна з домішками відходів зернового виробництва і мінералів має велике значення

Ціль випускної роботи. Розробити технологію підвищення зносостійкості вузла екструдювання.

У даній випускній роботі ми докладно аналізували, розглядали можливі несправності, дефекти, способи ремонту і підвищення зносостійкості вузла екструдювання.

Перелік ключових слів: шнек, знос, азотування, сталь, тліючий розряд.

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

2023 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Вальчуку Вадиму Васильовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема проекту (роботи) _____

Підвищення зносостійкості шнека зернопереробного екструдера іонним азотуванням

керівник проекту (роботи) Гончар Володимир Антонович к.т.н., доц.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від _____ 2023р. № 83 (28)

2. Строк подання студентом проекту на кафедру 10 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

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

1. Об'єкт дослідження – шнек екструдера; 2. Знос деталей; 3. Процеси іонного азотування в тліючому розряді; 4. Зразки з різних марок сталей.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання_----

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>30.09.2023</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.10. 2023</i>	
3	<i>Дослідницький розділ</i>	<i>15.11. 2023</i>	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>22.11. 2023</i>	
5	<i>Оформлення презентації магістерської роботи</i>	<i>1.12. 2023</i>	
6	<i>Нормоконтроль магістерської роботи</i>	<i>5.12. 2023</i>	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>10.12. 2023</i>	

Студент

Керівник проекту (роботи)



 Ініціали, прізвище



 Ініціали, прізвище

Вальчук В.В.

Ініціали, прізвище

Гончар В.А.

Ініціали, прізвище

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЕКСТРУДЕРІВ	6
1.1 Основи процесу екструзії	6
1.2 Конструкції екструдерів для переробки фуражного зерна	8
1.3 Умови роботи вузла екструдювання при переробці фуражного зерна	13
1.4 Відомі методи підвищення зносостійкості вузла	18
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ	49
2.1 Установа для проведення експериментів	49
2.2 Умови проведення експериментів	36
2.3 Планування експериментів	38
Висновки до розділу 2	39
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
3.1 Порівняльні експериментальні дослідження зносостійкості зразків зміцнених за різними технологіями	50
РОЗДІЛ 4 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТРИВАЛОСТІ СЛУЖБИ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ	54
РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ	54
ВУЗЛА ЕКСТРУДУВАННЯ	54
4.1. Експериментальна установка.	54
4.2. Конструкція циліндра екструдера	56
4.3. Конструкція шнека циліндра	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72
ДОДАТОКИ	79

MP TAM 23.22374. 000 ПЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат
Розроб.		Вальчук		
Перевір.		Гончар		
Реценз.				
Н. Кантр.		Бабак		

Підвищення зносостійкості шнека зернопереробного екструдера іонним азотуванням

Літ.	Арк.	Акрюшів
	4	89
ХНУ група МТВАм 22-1		

ВСТУП

Актуальність теми. Створення конкурентоздатного обладнання для виробництва високоефективних комбікормів для тварин є ключовим завданням в галузі народного господарства України. Переробка фуражного зерна методом екструдювання визначається як прогресивний напрямок у вирішенні цього завдання. Цей метод включає баротермічну обробку зерна за високої температури (до 160 °С) та тиску (до 10 МПа) з додаванням мінералів. Такий режим екструзії призводить до руйнування високомолекулярних органічних сполук і їх перетворення в більш прості, що легко засвоюються тваринами. Використання відходів зернового виробництва, таких як насіння трав і лушпиння гречки, у виробництві комбікормів сприяє зниженню їх собівартості. Додавання мінералів, зокрема сапоніту, що включає понад 20 елементів і мікроелементів, значно підвищує продуктивність тварин. Однак абразивні частинки у складі сапоніту призводять до значного зносу та скорочення терміну служби обладнання. Наразі існує багато досліджень, присвячених конструкції і принципам роботи екструдерів, але вивчення їх стійкості до зносу в абразивному середовищі залишається недостатнім. З цієї причини, дослідження стійкості до зносу та довговічності екструдерів для обробки фуражного зерна з домішками відходів зернового виробництва і мінералів має велике значення.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

РОЗДІЛ I

ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЕКСТРУДЕРІВ

1.1 Основи процесу екструзії

Екструзія - це процес обробки продуктів у екструдері. Термін "екструдер" (від латинського *extrudere* - виштовхувати) вказує на машину, призначену для зм'ягчення або пластифікації продуктів та надання їм форми шляхом протискання через профільюючий інструмент - екструзійну головку, яка визначає форму продукції.

Процес екструдювання відноситься до термодинамічних методів обробки, які включають як статичні режими впливу, так і динамічні ефекти тиску, температури, осмосу тощо.

Основою екструдювання є два процеси - механо-хімічна деформація і "вибух", або декомпресійний шок, який відбувається на ділянці ударного розрядження. Ці процеси є неперервними і відбуваються під впливом деформаційних напружень, тепла, певних швидкостей підведення та відведення, а також тиску.

З урахуванням фаз перетворення стану продукту весь процес екструдювання можна розділити на кілька технологічних зон, таких як завантаження, стиск, гомогенізація і сам екструзійний процес. Інші дослідники виділяють зони завантаження (втягування), ущільнення, пластифікації, змішування і зрізу, а також зону вивантаження, де тиск зростає, і продукт протискають через філь'єри.

В екструдерах спеціального призначення можуть бути виділені зони дегазації, диспергування, змішування та інші.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

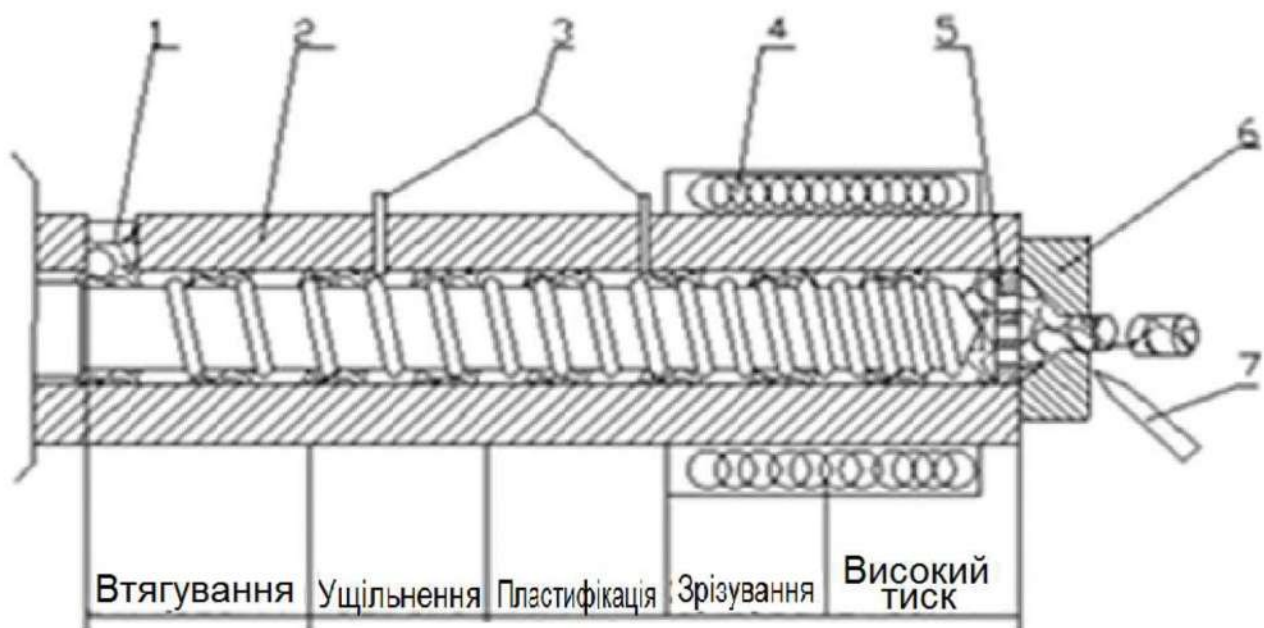


Рис.1.1 – Схема і технологічні зони екструдера: 1 – подача сировини; 2 – термопари; 3 – циліндр; 4 – обігрів; 5 – перфорована пластина (філь'єра); 6 – сопло; 7 – ножі.

У зоні завантаження спостерігаються мінімальні зміни у продукті. Продукт набуває високоеластичного стану в зоні стиску, де відбувається руйнування кліткової структури продукту, включаючи його крохмальні і целюлозно-лігнінові компоненти. В зоні гомогенізації продукт переходить у в'язкотекучий стан, при цьому відбуваються структурні перетворення білків і крохмалю. Найзначущі та важливі зміни настають в зоні екструзії. При різкому переході продукту з зони високого тиску ($16 \cdot 10^5$ Па і вище) в зону атмосферного тиску його акумульована енергія вивільнюється з великою швидкістю, апроксимативно рівною швидкості вибуху. Це призводить до глибоких перетворень в структурі продукту, таких як розрив кліткових стінок, деструкція та гідроліз.

Параметри екструзійного процесу обробки можуть змінюватися відповідно до складу сировини, його природи, вологості, методів попередньої підготовки, а також змін температури, тиску, тривалості та інтенсивності механічного впливу на продукт під час екструзії. [6].

Також було визначено, що існує пряма пропорційність між в'язкістю остаточного продукту і вмістом у ньому води, ліпідів і простих цукрів, та обернена пропорційність між в'язкістю і температурою процесу екструдювання та швидкістю обертання шнека. Конструкція екструдера і його робочих органів також впливає на в'язкість. За допомогою екструдювання можна цілеспрямовано змінювати властивості продукту та його компонентів, що робить його все більш популярним у різних галузях економіки, зокрема у виробництві комбікормів.

1.2 Конструкції екструдерів

Екструдювання ґрунтується на механічному стискуванні початкового або передопрацьованого продукту. Попередня обробка може включати механічні (розмелювання), теплові (нагрівання) або гідротермічні (парова обробка з одночасним нагрівом) процеси.

Екструдер складається з основних компонентів: корпусу з вбудованими нагрівальними елементами, робочого органу (шнека, диска, поршня), розташованого всередині корпусу, пристрою для завантаження оброблюваного матеріалу, приводу, системи для підтримання оптимального температурного режиму та різних контрольно-вимірювальних та регулюючих пристроїв [1].

Залежно від типу основного робочого органу екструдери можуть бути одношнековими, багатошнековими, дисковими, поршневыми та іншими. Найбільш поширеними в промисловості є шнекові екструдери. Шнек, захоплюючи вихідний матеріал, переміщує його вздовж корпусу екструдера. При цьому матеріал стискається, нагрівається, пластифікується і гомогенізується. Максимальний тиск в екструдері може досягати величини від 5 до 50 МПа.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Екструдери можна класифікувати за частотою обертання шнека на нормальні (з коловою швидкістю приблизно 0,5 м/хв) і швидкохідні (з коловою швидкістю приблизно 7 м/хв). З точки зору конструкції, їх поділяють на стаціонарні і ті, де корпус обертається, із розташуванням шнека горизонтально або вертикально.

Існують також екструдери із шнеками, що виконують не лише обертовий, але й зворотно-поступальний рух.

З урахуванням конструктивних особливостей, екструдери можна розділити на кілька груп:

Ті з коротким шнеком (автогенні), які мають високу швидкість обертання шнека і короткий циліндр. Вони характеризуються важкою регулюванням температури через короткий час, протягом якого маса перебуває в екструдері. Такі екструдери мають обмежені можливості застосування і можуть бути використані, наприклад, для обробки зернових та їх сумішей [7].

Характеризуючи двошнековий екструдер, слід відзначити його особливість - точне об'ємне дозування. Цей вид екструдерів може перевозити як сухі та порошкоподібні продукти, так і розчини та суспензії. Однак для проведення варильної екструзії крохмалевмісних сировин у промисловому масштабі потрібна вологість продукту, який екструдується, від 10 до 30%. Система теплорегулювання працює так, щоб забезпечити збільшення та зменшення теплового впливу. Однак недоліком цих екструдерів є висока ступінь зношування через тісний контакт між шнеками.

Як вже було зазначено, можна виділити одно- та двовальні екструдери, причому серед двовальних є ті, де шнеки торкаються один одного, і ті, у яких шнеки перебувають у тимчасовому зачепленні [8].

Одношнекові екструдери (рис. 1.2 а) поділяються на наступні типи:

- Зі шнеком, де крок витка зменшується.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

- Зі шнеком, де діаметр вала збільшується.
- Ті, що містять спіралі в циліндрі.
- З конічним корпусом.
- З кроком витка, що зменшується, і конічним корпусом.

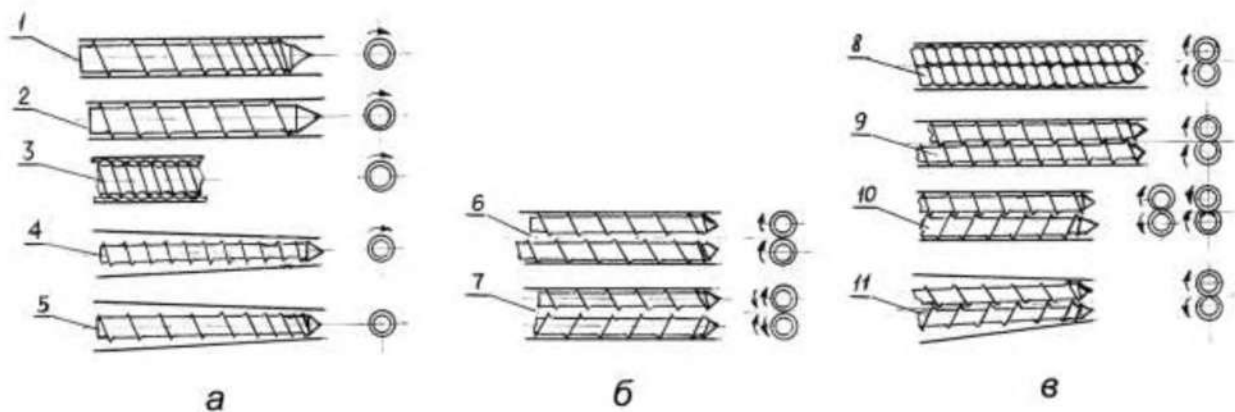


Рис. 1.2 Системи екструдерів:

а – екструдери з одним шнеком; б – екструдери з двома шнеками (без зачеплення); в – екструдери з двома шнеками (з зачепленням) 1 – з шагом витка, що зменшується; 2 – ті, що включають в циліндрі спіралі; 3 – з діаметром вала, що збільшується; 4 – з конічним корпусом; 6 – із шнеками, що торкаються один одного і синхронно обертаються в одну сторону; 5 – зі шагом витка, що зменшується в конічному корпусі; 9 – із шнеками, що обертаються в одну сторону і частково самоочищаються; 8 – із шнеками, що обертаються в одну сторону і очищаються самі; 11 – із шнеками, що обертаються в протилежні сторони в конічному корпусі 7 – із шнеками, що торкаються і обертаються в протилежні сторони; 10 – із шнеками, що обертаються в протилежні сторони і частково самоочищаються.

У Хмельницькому національному університеті була розроблена конструкція екструдерів та відповідна технологія для баротермічної обробки зерна з домішками сапоніту [17-22].

В численних дослідженнях, проведених різними вченими [23-27], виявлено, що включення в корми мінералів, що містять багато мікроелементів, значно підвищує продуктивність тварин, їхній приріст і зменшує захворюваність. Один із таких корисних мінералів - сапоніт. Його склад містить понад 20 цінних макро- і мікроелементів. Додавання сапоніту до кормів навіть у невеликих кількостях (до 5%) сприяє росту тварин, підвищенню якості тваринницької продукції, виведенню радіонуклідів з організму тварин та знищенню хвороботворних мікробів [24; 25]. У Хмельницькій області в Україні є значні резерви сапонітів.

Підприємство "Термопластавтомат" у м. Хмельницькому серійно виготовляє екструдер для обробки фуражного зерна моделі К24-127 (Рис. 1.3). Цей екструдер призначений для баротермічної обробки зерна, включаючи низькосортне зерно пшениці, ячменю, гороху, кукурудзи, сої та інші; а також відходів зернового виробництва, таких як насіння трав, лушпиння, жмих та інші; з додаванням мінеральних і органічних добавок з метою отримання високоефективних кормів.

В ході інтернет-пошуку виявлено, що на сьогодні на ринку доступна значна різноманітність екструдерів різних брендів для виготовлення комбікормів: ХР-3, ЕКСПРО-02У, Э-100, ЭКЗ-130 та інші [28]. За висновками оглядів цих екструдерів виявлено, що більшість з них вимагає передпопередню обробку сировини (прибирання, зволоження).

					<i>MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

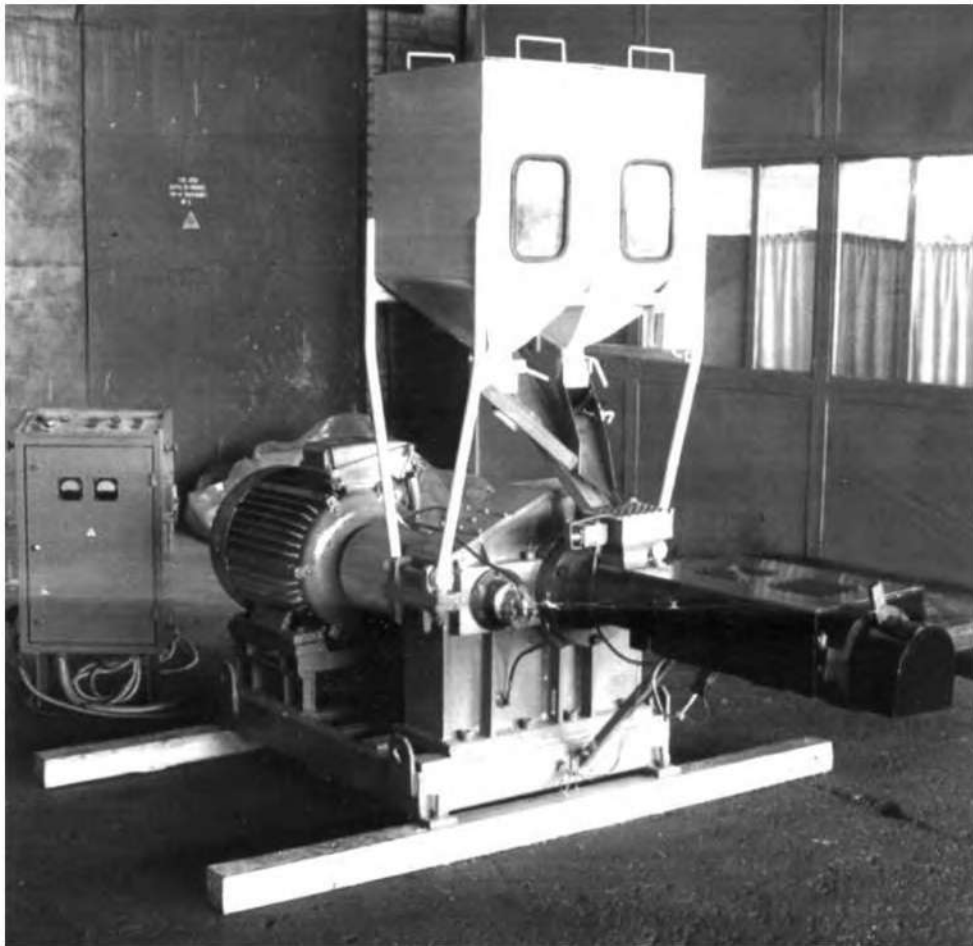


Рис. 1.3. Зовнішній вигляд екструдера K24-127

Таблиця 1.1

Технічна характеристика K24-127

Продуктивність, кг/год.	350
Загальна встановлена потужність, кВт	60
Потужність приводу, кВт	55
Габаритні розміри, мм:	
довжина	2500
ширина	900
висота	2050
Маса, кг	1460

1.2 Умови роботи вузла екструдювання при переробці фуражного зерна

Центральним елементом екструдера є його циліндр, де в середині обертається шнек. Конструкція циліндра може включати додатковий пристрій для підігріву. На виході з циліндра розташований дозувальний механізм, який регулює технологічні параметри залежно від складу сировини. Привід екструдера, який включає електродвигун потрібної потужності з муфтою і редуктором, відповідає за його рух. Екструдер також оснащений системами контролю тиску та температури всередині циліндра, а також швидкості обертання вала.

У процесі обробки сировини, такої як зерно, відходи від зернового виробництва, мінерали та домішки, матеріал переміщується вздовж гвинтового каналу через обертальний шнек, де відбувається ущільнення, змішування, розмелювання, гомогенізація та пресування через філь'ери.

Надійність та тривалість роботи екструдерів залежать від надійності і довговічності їхніх складових вузлів, зокрема від вузла екструдювання. Екструдери, які призначені для обробки фуражного зерна і відходів виробництва зерна (насіння трав, жмих, лушпиння) з домішками мінералів, працюють у важких умовах, зокрема при підвищених температурах у межах 140-160 °С, в агресивно-абразивному середовищі та при високих питомих навантаженнях на поверхні тертя до 10 МПа (рис.1.4) [129]. Підвищені температури виникають під час екструзії та інтрузії матеріалів всередині вузла екструдювання. Цей процес утворює агресивне середовище для матеріалів деталей екструдера через конденсацію пари та піроліз зерна та його відходів.

У випадках, коли фуражне зерно не проходить спеціальну попередню обробку (очищення, пропарювання, зволоження), яку рекомендують зарубіжні екструдери, сировина містить пил, пісок та інші абразивні частинки.

					<i>MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Процес абразивного зношування безперечно обумовлений руйнуванням поверхневого шару та зміцненням матеріалу [33]. Під час зношування можливе підвищення міцності матеріалу (наклеп), яке, в більшості випадків, не супроводжується якісною зміною в процесі зношування (не змінюється вид руйнування), а впливає лише на інтенсивність руйнування матеріалу.

Існують чотири основних види зміцнення матеріалу під час тертя: механічне, теплове, адсорбційне і хімічне. Механічне зміцнення виникає внаслідок деформації поверхневого шару, спричиняючи виникнення та розвиток дефектів структури, обсіпання матеріалу, підвищення внутрішніх напружень і так далі.

Теплове зміцнення матеріалу виникає внаслідок вироблення тепла під час тертя (наприклад, відпуск сталі, розм'якшення полімерів і т. д.).

Адсорбційне зміцнення виникає внаслідок фізичної взаємодії матеріалу з поверхнево-активними речовинами, що призводить до зменшення твердості і ефективності розподілу [35]. Хімічне зміцнення визначається утворенням продуктів хімічної взаємодії зношеного матеріалу з зовнішнім середовищем або протіканням розслаблюючих матеріалів у внутрішніх хімічних і механо-хімічних процесах, особливо в полімерних матеріалах [35, 36]. У реальних умовах тертя можливі комбінації різних видів зміцнення, таких як фізико-хімічне, механо-хімічне і інші.

При визначених умовах експлуатації в матеріалі відбувається певний процес зношування, проте ці процеси можуть різнитися для різних матеріалів. Зміна умов роботи в певних межах не призводить до зміни характеру процесу зношування, а впливає лише на його інтенсивність. Зношування представляє собою автономний процес, який залежить від зовнішніх умов і властивостей зношеного матеріалу.

Під впливом абразивного зношування, що відбувається в різноманітних умовах, абразивні частинки можуть породжувати різноманітні види

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

руйнування поверхневого шару матеріалів, такі як крихке, в'язке, полідеформаційне і втомне руйнування.

Крихке і в'язке руйнування, відомі також як мікрорізанія, спостерігаються при одноразовому впливі абразивного зерна.

Полідеформаційне і втомне руйнування відбуваються внаслідок циклічної деформації матеріалу абразивними зернами в пластичній і пружній зонах відповідно [37 - 42].

З точки зору дислокаційної теорії, розрізнення між крихким і в'язким руйнуванням є умовним, оскільки обидва випадки супроводжуються рухом дислокацій, що не дозволяє стверджувати відсутність залишкових деформацій, передуючих крихкому руйнуванню [43]. Проте у практиці для класифікації типу руйнування використовують грубі зовнішні ознаки, які дозволяють чітко визначити в'язке руйнування за наявністю виразних слідів пластичної деформації матеріалу. Приклади в'язкого та крихкого руйнувань матеріалів за дії абразивних частинок показані на рис. 1.5, а і б [43].



а

б

Рис. 1.5. Сліди в'язкого руйнування, виниклі на поверхневому шарі сталюого зразка (а), та сліди крихкого руйнування, що виникли на поверхневому шарі скла при ушкодженні абразивною частинкою .

Пошкодження матеріалу при контактному пластичному деформуванні абразивними частинками виникає внаслідок формування та розвитку

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

внутрішніх пошкоджень, зростання концентрації напружень і утворення мікротріщин, які поступово об'єднуються і призводять до відділення мікрооб'ємів матеріалу.

Щодо втомного процесу руйнування матеріалу в об'ємі, його особливості включають наявність латентного періоду, залежність числа циклів до руйнування від рівня діючих напружень, чутливість до навколишнього середовища тощо. Ці фактори деякою мірою також притаманні контактній циклічній дії абразивних частинок, але повна аналогія між об'ємною і контактною втомою все ж відсутня. При деформації поверхневого шару матеріалу абразивними частинками маємо високу концентрацію контактних напружень, що викликає їх постійний перерозподіл через множинні та незалежні контакти. Крім того, існують особливості, пов'язані з масштабним ефектом та впливом зовнішнього середовища на матеріал під час контактної деформації.

У багатьох випадках зафіксовано пряму чи близьку до неї взаємозв'язок між зносостійкістю металів і сплавів та їх твердістю. Однією з необхідних умов процесу руйнування поверхні при абразивному зношуванні є проникнення твердої частинки в матеріал. Глибина цього проникнення, як правило, визначається твердістю матеріалу. Тим не менше, зносостійкість не завжди є прямим наслідком твердості, оскільки при однаковій твердості може відзначатися різна стійкість до зношування.

У своїй роботі автор визначив декілька факторів, які впливають на зносостійкість, зокрема твердість, наклеп, пластичність та в'язкість руйнування зношеного матеріалу.

Процеси абразивного зношування можна класифікувати як прості, змішані та складні.

Прості процеси зношування характеризуються переважанням руйнування матеріалу певного виду, і вони не супроводжуються знеміцненням поверхневого шару. Існує чотири типи простих процесів

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

абразивного зношування, в яких виокремлюються два, що відбуваються під час мікрорізання, а саме тертя зразків матеріалів абразивною поверхнею, що містить тверді та гострі зерна.

Змішані процеси зношування характеризуються одночасною дією кількох видів руйнування, зазвичай двох, і, подібно до простих процесів, не включають знеміцнення матеріалу як суттєвого аспекту. Серед змішаних процесів абразивного зношування існує невелика кількість, де найчастіше взаємодіють процеси прямого і полідеформаційного руйнувань, або прямого і втомного руйнувань.

Складні процеси зношування відрізняються від простих і змішаних значним знеміцненням матеріалу, що впливає на характер та інтенсивність руйнування поверхневого шару. Внаслідок знеміцнення опір матеріалу механічній дії абразивних частинок знижується, і на окремих ділянках поверхні формуються мікрооб'єми знеміцненого матеріалу. Знеміцнення призводить до розпаду мікрооб'ємів на поверхні, і через різноманітність процесів знеміцнення існує значна кількість складних процесів зношування.

Процеси зношування відкривають загальний характер реакції матеріалу на вплив абразивних часток та його оточуючого середовища. При цьому, в умовах, заданих для зношування даного матеріалу, тертя протягом процесу зношування реалізується у формі чітко визначеного механізму руйнування.

1.4 Відомі методи підвищення зносостійкості вузла екструдуювання.

Технологія виготовлення комбікормів за допомогою екструдуювання передбачає утримання температури в матеріальному циліндрі в діапазоні 140–160 °С. Ця температура сприяє активізації процесу зношування при терті. Високий тиск до 10 МПа в зоні гомогенізації призводить до значних контактних напружень під час взаємодії абразивних частинок із матеріалом шнека і циліндра, що досягають значень границі пластичності матеріалів.

					<i>MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Отже, для забезпечення високої стійкості до зношування, поверхня тертя повинна володіти високою твердістю і стійкістю до корозії.

На сьогодні існує більше сотні різноманітних технологій посилення поверхні деталей машин за допомогою методів термічної та хіміко-термічної обробки, поверхневої пластичної деформації, наплавки, осадження покриття термомеханічним способом, фізичного хімічного осадження в вакуумі, електрофізичних методів з використанням гальваніки та електроіскрового легування поверхні, а також зміцнення за допомогою висококонцентрованих джерел енергії, таких як лазери, електричні розряди, електромагнітні і магнітні поля.

Ведеться значна робота над розробкою матеріалів, на основі яких створюються сплави із різними легуючими добавками, такими як ніобій, хром, марганець, ванадій, титан, молібден та рідкоземельні метали.

Технології, що використовуються для зміцнення поверхні робочих органів екструдерів, повинні відповідати конкретним вимогам, таким як товщина зміцненого шару та ресурс роботи обладнання, зокрема: зміцнений шар повинен мати товщину, яка не менше, ніж запас на знос (для черв'яків 0,5 мм і більше, для циліндрів 1,0...2,0 мм), щоб забезпечити заданий ресурс роботи обладнання від 10 до 15 тис. годин.

Вибір методу зміцнення також залежить від таких факторів, як призначення машини, різноманітність форм і розмірів шнеків та циліндрів, а також масштаби виробництва екструдерів. З урахуванням цього слід віддавати перевагу методам зміцнення, які є універсальними.

Існує ряд методів зміцнення поверхні, які спроможні змінювати структуру, фізико-механічні властивості, хімічний і фазовий склад, а також напружений стан поверхневих шарів деталей 66 - 85. Давайте розглянемо більш детально традиційні методи підвищення зносостійкості деталей машин.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Поверхнєве пластичне деформування (ППД) застосовується для фінішної обробки циліндрів, гільз, дорнів з метою досягнення високого класу шорсткості та формування на поверхні залишкових напружень стиску, які підвищують експлуатаційні властивості виробів. ППД здатне підвищити зносостійкість обладнання лише при обробці ненаповнених абразивом вихідних матеріалів. Однак опір абразивному зношуванню при збільшенні твердості методом ППД зменшується, що робить його неоптимальним для зміцнення деталей при обробці фуражного зерна з абразивними матеріалами. Суттєвим недоліком цієї технології є той факт, що товщина зміцненого шару при ППД залишається невеликою.

Метод наплавки широко використовується, і однією з його форм є пічна відцентрова наплавка, що дозволяє отримувати біметалеві деталі. Процедура включає встановлення трубоподібної заготовки у піч, заповненої наплавочним порошком, та закріплення її з використанням торцевих отворів. Після розігрівання трубу до температури, що перевищує температуру плавлення порошку на 50 0С, вона пересувається маніпулятором на обертаючі ролики. Відцентрова сила допомагає рівномірно розподілити розплав по внутрішній поверхні заготовки. Після кристалізації розплавленого шару обертання припиняють, і деталь охолоджується. Серед недоліків цього методу слід відзначити необхідність великогабаритної високотемпературної печі, складність контролю за процесами наплавки і товщиною наплавленого шару, а також важкі умови для робочого персоналу.

Іншим удосконаленим методом є індукційна наплавка, яка дозволяє значно прискорити процес і надає можливість контролювати структуру наплавленого шару. Технологія передбачає нагрівання індуктором циліндричної заготовки (або її частини), в середині якої завантажений порошок. Наплавлений шар формується під дією відцентрових сил під час обертання розігрітої деталі.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Існують також технології, такі як плазмова відцентрова наплавка [90] та наплавка неплавким електродом [91], але їх не рекомендується для зміцнення шнеків і циліндрів екструдерів через обмеження щодо довжини та діаметра виробів, а також через складність і високу вартість технології.

Термічна обробка (гартування) деталей полягає в нагріванні їх до певної температури, за яким слідує охолодження для формування структур, таких як мартенсит, бейніт, тростина і інші. У багатьох випадках мартенсит відзначається найвищою стійкістю до зносу. З цієї причини для досягнення високої зносостійкості залізвуглецевих сплавів рекомендується піддавати деталі гартуванню для отримання максимальної твердості [42, 92 – 95, 106].

Проте гартування довгомірних деталей вузла пластикації (шнеків, циліндрів) є nereкомендованим з таких причин:

- - технологія не може гарантувати високу і рівномірну твердість по всій довжині деталей;
- - гартування може призвести до значного деформування довгомірних деталей зі зміщенням поздовжньої осі, що неприпустимо за встановленими допусками на зазор між шнеком і циліндром;
- - при абразивному зношуванні зносостійкість є досить невеликою.

Гартування, через ці його недоліки, не забезпечує високу експлуатаційну якість довгомірних деталей, що призводить до короткого терміну служби пари шнек-циліндр екструдерів.

Згідно з дослідженнями, сталі та сплави зі структурою на основі залишкового аустеніту ефективно функціонують в умовах інтенсивного абразивного зношування. Таку структуру можна отримати, гартуючи заевтектійні сплави при температурі, яка значно перевищує A_{c1} . У деяких випадках сплави з аустенітною структурою можна використовувати як матеріали з високою стійкістю до зношування.

Гартування лазерним променем, хоча й дозволяє уникнути деформацій довгомірних деталей у порівнянні з об'ємним гартуванням, підвищує

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

твердість поверхні за рахунок утворення мілкодисперсних структур при швидкому охолодженні. Тим не менше, цей метод є малопродуктивним, високо вартісним і забезпечує невелику товщину (до 0,1 мм) зміцненого шару.

Хіміко-термічна обробка представляє собою ефективний метод підвищення стійкості до зношування робочих органів екструдерів за рахунок зміни хімічного і фазового складу поверхні, підвищення твердості та створення залишкових напружень стиску. Під час хіміко-термічної обробки поверхні металу насичуються хімічними елементами, такими як вуглець, бір, азот, кисень і т. д., шляхом дифузії. Це призводить до утворення хімічних з'єднань цих елементів з металом, таких як карбіди, нітриди, бориди, оксиди, а також зон твердих розчинів цих елементів. В результаті отримуємо покриття значної товщини та високої твердості.

Борування використовується для підвищення стійкості до зношування виробів, які експлуатуються при підвищених температурах або в агресивних середовищах. Процес насичення поверхні бором та утворення боридів відбувається при нагріванні виробів до температури 900...1100 °С у середовищах, які містять бор (протягом 2...5 годин), або при електролізному боруванні в розплаві. Товщина боридного шару становить 0,05...0,4 мм, а твердість може досягати 2000 HV. Застосовують борування для підвищення зносостійкості втулок грязьових нафтових насосів, штампів, шнеків екструдерів і ливарних машин тощо, при цьому стійкість таких деталей після борування зростає в 2...10 разів.

Борування не знаходить широкого застосування для зміцнення шнеків і циліндрів екструдерів через кілька недоліків: 1) борований шар має підвищену крихкість, що в багатьох випадках може призводити до його сколювання та розтріскування під час експлуатації; 2) при боруванні довгих деталей, таких як шнеки екструдерів, відбуваються значні деформації осі деталі, що є неприпустимим через можливе заїдання шнека і циліндра.

					<i>MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Дифузійне хромування є ефективною технологією для підвищення зносостійкості деталей машин. Ця технологія забезпечує високу твердість (до 1500 HV) і товщину дифузійного шару (до 0,3 мм). Процес хромування сталевих деталей відбувається при температурі 900...1400 °С в порошковому, рідкому або газовому середовищах, що містять хром. Тривалість процесу насичення становить 5...12 годин. Хромовані сталеві деталі мають підвищену стійкість до окислення при температурі 800 °С, високу корозійну стійкість та, при концентрації хрому в поверхневому шарі 0,3...0,4 %, підвищену твердість та зносостійкість. Технологію хромування використовують для різноманітних сталевих деталей та інструментів, таких як клапани, вентилі, патрубки, штампи для холодного штампування тощо. Однак цю технологію рідко застосовують для зміцнення шнеків і циліндрів екструдерів через її обмежену товщину покриття та можливість деформації осі довгомірних деталей.

Дифузійне цинкування – це процес, в якому поверхню сталі насичують цинком при температурах від 300 до 550 і від 700 до 1000 °С у відповідному середовищі. Використовується для підвищення корозійної стійкості сталі на повітрі, у бензині, маслах і гарячих газах (від 300 до 500 °С), які містять сірководень. Зауважте, що цинкове покриття нестійке у кислотах та лугах, тому його не рекомендується для екструдерів.

Силіціювання – це дифузійне насичення поверхневих шарів виробів кремнієм, що виконується при температурі від 950 до 1100 °С у відповідних середовищах. Тривалість процесу становить від 2 до 12 годин, а товщина дифузійного шару коливається від 0,15 до 0,8 мм. Цей шар має підвищену стійкість до корозії в морській воді та кислотах, а також підвищену зносостійкість при відносно невеликій твердості (від 200 до 250 HV).

Алітування – це процес, спрямований на підвищення жаростійкості та корозійної стійкості поверхні деталей зі сталі та чавуну, таких як деталі газогенераторних машин, цементацийні ящики, чохла термопар, лопаті газотурбінних двигунів і т. д. Насичення поверхні алюмінієм відбувається при

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

температурі від 950 до 1050 °С протягом 3 до 12 годин, що призводить до утворення шару завглибшки від 0,1 до 1 мм. Основна структура цього шару - твердий розчин алюмінію у залізі; на поверхні можливі утворення інтерметалідних фаз: Fe₃Al, FeAl, FeAl₂Fe₂Al₅. Алітований шар має відмінну стійкість до корозії на повітрі та в морській воді. Твердість алітованого шару може сягати до 500 HV, проте його зносостійкість є невеликою.

Процес сульфідкування залізовуглецевих сплавів означає насичення поверхні виробів сіркою і виконується у сульфуризаторах, що містять хлористий калій, сульфат натрію, тіосульфат натрію, ціанистий натрій, карбамід та інші компоненти. Такий процес, відомий як сульфоціанування, призводить до одночасного насичення поверхні виробів вуглецем і азотом. Після проведення сульфідкування покращується зносостійкість виробів, сприяє поліпшенню адсорбції мастила на поверхнях деталей, які функціонують в умовах мащення. Крім того, цей процес запобігає схоплюванню і задиркам під час різання, поліпшує припускання деталей при терті. У зв'язку з цим сульфідують піддають високоточні деталі, що експлуатуються в умовах тертя, такі як компресійні та маслознімні кільця двигунів внутрішнього згорання.

Цементация – це процес насичення вуглецем маловуглецевих сталей (0,1–0,25% С) при температурі 900–1000 °С, за яким слідує гартування, мета якого полягає в досягненні високої твердості поверхні HV до 8000 МПа та глибини зміцненого шару до 2000 мкм, при цьому внутрішній шар залишається в'язким. Цементация широко використовується для підвищення зносостійкості деталей машин, які працюють в умовах тертя, таких як зубчасті колеса, кулачки, розподільні валики, поршневі пальці, штовхачі клапанів, шийки колінчастих валів, черв'яки, робочі поверхні вимірювальних інструментів тощо. Цементують також деталі, які витримують високі динамічні навантаження та одночасно піддаються зношуванню та ударному впливу. В основному цементации піддають деталі, виготовлені з

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

низьковуглецевих сталей марок 10, 15, 20. Якщо необхідно забезпечити міцнішу серцевину та стійкість до спрацювання поверхні, для виготовлення деталей використовують леговані цементовані сталі із вмістом вуглецю 0,12–0,32%.

Однак для зміцнення шнеків і циліндрів екструдерів цементацію не рекомендується через низьку твердість поверхні порівняно з іншими видами хіміко-термічної обробки та значні деформації деталей.

Процес одночасного насичення поверхневих шарів деталей вуглецем та азотом в сталі відомий як ціанування або нітроцементация. Такі дифузійні шари відзначаються високою твердістю, стійкістю до зношування, підвищеною міцністю проти утомленості та корозійною стійкістю. Спільна дифузія вуглецю та азоту відбувається значно ефективніше, ніж при окремому насиченні кожним з елементів, що дозволяє скоротити тривалість процесу до 0,5–2 годин. Крім того, ціанування супроводжується меншими деформаціями деталей складної форми. Ці процеси застосовуються до деталей, виготовлених з конструкційних вуглецевих і легованих сталей, а також інструментів, виготовлених зі швидкорізальних сталей.

Ціанування може проводитися в рідкому або твердому насичуючому середовищі. В залежності від температури нагрівання деталей під час обробки виділяють низькотемпературне (540–560 °С), середньотемпературне (820–860 °С) та високотемпературне (920–960 °С) ціанування. За підвищених температур поверхня деталей насичується більше вуглецем, ніж азотом, тобто процес швидше наближається до цементації. Однак значним недоліком ціанування сталі є токсичність ціаністих солей і висока вартість процесу.

Азотування є одним з ефективних методів підвищення поверхневої твердості, міцності, зносостійкості та корозійної стійкості деталей машин, і воно широко використовується в сучасному виробництві.

В сучасному переліку матеріалів, які обробляються за допомогою азотування, значно розширився. Окрім обробки різних видів сталей, останнім

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

часом цей метод застосовується для підвищення міцності спеціальних металокерамічних сплавів і тугоплавких металів.

Традиційне азотування в печі частіше проводять при температурі 500-600 °С (низькотемпературне азотування) в аміаковому середовищі протягом до 72 годин. До процесу азотування піддаються сталі різних класів - перлітні, феритні і аустенітні, а також чавуни. Високотемпературне азотування (600-800 °С) стає все більш поширеним для феритних і аустенітних сталей, а також тугоплавких металів, таких як Ti, Mo, Nb, V та інші. Однак при застосуванні цієї технології можливе вироблення жолобів на довгомірних деталях, і не завжди досягається висока якість поверхневого зміцненого шару. Під час азотування в аміаковому середовищі відбувається насичення металу воднем, що може викликати окрихчення поверхні та зниження об'ємної міцності металу.

Специфічні умови експлуатації вимагають створення дифузійного шару, що включає в себе різні фазові і структурні компоненти, які визначають функціональні характеристики виробів в умовах корозії, зношування, змінних навантажень та інших навантажень.

Порівняно з традиційним пічним азотуванням, процес азотування в тліючому розряді (іонне азотування) у безводневих насичуючих середовищах вважається більш передовим. Під час цього процесу використовується суміш азоту та аргону у різних пропорціях. Ця технологія дозволяє значно прискорити процес у 5-10 разів при одночасному зменшенні витрат електроенергії на 10 разів та кількості газів на два порядки. Контрольовані технологічні параметри включають температуру дифузійного насичення, тиск у вакуумній камері, склад насичуючого середовища та час дифузійного насичення. Ця технологія дає змогу регулювати твердість, фазовий склад, товщину азотованого шару і залишкові напруження стиску в поверхневому шарі в широкому діапазоні [76]. Іонне азотування може бути успішно використане для зміцнення різних марок сталей, титану і його сплавів,

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

чавунів, і водневе окрихчення металів в цьому процесі виключено. Технологія іонного азотування визначається як екологічно чиста в порівнянні з пічним азотуванням.

Отже, після аналізу різних технологій зміцнення поверхні деталей машин, стало зрозуміло, що найбільш перспективними методами для підвищення зносостійкості деталей матеріального циліндра екструдерів для переробки фуражного зерна є цементація, гартування та азотування в тліючому розряді. Ці методи будуть об'єктом дослідження в цьому дослідженні.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Установка для проведення експериментів

Надійність та довговічність екструдерів визначаються в першу чергу надійністю і витривалістю їхніх складових вузлів, особливо вузла екструдування. Екструдери, призначені для обробки фуражного зерна, працюють в умовах, які характеризуються підвищеними температурами (420-433°K), агресивно-абразивним середовищем та високими питомими навантаженнями на поверхні тертя (до 10 МПа). Підвищення температур виникає під час екструзії та інтрузії матеріалів всередині вузла екструдування. Це призводить до утворення агресивного середовища в середині вузла екструдування через конденсацію водяної пари та піроліз зерна і його відходів. Додавання мінералу сапоніту [25, 115] і присутність пилу в зерні та його відходах (насіння трав, лущиння гречки, жмих тощо) створює абразивне середовище. Експлуатація деталей у такому середовищі призводить до інтенсивного зношування шнека і циліндра вузла екструдування. Це зношування може бути викликане як корозійно-окислювальним впливом агресивної складової середовища, так і абразивним впливом абразивної складової середовища.

Вузол екструдування екструдера, де основними компонентами є шнек і циліндр, характеризується різними умовами роботи на поверхнях цих деталей. Поверхні впадин і бокових стін витків контактують лише з сировиною. Умови роботи на гребенях витків можуть виявитися відмінними. Деформації шнека внаслідок осьових навантажень та його перекосів при несоосності шнека і циліндра, що обумовлено неточністю виготовлення вузла екструдування, можуть призводити до прямого контакту поверхонь цих деталей. Потрапляння абразивних частинок у зазор між гребенями шнека і циліндром може

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

призводити до інтенсивного зношування поверхонь тертя. Для моделювання умов роботи використовувалася установка [127], яка показана на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Загальний огляд експериментальної системи для проведення тестів на зношування

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

парі тертя використовуються різні пристрої (планшайби, гвинти, шпильки, шпонки і т. д.), які кріплять досліджувані зразки до оправки 1. Обертаний рух та осьове навантаження передаються оправці конусним хвостовиком 11. Для усунення можливого перекосу осей шпинделя і оправки та забезпечення рівномірного навантаження на поверхню тертя, осьові зусилля передаються від хвостовика 11 до оправки 1 через кульки 26. Контртіло 4 кріпиться штифтами 28 до основи 2 верхнього корпусу 10, який опирається на упорний підшипник 25, що встановлюється в нижньому корпусі 9. Верхній корпус може обертатися відносно вертикальної вісі, тоді як нижній корпус залишається нерухомим. Сферичний підшипник 24 дозволяє компенсувати можливу несоосність осей корпусів і шпинделя. Тросиком 32, розташованим в канавці основи 2, прикріплюється до нерухокої пластини 14, що забезпечує кутову фіксацію верхнього корпусу 10.

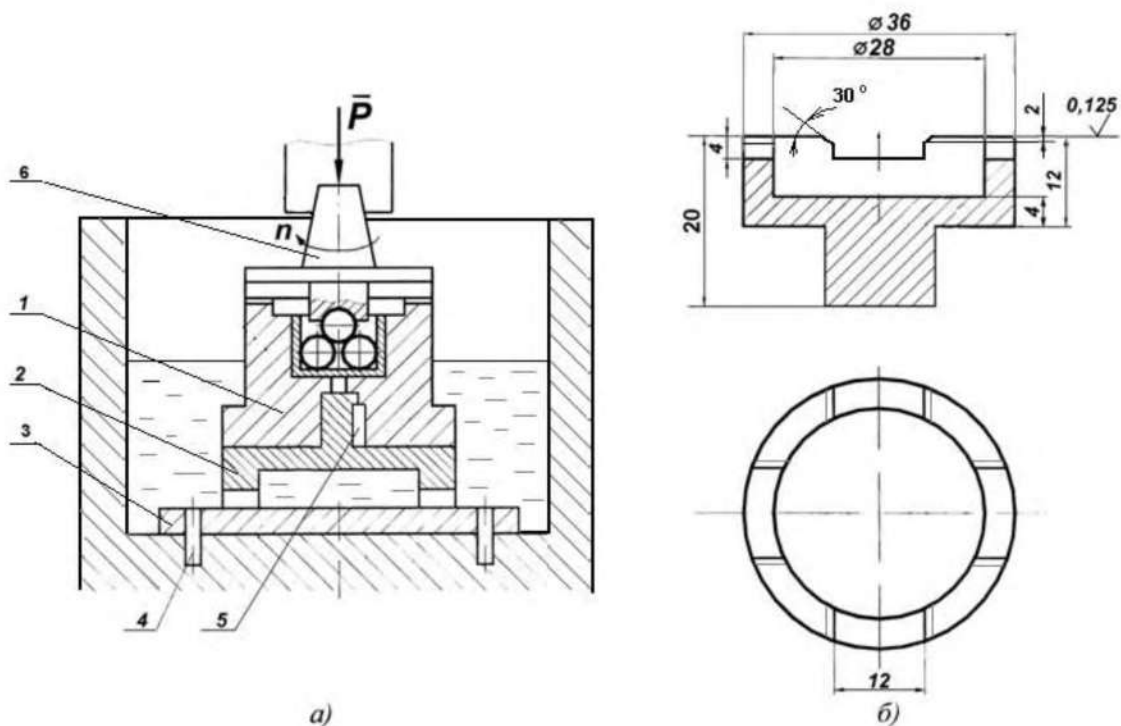


Рис.2.3. Схема кріплення, конструкція зразка: 1 – оправка; 3 – контртіло; 2 – зразок, що досліджується; 4 – штифт; 6 – хвостовик; 5 – шпонка.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ

Арк.

31

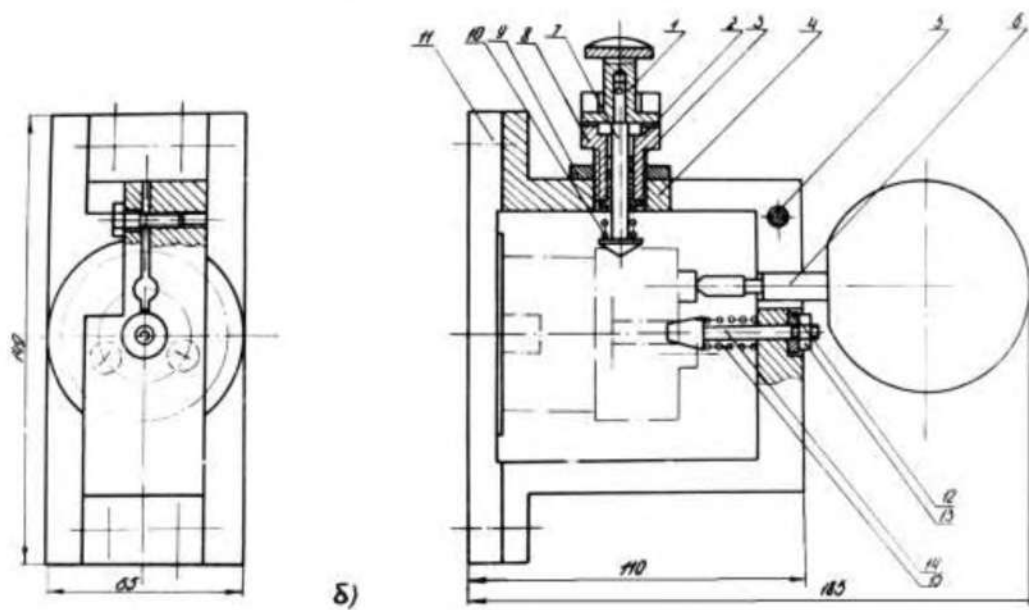


Рис. 2.4. Загальний вид і конструкція пристрою для вимірювання зносу:
 1 – рукоятка; 3 – направляюча втулка; 2 – упор; 4 – корпус; 6 – вимірювальна
 головка; 5 – гвинт; 7 – фіксатор кутових переміщень; 9 – контргайка; 8 – корпус
 фіксатора; 10 – пружина фіксатора.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ

Арк.

32

На рисунку 2.4 наведено схему закріплення та будову досліджуваного зразка 2, який фіксується за допомогою шпонки 5 в оправці 1. Модельний розчин постачається до зони контакту. У конструкції зразка передбачено наявність пазів на поверхні тертя, що гарантує наявність різних коефіцієнтів перекриття. На краях пазів є фаски, які утворюють кут 30 градусів з контртілом 3 і забезпечують проникнення модельного розчину в зону контакту. Частота обертання зразка складає 180 обертів за хвилину. Оправка із закріпленим зразком знімається через кожні 15 хвилин випробувань для вимірювання ступеня зносу на спеціальному пристрої (рис. 2.4) із точністю 1 мікрометр.



Рис. 2.5. Установа для хіміко-термічної обробки матеріалів

Для зміцнення поверхні зразків азотуванням в тліючому розряді застосовувалась експериментальна установка «УАТР-1», загальний вигляд якої представлений на рис. 2.5. Цю установку розробив і виготовив колектив Хмельницького національного університету під загальним керівництвом

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

професора Каплуна В. Г. Принципову схему установки можна побачити на рис. 2.6.

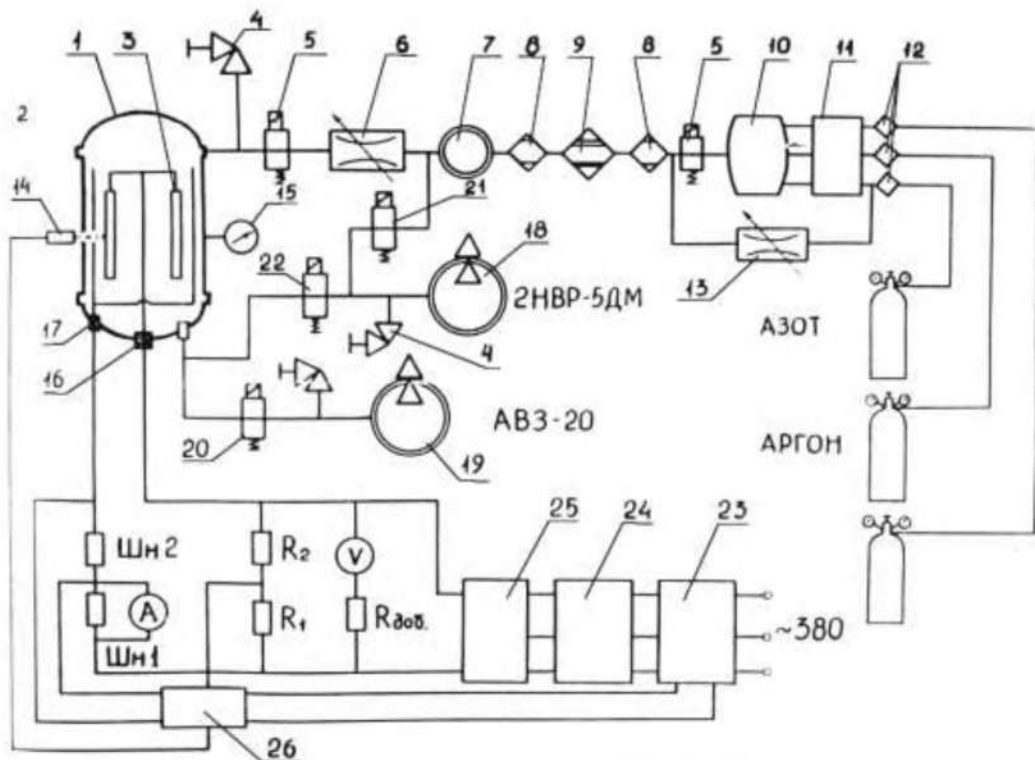


Рис. 2.6. Принципова схема установки “УАТР-1”:

1 – вакуумна камера; 3 – катод; 2 – анод; 4 – натікач; 6, 13 – дросель; 5 – електромагнітні вакуумні клапани; 8 – вологовідділювач; 7 – витратомір; 9 – кисневий уловлювач; 11 – дозатор; 10 – змішувач газів; 12 – фільтри; 15 – вакуумметр; 14 – датчик температури; 16 – струмоввід катоду; 19 – вакуумні насоси; 17 – струмоввід аноду; 24 – силовий підвищуючий трансформатор; 18, 23 – регулятор напруги;

Технічна характеристика установки:

- потужність 40 кВт;
- напруга, 50 Гц 380 В;
- максимальна напруга у камері 1500 В;

– діаметр камери	600 мм;
– висота камери	1000 мм;
– максимальний вакуум	1 Па;
– інтервал температур деталей	400-1100 °С;
– маса загрузки	500 кг.

Установка включає в себе системи вакуумування, газопостачання, та енергозабезпечення, розрядну камеру та контрольно-вимірювальні пристрої. Процес характеризується чотирма технологічними параметрами: температурою, складом насичувального середовища, тиском у розрядній камері та тривалістю процесу дифузійного насичення. Однією з особливостей цієї установки є використання в якості насичуючого середовища у процесі азотування безводневих газових сумішей, таких як суміш азоту з аргоном, що виключає водневе окрихчення поверхні металу.

Відсутність водню у насичуючому середовищі, який виступає як ефективний редуктор металу та нейтралізатор кисню, вимагає використання особливо чистих насичуючих газів (з чистотою 99,99%), високої герметичності системи газопостачання та вакуумної камери. Навіть невелика кількість кисню (0,1%) може призвести до утворення окисів на поверхні металу, тим самим знижуючи ефективність дифузії азоту в метал. Відмінною особливістю цієї установки є наявність кисневого уловлювача в системі газозабезпечення, який нейтралізує залишковий кисень у насичуючому середовищі перед його введенням у вакуумну камеру.

Застосування тліючого розряду дозволяє суттєво прискорити процес дифузійного насичення поверхні азотом з утворенням нітридів заліза та легуючих елементів. Азотування в тліючому розряді вносить зміни в кінетику процесу та якісні характеристики поверхневого азотованого шару, включаючи його фізико-механічні параметри і фазовий склад. Це призводить до підвищення експлуатаційних характеристик зміцнених деталей, зокрема, їхньої зносостійкості.

					<i>MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

2.2 Умови проведення експериментів (матеріали, середовище)

На сучасний момент існує значна кількість наукових робіт [65-67, 77, 88, 89, 91], що розглядають процеси зміцнення деталей машин за допомогою методів наплавлення та їхню стійкість до зношування в абразивних умовах. У зв'язку з цим ця робота спрямована на вивчення стійкості до зношування конструктивних елементів, поверхня яких була зміцнена за допомогою термічної і хіміко-термічної обробки структурних маловуглецевих, середньовуглецевих та легованих сталей. Експериментальні дослідження проводилися на пробах зі сталі 45 та X12, які були піддані різним методам зміцнення поверхні (див. Таблицю 2.1.).

Таблиця 2.1

Фізико-механічні характеристики зразків

№ з/п	Вид хіміко-термічної обробки (ХТО)	Матеріал зразків	Мікротвердість поверхні Н ₁₀₀ , МПа		Товщина покриття, мкм
			До ХТО	Після ХТО	
1	Гартування	Сталь 45	2510	4580	-
2	Гартування	X12	2820	6720	-
3	Іонне азотування	Сталь 45	2510	5400–7400	150–322
4	Іонне азотування	X12	2820	7000–9700	70–200

Матеріали для проведення досліджень були обрані з метою дослідження впливу різноманітних властивостей на процес зношування. Особливу увагу зосереджено на властивостях, таких як твердість, структура, вплив легуючих елементів та методи зміцнення. Для цього були взяті конструкційні сталі з різним вмістом вуглецю у їх хімічному складі (від 0,2 до 2,2%). Для розгляду впливу легуючих елементів, зокрема хрому, на процес зношування були обрані леговані сталі (X12). Для вивчення впливу різних технологій зміцнення поверхні при абразивному зношуванні застосовувалась технологія азотування в тліючому розряді (див. Таб 2.2).

									Арк.
									36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ				

Досліджено вплив метастабільної структури матеріалу, зокрема залишкового аустеніту, на процес абразивного зношування за допомогою легованої сталі X12, яка піддавалась закалюванню при різних температурах (від 900 до 1150 °С) з нагрівом у бар'єрній ванні та охолодженням в мастилі.

Таблиця 2.2

Хімічний склад досліджуваних зразків матеріалів

№ з/п	Матеріал зразків	Хімічний склад, %							
		C	Mn	Cr	Si	Ni	S	P	Cu
1	45	0,45	0,6	<0,25	0,2	<0,25	<0,04	<0,035	<0,25
2	X12	2,1	0,35	12	0,2	<0,35	<0,03	<0,03	<0,3

Під час наших досліджень ми використовували мікротвердомір ПМТ-3 для вимірювання твердості поверхні зразків. Вміст залишкового аустеніту в сталі X12 було визначено за допомогою рентгенівського апарату УРС-50И при використанні кобальтового випромінювання відповідно до методики [124]. Кількість карбідної фази було визначено на мікроскопі МИМ-10 шляхом підрахунку її площі на шліфах.

З метою виявлення найбільш ефективної технології зміцнення поверхні зразків ми провели попередні порівняльні дослідження. Зразки, зміцнені методами гартування, іонного азотування та цементації, були піддані випробуванням на зносостійкість. Результати зносостійкості зразків після хіміко-термічної обробки (іонного азотування) були порівняні з гартованими зразками тих же марок сталей.

Дослідження зносостійкості зразків, зміцнених методом іонного азотування за різними режимами, проводились на установці для випробувань тертя, описаній на рисунках 2.4.–2.6. Експерименти здійснювалися в модельному середовищі при тиску 0,5 МПа та швидкості ковзання 1,37 м/с.

Також було проведено дослідження складу і характеристик сировини, яка постачається в екструдер при виробництві комбікормів за різними рецептами. За результатами дослідження встановлено, що вологість сировини змінюється

у діапазоні від 20 до 35%, залежно від кількості та видів відходів з зернового виробництва. У склад сировини для підвищення вмісту корисних мікроелементів в комбікормах додається до 10% сапоніту.

Для експериментальних досліджень був створений модельний розчин, який відтворював умови роботи екструдера при обробці зерна з домішками сапоніту. Модельний розчин складався з муки, сапоніту та води в пропорції 9:1:8 відповідно.

2.3 Планування експериментів

Іонне азотування в тліючому розряді було проведено в середовищі суміші азоту з аргоном в різних пропорціях. Технологічний процес ефективно контролюється чотирма технологічними параметрами: тиском у вакуумній камері (P, Па), температурою дифузійного насичення (T, градуси Цельсія), складом насичуючого середовища (вмістом аргона у суміші з азотом в обсягових відсотках) та часом дифузійного насичення (години), що дозволяє варіювати властивості азотованого шару (твердість, товщина, фазовий склад) в широкому діапазоні. Таким чином, можна оптимізувати ці властивості для досягнення максимальних експлуатаційних характеристик, зокрема, зносостійкості.

Для забезпечення максимальної зносостійкості в парах тертя в абразивному середовищі важливо, щоб поверхневі шари мали високу твердість та максимальну товщину. Згідно з теоретичними і експериментальними дослідженнями процесу іонного азотування металів [76, 111, 118, 119], для вивчених сталей (сталь 45, X12) висока твердість досягається при температурах 560-580 градусів Цельсія, а максимальну товщину азотованого шару можна отримати при тривалості процесу дифузійного насичення 6-8 годин.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Висновки до розділу 2

Для проведення експериментальних досліджень зносостійкості матеріалів деталей матеріального циліндра екструдера в умовах близьких до умов експлуатації:

1. Розроблено та виготовлено спеціальну установку тертя, що моделювала умови роботи поверхонь тертя шнека і циліндра, на яку отримано свідоцтво на корисну модель [116] та використано існуючу машину тертя для моделювання умов роботи, коли гребні шнека контактують з поверхнею циліндра, наведену на рис. 2.4;

2. Розроблено водний розчин муки і сапоніту, що моделював середовище роботи шнека і циліндра;

3. Для вивчення впливу властивостей поверхні тертя на процес зношування в середовищі модельного розчину використано різні матеріали (сталі 45, X12) та різні види зміцнення поверхні тертя методами термічної і хіміко-термічної обробки (гартування від різних температур, цементация, іонне азотування в безводневих середовищах);

4. Для оптимізації властивостей азотованого шару за різними критеріями (максимальної твердості, товщини та зносостійкості зміцненого шару) використовувався план експериментів.

Таким чином, створені необхідні умови для успішного проведення експериментів.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛЕЙ

Дослідження свідчать, що зразки, які пройшли зміцнення через іонне азотування в плазмі тліючого розряду в атмосфері без водню, виявили вищу стійкість до зношування в порівнянні з іншими технологіями. Це можна чітко спостерігати на графіках на рисунках 3.1 та 3.2, які демонструють, що рівень зносу і інтенсивність зношування досліджуваних сталей після азотування приблизно вдвічі менше, ніж значення після гартування. Слід відзначити, що більшість метастабільного залишкового аустеніту, який утворився під час гартування сталі X12, розпадається в процесі азотування через більш низьку температуру мартенситних перетворень (<290 градусів Цельсія [123]), порівняно з температурою азотування.

Таблиця 3.1

Результати експериментальних досліджень зносу сталі 45 після азотування за різними режимами

№ режиму	Шлях тертя $L \times 10^3$, м											
	0,28	0,55	0,82	1,2	1,7	2,3	2,8	3,4	3,9	4,4	5	5,5
	Знос, мкм											
1	26	42	56	74	105	142	179	215	262	307	351	396
2	19	29	38	48	71	102	142	187	233	276	321	366
3	23	35	47	59	87	122	168	212	259	303	349	393

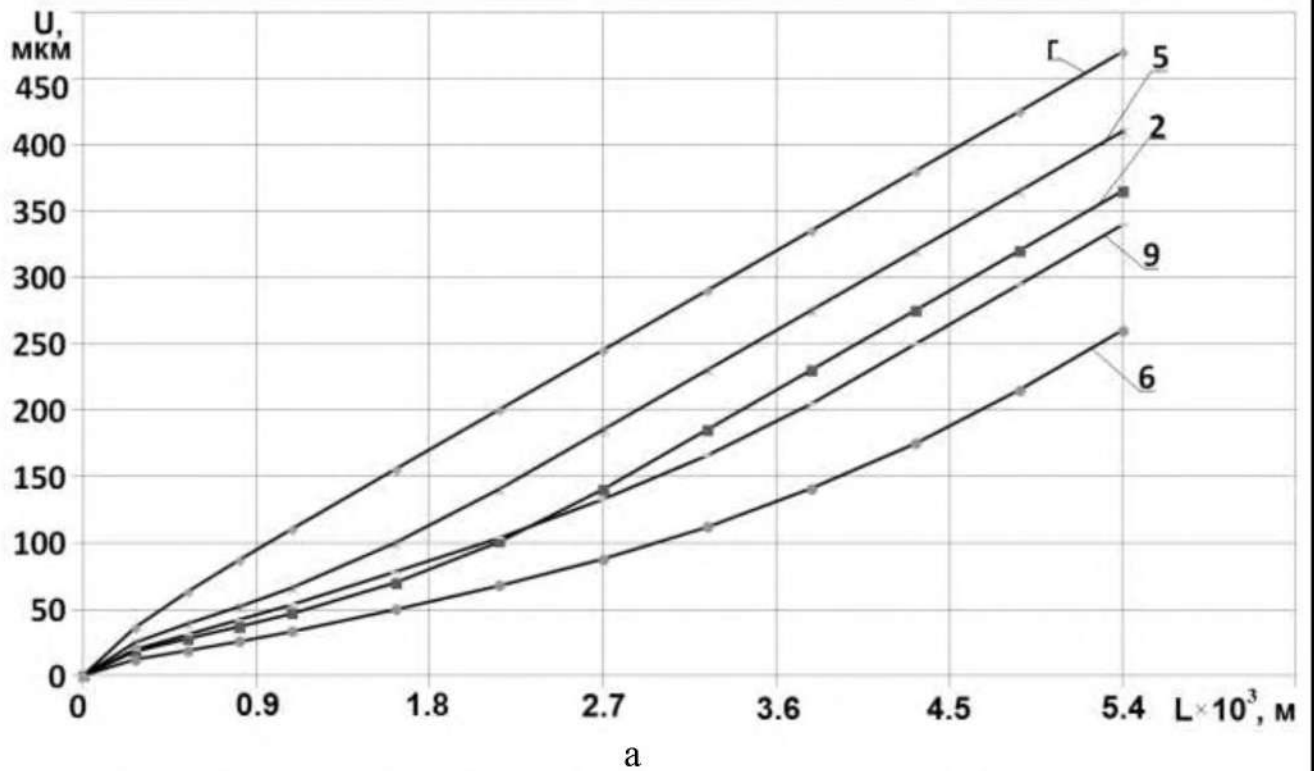


Рис. 3.1 Залежність зносу в модельному розчині сталі 45 іонного азотування:
2, 4-6, 9 – режими азотування; Г – гартування (табл. 3.9)

Таблиця 3.2

Результати експериментальних досліджень зносу сталі X12 після азотування за різними режимами

№ режиму	Шлях тертя $L \times 10^3$, м											
	0,28	0,55	0,82	1,2	1,7	2,3	2,8	3,4	3,9	4,4	5	5,5
	Знос, мкм											
1	2	2,8	3,2	4	5,8	9	12,3	18	23,5	32	41	57
2	2,8	4	4,4	5,5	7,9	12	16	22	30	40	55	72
3	7	11	13	17	25	42	60	79	99	116	137	156

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ

Арк.

50

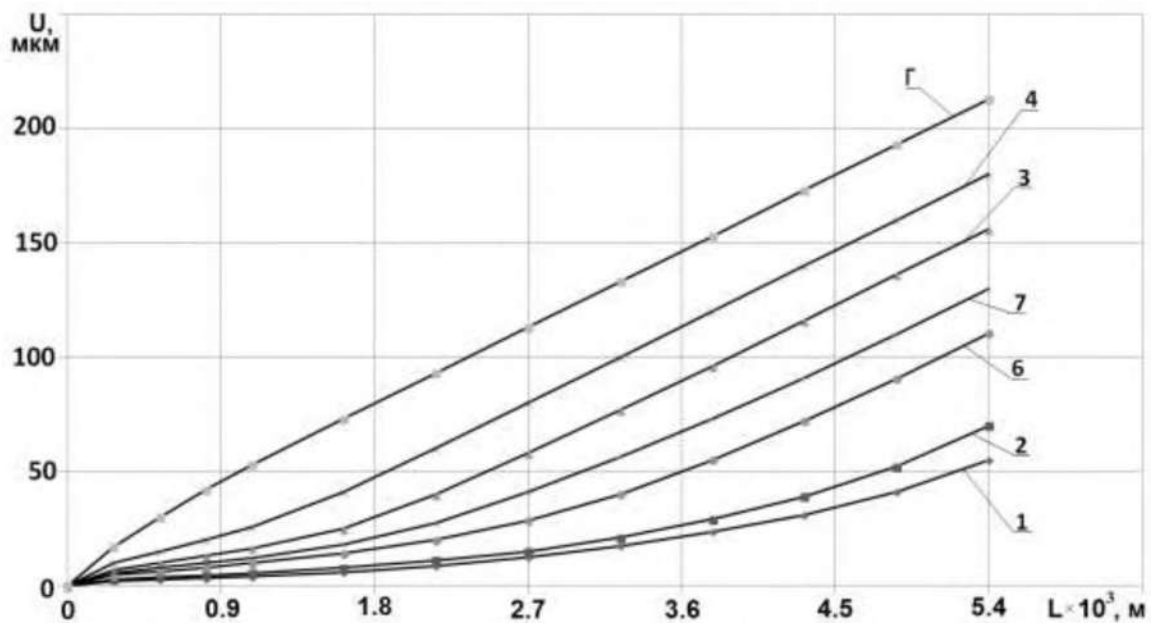


Рис. 3.2 Залежність зносу в модельному розчині сталі Х12 після іонного азотування: 1-4, 6-7 – режими азотування; Г – гартування (табл. 3.10)

На рисунках 3.14-3.16 представлені графіки інтенсивності зношування зразків залежно від шляху тертя. З рисунка можна визначити, що існує період припрацювання як для гартованих, так і для азотованих зразків, причому тривалість і інтенсивність цього періоду різняться. У випадку азотованих зразків тривалість індуктивного періоду та інтенсивність зношування залежать від режимів азотування і мають менші значення порівняно з гартованими зразками через вплив фазового складу поверхні азотованих шарів.

Під час періоду нормального зношування інтенсивність зносу гартованих зразків залишається сталим параметром, тоді як для азотованих зразків ця величина змінюється внаслідок різниці властивостей вздовж товщини азотованого шару. Це відображено на рисунках 3.14-3.16, де видно, що інтенсивність зношування азотованих шарів збільшується зі зростанням шляху тертя і поступово наближається до інтенсивності зносу основи.

На рисунку 3.15 видно, що для сталі 45 (режими 5 та 6) величина зносу після шляху тертя $5,4 \times 10^3$ м становила 410 та 260 мкм відповідно. Тобто,

знос за режимом азотування 6 був в 1,6 рази менший, ніж за режимом 5, і в 1,8 рази менший, ніж у випадку гартованих зразків.

З рис. 3.2 видно, що для сталі X12 величина зносу після шляху тертя $5,4 \cdot 10^3$ м становила 180 та 55 мкм відповідно, тобто, знос за режимом азотування 1 в 3,3 рази менший порівняно з режимом 4 і в 3,8 рази менший в порівнянні з гартованими зразками.

Аналіз зносостійкості зразків досліджуваних сталей після іонного азотування за різними режимами показує, що зносостійкість відрізняється від 1.9 до 3.3 рази. Це можна пояснити наявністю на поверхні зразків різних нітридних фаз з різною концентрацією по товщині азотованого шару. Зокрема в зразках, що мали вищу зносостійкість, на поверхні виявлено переважаючі ϵ - та γ' -фази, а на зразках, що мали меншу зносостійкість, на поверхні концентрація цих фаз була не значною (до 1 %) і переважав твердий розчин азоту в залізі.

З графіків (рис. 3.1) видно, що мінімальний знос для сталі сталі 45 – при тиску 200 Па і 30-33 % Ar, для сталі X12 – тиск 200 Па і 52-55 % Ar.

Отже, оптимальні режими іонного азотування, визначені в ході експериментів за критерієм максимальної зносостійкості для розглянутих сталей, є наступними: для сталі 45 - температура (Т) 570 °С, час процесу (τ) 240 хв., тиск (Р) 200 Па, вміст аргону (Ar%) = 32 %; для сталі X12 - температура (Т) 570 °С, час процесу (\square) 240 хв., тиск (Р) 200 Па, вміст аргону (Ar%) = 53 %.

З рисунка 3.2 видно, що сталь X12, яка була азотована за оптимальним режимом, має найвищу зносостійкість серед сталей. Це пояснюється не лише присутністю нітридів заліза в поверхневому шарі, але і наявністю у структурі сталі значної кількості хрому (12%), що сприяло утворенню нітридів хрому і формуванню більш товстого нітридного шару порівняно зі сталями 45. Зразки зі сталі X12 після нітрогартування мали найвищу зносостійкість, і величина

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

зносу після шляху тертя 5.4×10^3 м становила 24 мкм, що в 2 рази менше порівняно з азотованими зразками.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

РОЗДІЛ 4

Методи підвищення тривалості служби та удосконалення ремонтпридатності вузла екструдування.

4.1 Експериментальна установка.

Для перевірки рекомендацій щодо підвищення опірності до зносу та тривалості служби екструдерів, призначених для обробки фуражного зерна з додаванням мінералів, було розроблено експериментальну установку. Загальний вигляд установки кінематичну схему можна побачити на рис. 4.1, а принципову схему – на рис. 4.2.

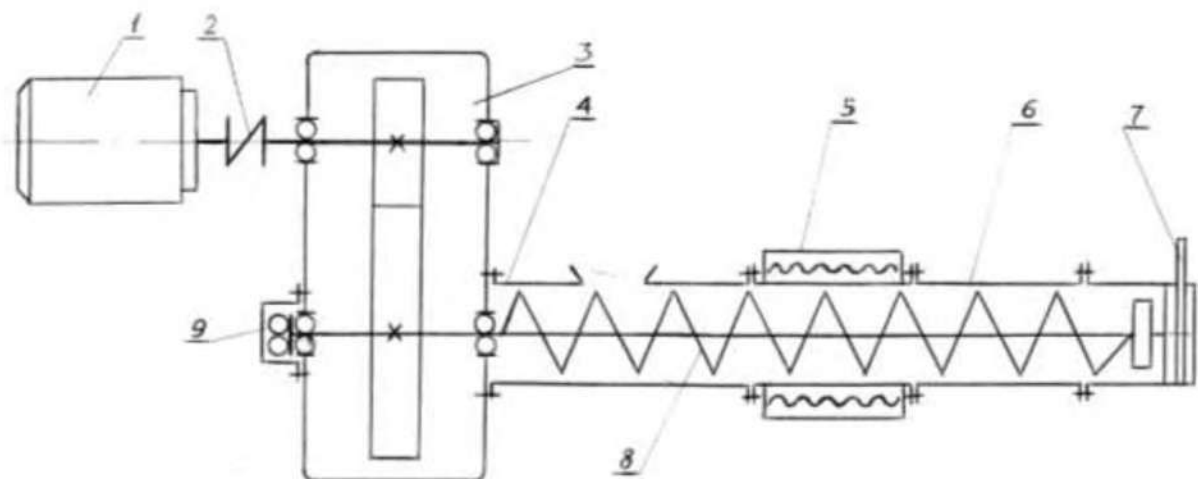


Рис. 4.1 Кінематична схема установки:

1 – електродвигун, 3 – редуктор, 2 – муфта, 5 – нагрівач, 4 – завантажувальний циліндр, 7 – пристрій для регулювання, 6 – пара напівкорпусів, 9 – упорний підшипник 8 – шнек.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ

Арк.

54

використовується для подачі зерноsumіші та зерновідходів в лоток (10), який також входить в склад другого етапу дозатора (8) для точного регулювання. Обидва лотки (9 і 10) оснащені постійними магнітами для утримання випадкових залізних предметів у сировині. Нагрівач (12) використовується для початкового нагріву при запуску екструдера. Структуру циліндра екструдера, яка складається з завантажувального корпусу (11), двох пар напівкорпусів (6), регулюючого пристрою (7) і об'єднаного шнека (8), представлено на рисунку 4.2.

4.2 Конструкція циліндра екструдера

Аналіз поширених конструкцій зарубіжних і вітчизняних екструдерів для переробки фуражного зерна свідчить, що більшість з них мають шнеки і циліндри цільної конструкції. Як показано в дослідженнях багатьох авторів [2-6, 20, 129] і в розділі 1 на рис 1.4., для екструдера характерний нерівномірний розподіл тиску по довжині матеріального циліндра, при цьому максимальне значення його виникає в кінці шнека перед виходом екструдата із циліндра. Величина цієї зони максимального тиску становить 1.5-2 діаметри шнека. В цій зоні виникає максимальне зношування як шнека, так і циліндра.

Слід зазначити, що при експлуатації більшості екструдерів зарубіжного і вітчизняного виробництва потрібно забезпечити високі вимоги до сировини щодо її очистки, вмісту вологи, попереднього пропарювання, тощо [2-6, 16].

При досягненні величини зносу критичного значення, це приводить до різкого зменшення продуктивності екструдера і зниження якості продукції, шнек і циліндр потрібно замінювати, або відновлювати методами наплавки. Все це потребує великих матеріальних затрат.

В умовах фермерського виробництва комбікормів виникла необхідність створення середньої потужності, простої конструкції екструдера,

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

невибагливого до якості сировини та такого, що може переробляти органічні відходи зернового виробництва та мінеральні домішки.

Хмельницький національний університет спільно з ВАТ «Термопластавтомат» розробив та виготовив серію екструдерів марки K24-127 [17-22] (рис.1.2) з потужністю 60 кВт та продуктивністю 350 кг/год. для баротермічної переробки фуражного зерна з домішками відходів зернового виробництва і мінералів. Ми внесли конструктивні зміни до секційного шнека та циліндра, спрямовані на підвищення їхньої ремонтпридатності і довговічності.

На рис. 4.3. представлено конструкцію матеріального циліндра екструдера. Матеріальний циліндр установки складається зі збірного шнека, який включає в себе зібрані на штанзі 6 букси 7 і 15, шайби меншого діаметра 13, шайби більшого діаметра 9, наконечника 4, шпонок 11 і 12. Пакет стискається гвинтом 5 з лівою різьбою.

До завантажувального корпусу 14 приєднується спочатку пара напівкорпусів 17, які затягуються гвинтами і гайками, після чого встановлюється друга пара напівкорпусів. На цій парі напівкорпусів встановлюється регулятор, що складається з корпусу 3, кришки 1 і диска поворотного 2, який закріплений на штифті. Корпус завантажувальний, дві пари напівкорпусів 17 і регулятор центруються кільцями 10, фіксуються шпонками і затягуються хомутами 16. Вихід готового продукту відбувається через трійчасті отвори в корпусі 3 і диску поворотному 2. Поворот диска 2 змінює переріз отвору, регулюючи таким чином якість готового екструдата.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

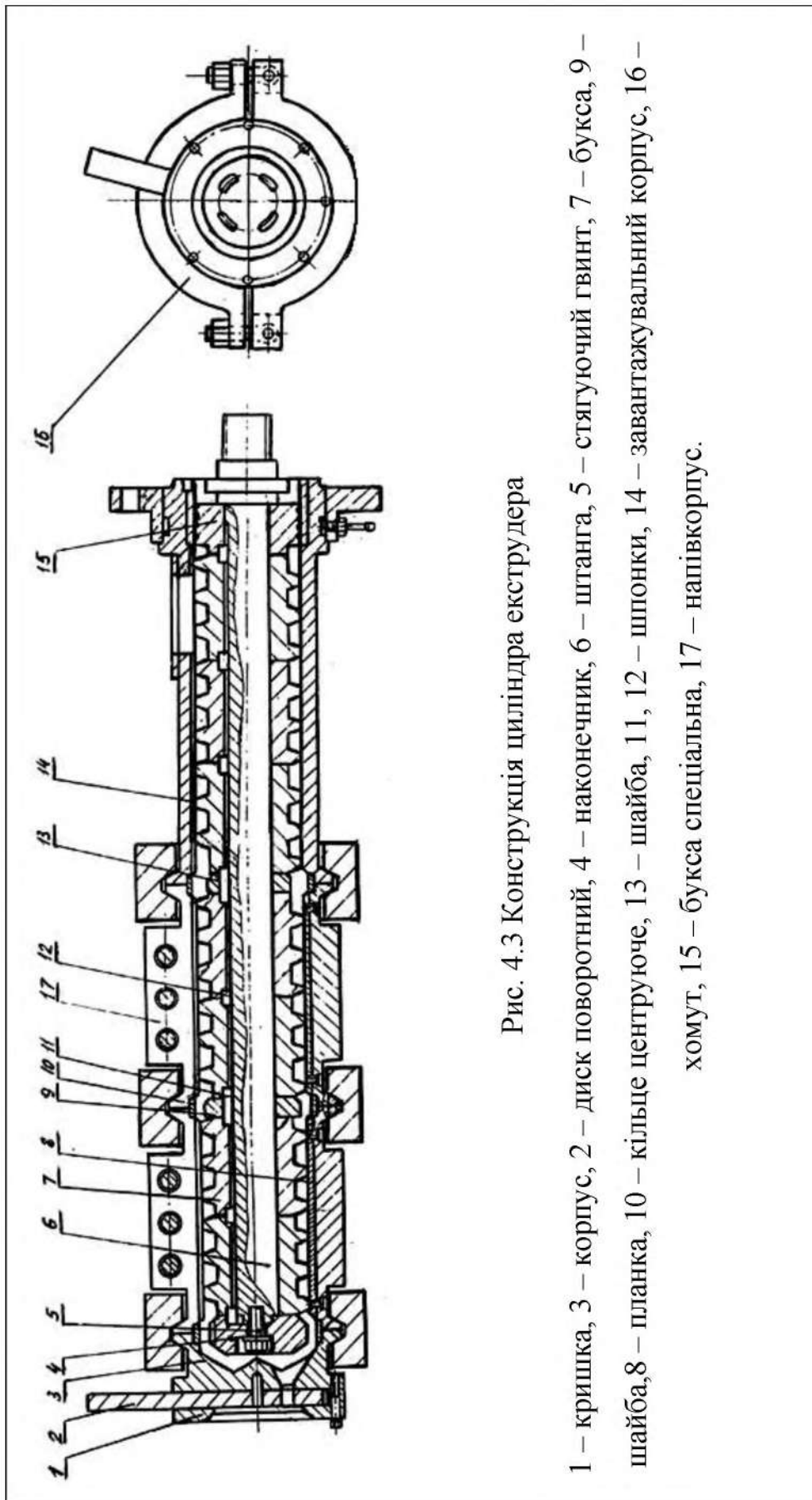


Рис. 4.3 Конструкція циліндра екструдера

1 – кришка, 2 – диск поворотний, 3 – корпус, 4 – наконечник, 5 – штанга, 6 – гвинт, 7 – стягуючий гвинт, 8 – бусина, 9 – шайба, 10 – кільце центруюче, 11 – шайба, 12 – шпонки, 13 – бусина, 14 – завантажувальний корпус, 15 – хомут, 16 – бусина спеціальна, 17 – напівкорпус.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ

Арк.

67

4.3 Конструкція шнека циліндра

Шнек матеріального циліндра містить сім порожнистих секцій (рис. 4.5 а), які монтується на штанзі, закріплюється за допомогою шпонок і жорстко фіксується в осьовому напрямі гвинтом (рис. 4.4). У моделі екструдера К24-127 діаметр і довжина кожної секції становлять 120 мм, а крок нарізаних витків на поверхні дорівнює 40 мм. Довжина секції відповідає кроку нарізки витків, що робить їх взаємозамінними [130, 145].

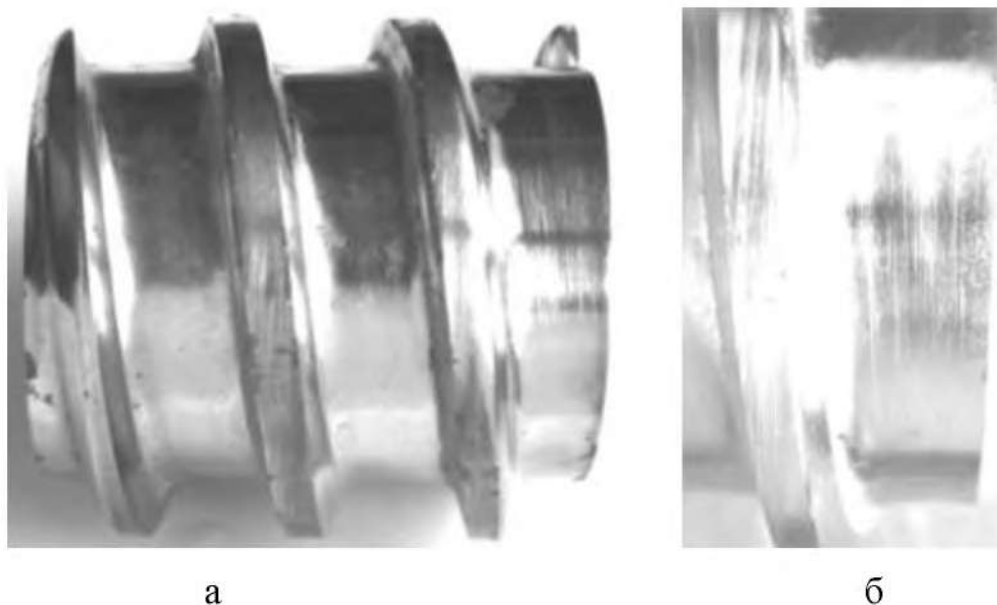


Рис.4.5 Секція шнека

Під час обробки фуражного зерна з домішками мінералу сапоніту, що включає абразивні частинки, виявлено, що секції, що операціують у зоні високого тиску, витрачаються значно швидше, ніж ті, що функціонують у зонах завантаження та екструзії. Характер зношування поверхні секції шнека проілюстровано на рис. 5.5 б. По вичерпанню ресурсу секції у кінці шнека (область високого тиску) її можна замінити секцією з зони завантаження, яка витрачена набагато менше. При перевищенні допустимого рівня зношування

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

секцію замінюють, залишаючи решту без заміни. Це призводить до збільшення ресурсу шнека на 20-25%.

З метою підвищення стійкості до зношування шнека пропонується виготовляти його секції з легованої хромованої сталі Х12, яка піддавалася хіміко-термічній обробці поверхні методом нітрогартування за оптимальним режимом (див. розділ 3) [146]. Це забезпечить необхідний ресурс екструдера, який буде в 3 рази більший, ніж у випадку виготовлення з конструкційної сталі 45 з наступним гартуванням..

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

ВИСНОВКИ

У роботі було вирішено важливе завдання підвищення стійкості до зношування та тривалості служби екструдерів для обробки фуражного зерна з домішками мінералів шляхом обґрунтованого вибору матеріалів для деталей вузла екструдювання, використання високоефективної технології зміцнення та конструктивних підходів для підвищення їхніх експлуатаційних характеристик.

1. На основі порівняльних експериментальних досліджень зносостійкості в абразивному середовищі різних сталей було встановлено, що найбільш перспективними матеріалами для виготовлення шнеків і циліндрів вузла екструдювання є високовуглецеві леговані сталі з високим вмістом хрому, зокрема сталь X12. Ці матеріали включають метастабільні фази і зміцнюються за допомогою термічної і хіміко-термічної обробки.

2. Вивчення показало, що сталь X12 з залишковим аустенітом у структурі матеріалу, що може змінюватися під дією абразивів при зношуванні, має підвищену стійкість до зносу. Максимальна стійкість до зносу досягається при оптимальному вмісті залишкового аустеніту, яке в даному дослідженні становить 55%.

3. Результати експериментальних досліджень свідчать, що зразки із сталі X12, піддані нітрогартуванню з вмістом залишкового аустеніту 55%, виявили максимальну стійкість до зносу в абразивному середовищі. Стійкість до зносу сталі X12 після нітрогартування перевищує стійкість сталі 20 після цементації в 2.4 рази і сталі 45 після гартування майже в 3 рази.

4. Дослідження вказують, що інтенсивність зношування зразків залежить від середнього розміру зерна, зростаючи від 7% до 20% при збільшенні його розміру від 75 до 300 мкм для абразивного зерна розміром 75 мкм. Це спостерігається для різних марок сталі та різних методів обробки, таких як

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

відсутність термообробки, гартування та іонне азотування. Наприклад, для сталі 20 без термообробки знос збільшується на 20%, для сталей після гартування та іонного азотування – на 14-16%, а для сталі X12 після нітрогартування – на 7%.

5. У роботі використано секційні конструкції шнека. Це підвищило довговічність та ремонтпридатність екструдера і суттєво зменшило витрати на його ремонт порівняно з нероз'ємними конструкціями цих елементів.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

1. Гончар В. А. Зносостійкість сталі 45 в корозійно-абразивному середовищі після іонного азотування / В. А. Гончар, П. В. Каплун // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.-Хмельницький, 2013.– №2. – С. 57–61.
2. Гончар В. А. Зносостійкість сталі X12 в водному розчині муки з добавками мінералу сапоніту // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Випуск 12.(75), 2013. – С. 6–14.
3. Гончар В. А. Підвищення довговічності матеріального циліндра екструдера для переробки фуражного зерна з добавками сапоніту. / В. А. Гончар, В. Г. Каплун Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, випуск 40, част. I. – Кіровоград : КНТУ, 2010. – С. 169–173.
4. Каплун В. Г. Математичне моделювання закономірностей розподілу твердості по товщині азотованого шару при азотуванні в тліючому розряді / В.Г. Каплун, П. В. Каплун, В. А. Гончар // Вісник Хмельницького національного університету. Техн. Науки .– Хмельницький, 2012. – №3. – С. 7–10.
5. Матвіїшин П. В. Розрахунок зносостійкості і довговічності градієнтних покриттів при абразивному зношуванні / П. В. Матвіїшин, В. А. Гончар, П. В. Каплун, В. Г. Каплун // Проблеми трибології (Problems of Tribology), 2012. – №1. – С. 116–119.
6. Гончар В.А. Порівняльні дослідження зносостійкості зразків з різними властивостями в модельному абразивному середовищі / Проблеми трибології (Problems of Tribology), 2012. – №2. – С. 38–41.
7. Гончар В.А. Дослідження властивостей азотованого шару сталі ШХ15 та його зношування в абразивному середовищі / В. А. Гончар, П. В. Каплун //

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

8. Grebaut I. Cuisson-extrusion des produits cerealiers. – Industries des cereales. Франция, 1984. – № 28. – С. 7–12.

9. Pallini C. M. Extrudieren – eine moderne Technologie in der Yetreide – verarbeitung. – Die Muhle + Mischfutlertechnik, ФРГ, 1988. – № 10. – Т. 125. – Р. 121–122.

10. Hammer D. Die Kochextrusion. - Die Muhle + Mischfutlertechnik, ФРГ, 1988. – Т.125. – Р. 128–129.

11. Rossen I. L., Food Extrudion. / I. L. Rossen, R.C. Miller // Food technology, США, 1973. – № 27. – Р. 46–53.

12. Naprer I.M. Food extrusion. – CRC reviuos in Food Sci. and Nutritlon. США, 1979. – №11. – Issue 2. – Р. 155–215.

13.

14. Special Report. Extrusion. – Milling. Италия, 1988. – 181. – № 3. – Р. 38–43.

15. Пат. 32993А Україна Спосіб одержання комбікормів з фуражного зерна / В. Г. Каплун, В. С. Павлов, М. О. Мазур, П. С. Кльоц, В. П. Янов. // №98073663; заявл. 10.07.1998; опубл. 7.04.1999.

16. Пат. 32896А Україна Спосіб одержання комбікормів для тварин / В. Г. Каплун, В. С. Павлов, М. О. Мазур. // №98095168; заявл. 30.09.1998; опубл. 3.06.1999.

17. Пат. 33099А Україна Вузол екструдювання і спосіб підвищення його довговічності / В. Г. Каплун, В. С. Павлов, М. О. Мазур. // №981116001; заявл. 12.11.1998; опубл. 8.06.1999.

18. Пат. 11939 Україна Гравітаційний дозатор сипучих матеріалів / В. Г. Каплун, В. С. Павлов, М. О. Мазур. // №2000116449; заявл. 14.11.2000; опубл. 16.07.2001 бюл.№6.

19. Каплун В. Г. Спосіб получения комбикормов из фуражного зерна / В. Г. Каплун, В.С. Павлов, Н.А. Мазур. // Информационный листок №48-01. Хмельницький ЦНТЭИ, 2001. – 2 с.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Гідпис	Дата		73

20. Кулик М.Ф. Традиційні і нетрадиційні мінерали в тваринництві / М.Ф. Кулик, Т. В. Засуха – К. : Сільгоспосвіта, 1995. – 251с.

21. Засуха Т. В. Нові дисперсні матеріали у тваринництві / Вінниця. : “Арбат”, 1997. – 224с.

22. ТУ–10.34.93. Борошно сапонітове для збагачення комбикормів, виробництва мінеральних добрив і м'ясо-кісткового борошна / М. Ф. Кулик, В. О. Грицик, І. М. Величко, Т. В. Засуха та ін. // Вінниця. : – 1993.

23. Кулик М. Ф. Вплив сапонітової мінеральної добавки на продуктивність корів, телиць та біологічну оцінку молока, яловичини і свинини / М. Ф. Кулик, Т. В. Засуха // Комбикорми і кормо виробництво, 1994. – №38. – С. 55–62.

24. <http://www.ru.all.biz/ekstrudery-dlya-proizvodstva-kombikormov-bgg1004957>

25. Klein L. Predicting the effect of screw wear on the performance of plasticating extruders // Polymer Engineering Science, 1975. – V. 15. – №6. – P. 444–450.

26. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах. Киев, «Техника», 1970. – 395 с.

27. Слонимский Г. Л. Механохимические явления в каучуке и резиновых смесях и их роль в формировании свойств резины.—«Химическая наука и промышленность», – том IV, – 1959. – № 1. – С. 45–52.

28. Sheldon G. L., Finnie J. On the ductile Behavior of nominally brittle Materials during erosive Cutting.—«Transactions of the ASME», ser. B, 1967. – vol. 88, N 4, pp. 51–57, 58–68.

29. Torrance A. A. A new approach to the mechanics of abrasion // Wear, 1981. – V67. – N2. – P.233-257.

30. Lee G. Y. A physically-based abrasive wear model for composite materials / G.Y.Lee, C.K.H.Dharan, R.O.Ritchie // Wear, 2002. – V.252. – N.3–4. – P. 322-331.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

31. Zum Gahr K.-H. Microstructure and wear of materials. – Amsterdam : Elsevier, 1987. – 560 p.
32. Wang Y.-L. An analysis of the influence of plastic indentation on three-body abrasive wear of metals / Y.-L. Wang, Z.-S. Wang // Wear, 1988. – V.122. – N2. – P.123–133.
33. Beckmann G., Gotzmann J. Analytische Betrachtung zum Strahleverschleis von Metall // Schmierungstechnik. – 1979. – V.10. – N4. – S.104–107.
34. Spurr R.T. The nature of contact during abrasion // Wear. – 1981. – V.67. – N3. – P.375–379.
35. Torrance A. A. An explanation of the hardness differential needed for abrasion // Wear. – 1981. – V.68. – N2. – P.263–266.
36. Rohrig K. Abrasionsbestandige Eisengusswerkstoffe. – VDI-Z. – 1962. – 124. – N5. – P. 11–14, 17–20, 23–24.
37. Kassim S. Al-Rubaie. Equivalent hardness concept and two-body abrasion of iron-base alloys // Wear. – 2000. – V.243. – 1-2. – P. 92–100.
38. Scheffler O. The abrasive wear of steels in South African soils / O. Scheffler, C. Allen // Tribology International. – V.21. – N3. – P. 127–135.
39. Zum Gahr K. H. Modelling of two-body abrasive wear // Wear. – 1987. – V.124. – N1. – P.87-103.
40. Antony K. C. Wear resistant cobalt-base alloys // J. Metals. – 1983. – V. 35. – №2. – P. 52–60.
41. Каплун В. Г. Прогрессивные технологии упрочнения конструктивных элементов / В. Г. Каплун, П. В. Каплун// В кн. «Современные технологии в машиностроении». Харьков НТУ «ХПИ», 2007. – С. 388-403.
42. Вельбой В. П. Технології і обладнання для напилення / В. П. Вельбой, П. В. Каплун // Хмельницький, ТУП. – 2007. – 162 с.
43. Упрочнение деталей лучом лазера. Под ред. В. С. Коваленка. – К. : Техника. – 1990. – 192 с.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

44. Студент М. М. Розроблення багатофункціональних електродугових покриттів із порошкових дротів на основі Fe-Cr-B-Al та Fe-Cr-C-Al – Автореферат дис. д-ра техн. Наук: 05.02.01.–Львів.–2011.– 33 с.

45. Murray M. J. Abrasive wear mechanisms in steels / M. J. Murray, P. J. Mutton, J. D. Watson // Transactions ASME. – 1982. – V.104. – P. 9–16.

46. Misra A. A review of the abrasive wear of metals / A. Misra, I. Finnie // Trans. ASME J. Eng. Mater. and Technol. – 1982. – 104. – N2. – P. 94–101.

47. Jian-Min Tong, Yi-Zhong Zhou, Tian-Yi Shen and Hai-Jin Deng. The influence of retained austenite in high chromium cast iron on impact-abrasive wear // Wear Volume 135, Issue 2, January 1990, – P. 217–226.

48. Гарнець В. М. Матеріалознавство. – К. : Кондор, 2009. – 386 с.

49. Reinhard H., Hartung P. Verschleiss bei Verarbeitung von Kunststoffen // Kunststoffe – 1986. – Bd. 76. – №4. – P. 369–374.

50. Каплун В. Г. Дослідження працездатності і надійності термопластавтомата ДБ 33-28 при переробці пластмасс / В. Г. Каплун, П. В. Магвішин, В. А. Гончар // Вісник Хмельницького національного університету, 2008. – №4. – С. 87–94.

51. С. Martini , G. Palombarini, G. Poli and D. Prandstraller. Sliding and abrasive wear behaviour of boride coatings // Wear Volume 256, Issue 6, March 2004, – P. 608–613.

52. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде. – Харьков : НЕЦ ХФТИ, 2006. – 364 с.

53. Мохорт А. В. Термічна обробка металів. / А. В. Мохорт, М. Г. Чумак // К. : Либідь, 2002. – 512 с.

54. Каплун В. Г. Енерго і ресурсоберігальна екологічно чиста технологія і обладнання для зміцнення деталей машин / В. Г. Каплун, І. М. Пастух // Машиностроение, 2002. – №2. – С. 49-51.

55. Сапоніт Ташківського родовища. Сертифікат якості. Інститут біоколоїдної хімії НАН України Затверджено 18.09.1995р. – 4 с.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

56. Пат. 34233 Україна Пристрій для випробувань на корозійно-абразивний знос / В. Г. Каплун, В. А. Гончар. // №u2007 13431; заявл. 03.12.2007; опубл. 11.08.2008, Бюл.№15.

57. Каплун В. Г. Умови роботи та характер зношування деталей екструдера при виготовленні комбікормів для тваринництва / В. Г. Каплун, В. А. Гончар // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький, 2008. – №3. – С. 44–47.

58. Каплун П. В. Вплив покриттів на зносостійкість і довговічність підшипників кочення: автореф. дис. канд. тех. наук: 05. 02. 08 / Київ, 2004. – 20 с.

59. Паршенко К. В. Вплив залишкового аустеніту та його насичення азотом на зносостійкість і довговічність сталі X12 в умовах тертя кочення: автореф. дис. канд. тех. наук: 05. 02. 04 / Хмельницький, 2009. –18 с.

60. Гончар В. А. Методика дослідження зносостійкості шнека екструдера для переробки фуражного зерна з добавками мінералу сапоніту // Проблеми трибології (Problems of Tribology), 2008. – №4. – С. 19–21.

61. Каплун В. Г. Дослідження зносостійкості пар тертя в середовищі фуражного зерна з добавками мінералу сапоніт / В. Г.Каплун, В. А. Гончар // Проблеми трибології (Problems of Tribology), 2011. – №2. – С. 17–20.

62. Каплун В. Г. Дослідження зносу і тиску в матеріальному циліндрі термопластавтоматів при переробці пластмас / В. Г. Каплун, П. В. Матвіїшин, В. А. Гончар // Проблеми трибології(Problems of Tribology), 2007.– №3. – С. 25–29.

63. Кузьменко А. Г. Контакт, трение и износ самазанных поверхностей / А. Г. Кузьменко, А. В. Дыха // Хмельницький : ХНУ, 2007. – 344 с.

64. Пат. 64797 Україна Шнек екструдера підвищеної довговічності / В. Г. Каплун, В. А. Гончар. // №u201102333; заявл. 28.02.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл.№.22.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

65. Пат. 65922 Україна Спосіб підвищення зносостійкості шнека екструдера / В. Г. Каплун, В. А. Гончар. // №u201102299; заявл. 28.02.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл.№.24.

66. Гончар В. А Умови роботи вузла екструдювання екструдерів при переробці фуражного зерна з добавками сапоніту. / В. А. Гончар, В. Г. Каплун // тези доп. «VI міжн. конф. молодих науковців «Інформатика та механіка» м. Кам'янець – Подільський, 2008 – С. 64–65.

67. Гончар В. А. Дослідження працездатності термопласт автоматів і екструдерів при переробці різних матеріалів./ В. А. Гончар, В. Г. Каплун, П. В. Матвійшин // тези доп. МНТК «Ольвійський форум- 2008: Стратегія України в геополітичному просторі» м. Ялта, Крим, 2008. – С. 135–137.

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК

					MP TAM 23. 22374. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

**Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства**

Тема:

**Підвищення зносостійкості шнека зернопереробного
екструдера іонним азотуванням**

Спеціальність 132 – «Матеріалознавство»

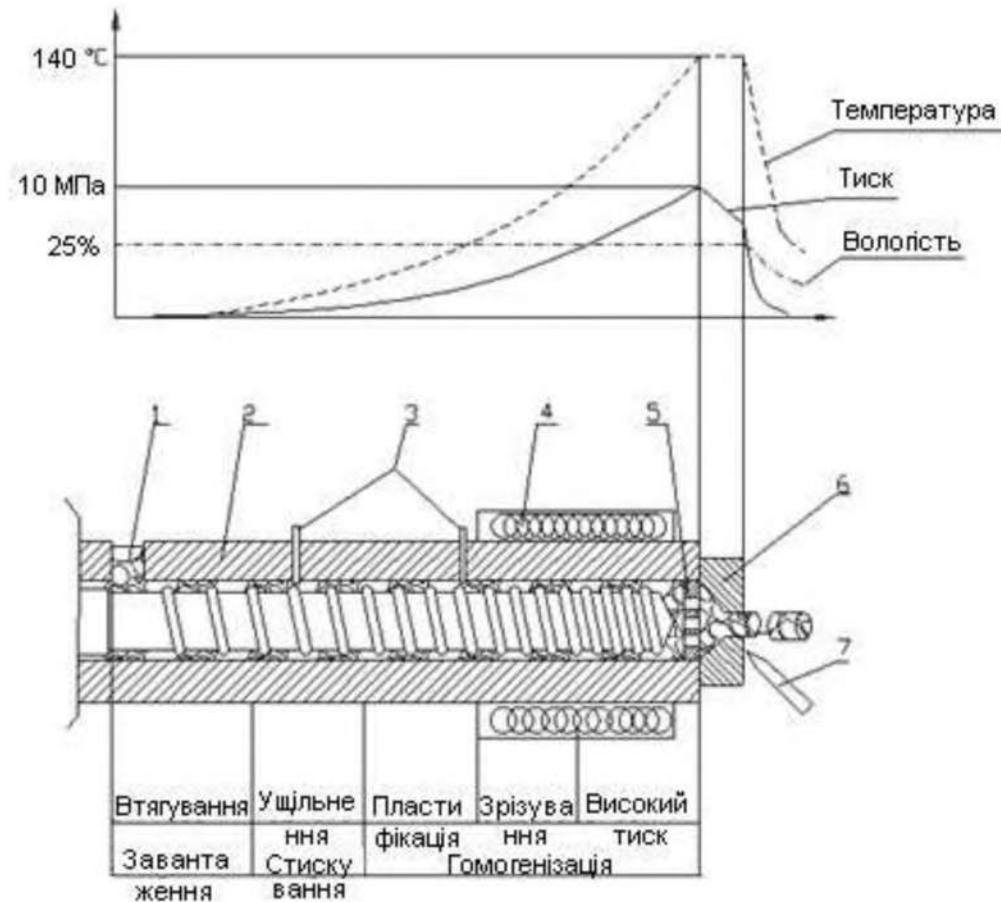
Студент групи МТВАм -22-1

Вальчук Вадим Васильович

КОНСТРУКЦІЇ ІСНУЮЧИХ ЕКСТРУДЕРІВ



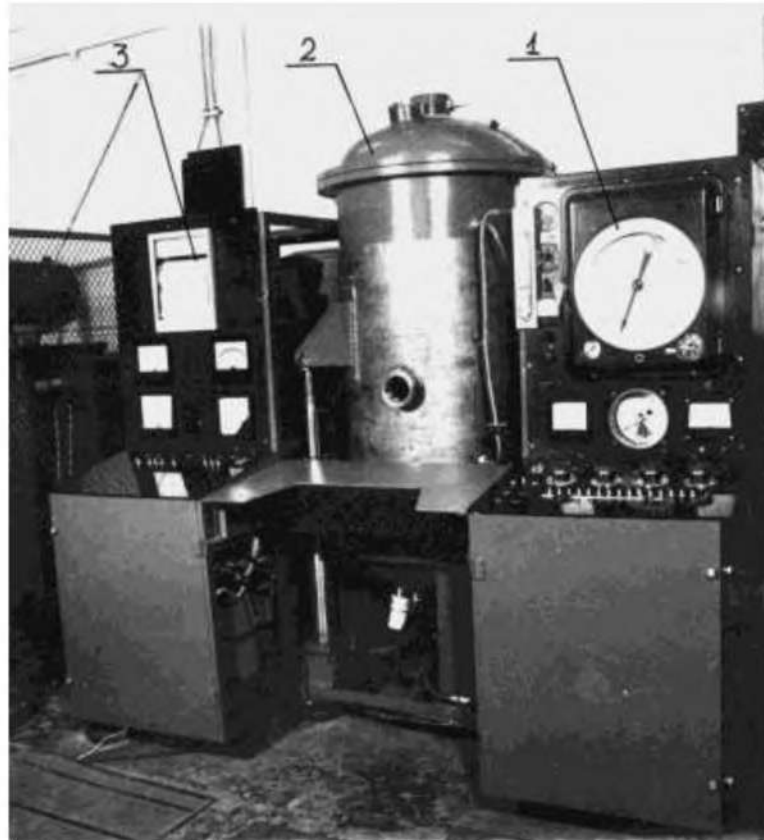
УМОВИ РОБОТИ ДЕТАЛЕЙ ЕКСТРУДЕРА



Технологічні зони по довжині робочої зони екструдера

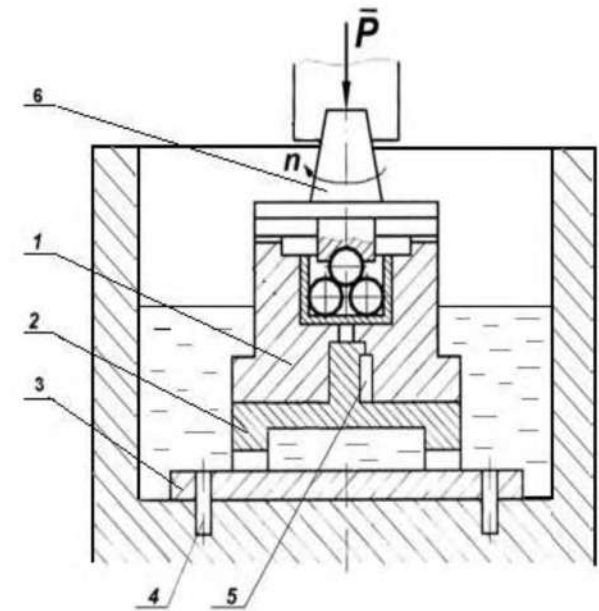
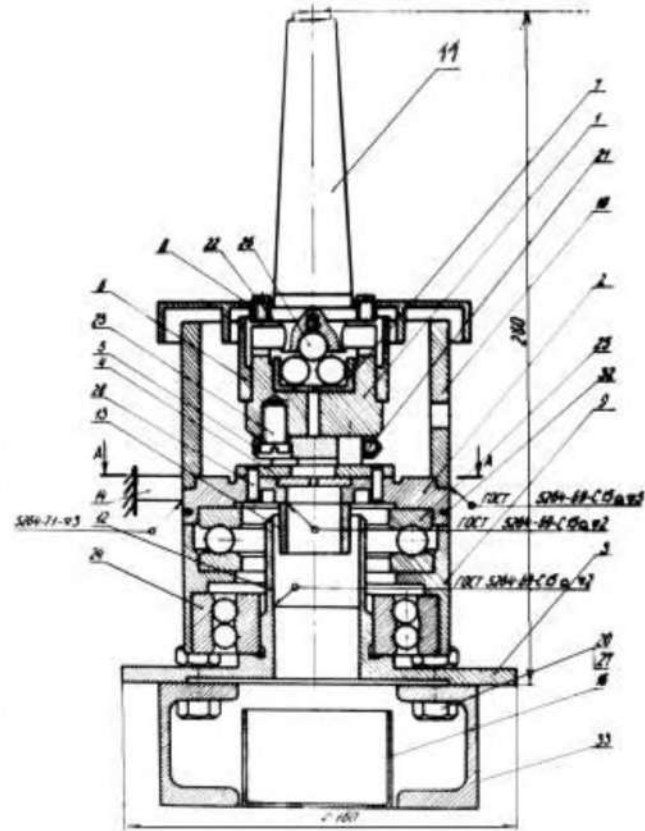
1—подача сировини; 2—циліндр; 3—термопари; 4—обігрів; 5—перфорована пластина; 6—сопло; 7—ножі.

Установка для хіміко-термічної обробки матеріалів у тліючому розряді “УАТР-1”



1 – блок вакуумування і газоприготування з контрольно-вимірювальними приладами; 2– вакуумна камера; 3 – блок електрозабезпечення з відповідними контрольно-вимірювальними приладами.

МАШИНА ТЕРТЯ



a)

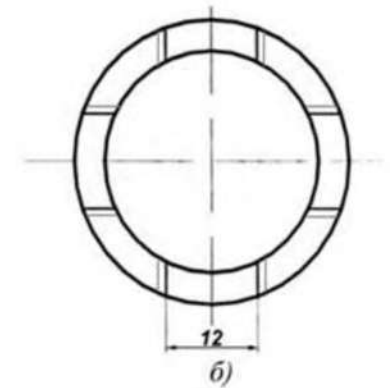
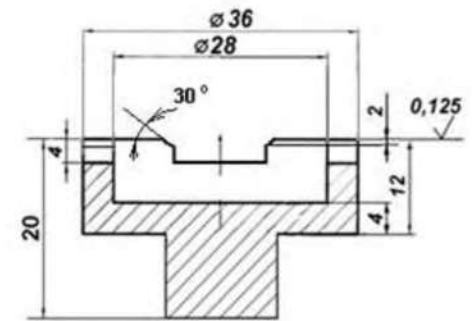
Конструкція вузла тертя установки

ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ

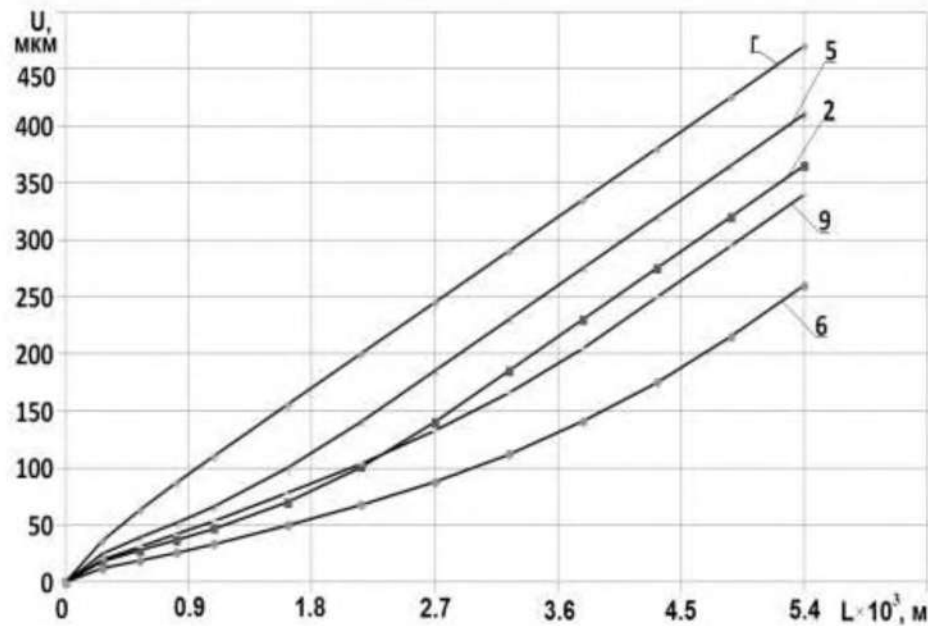
Хімічний склад сталей

№	Матеріал зразків	Хімічний склад, %							
		C	Mn	Cr	Si	Ni	S	P	Cu
1	45	0,45	0,6	<0,25	0,2	<0,25	<0,04	<0,035	<0,25
2	X12	2,1	0,35	12	0,2	<0,35	<0,03	<0,03	<0,3

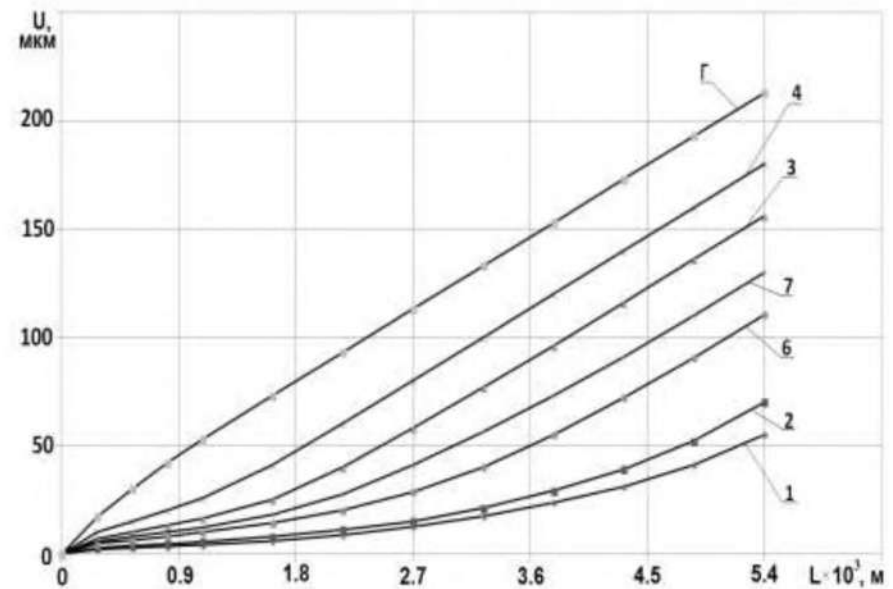
Зразок



ЗНОШУВАННЯ СТАЛІ 45 І Х12 ПІСЛЯ АЗОТУВАННЯ



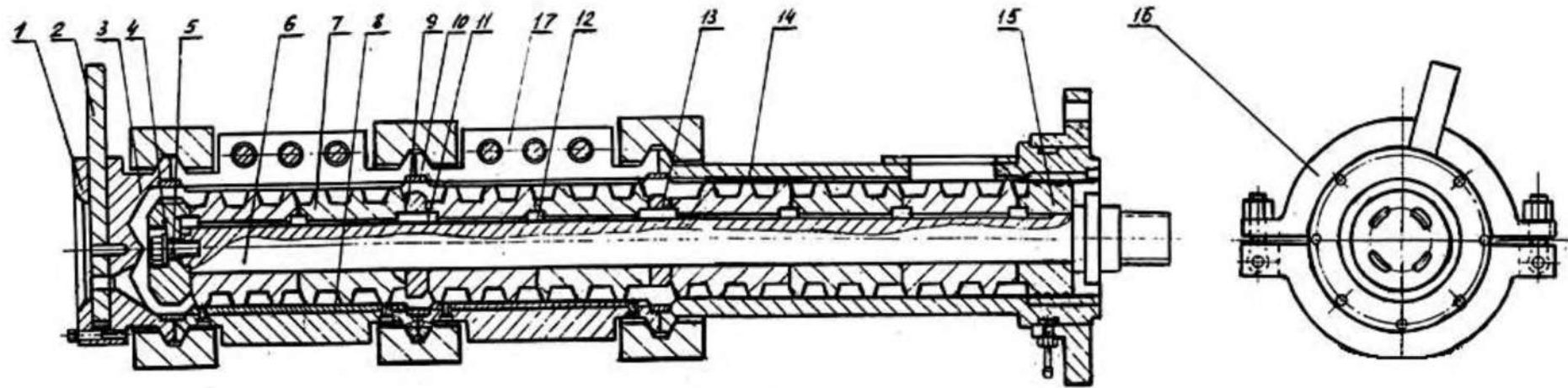
45



X12

Залежність зносу сталей від шляху тертя

КОНСТРУКЦІЙНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ І РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ



Секція шнека і конструкція циліндра екструдера

1 – кришка, 2 – диск поворотний, 3 – корпус, 4 – наконечник, 5 – стягуючий гвинт, 6 – штанга, 7 – букса, 8 – планка, 9 – шайба, 10 – кільце центруюче, 11, 12 – шпонки, 13 – шайба, 14 – завантажувальний корпус, 15 – букса спеціальна, 16 – хомут, 17 – напівкорпус.



ВИСНОВКИ

1. На основі порівняльних експериментальних досліджень зносостійкості в абразивному середовищі різних сталей було встановлено, що найбільш раціональними матеріалами для виготовлення шнеків і циліндрів вузла екструдювання є леговані сталі, зокрема сталь X12.

2. Результати експериментальних досліджень свідчать, що зразки із сталі X12, піддані азотуванню, виявили максимальну стійкість до зносу в абразивному середовищі. Стійкість до зносу сталі X12 перевищує стійкість сталі 45 після азотування в 2.4 рази і сталі 45 після гартування майже в 4 рази. Рекомендований режим азотування $T=570\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau=240\text{ хв.}$, $P=200\text{ Па}$ $Ar\%= 53\%$ X12.

3. У роботі використано секційні конструкції шнека. Це підвищить довговічність та ремонтпридатність екструдера і суттєво зменшило витрати на його експлуатацію порівняно з нероз'ємними конструкціями цих елементів.

Дякую за увагу