

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

Пояснювальна записка до дипломної роботи бакалавра

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»


Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»
на тему: «Відновлення порожнистих деталей транспортних засобів методом
роздавання»

Шифр: ДРБАТ 24.21166.000. ПЗ

Виконав: студент 4 курсу, група МТВАс-21  М.О. Козінчук

Керівник

 д.т.н., проф. Диха О.В.

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ  Диха О.В.

6 06 2024_р.

Хмельницький, 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр
Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»
Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»
Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедрою ТАМ

Диха О.В.

" 15 "квітня 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Козінчук Михайло Олегович

1. Тема роботи:
«Відновлення порожнистих деталей транспортних засобів методом роздавання»

керівник проекту: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 15 лютого 2024р. № 8

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту:

- 1) Технічні умови ремонту порожнистих циліндрів.
- 2) Річна програма ремонту деталей.
- 3) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

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

1. Актуалізація використання технології механічного розподілу втулок з використанням електрогідравлічного впливу
2. Огляд літератури та патентно-інформаційних матеріалів щодо технології відновлення пустотілих циліндрів
3. Дослідження електричних характеристик дугового розряду в закритому просторі
4. Розробка пристрою для відновлення за використанням електрогідравлічного ефекту

5. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 15 квітня 2024р.


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Актуалізація використання технології механічного розподілу втулок з використанням електрогідравлічного впливу	1.05.2024	
2	Огляд літератури та патентно-інформаційних матеріалів щодо технології відновлення пустотілих циліндрів	15.05.2024	
3	Дослідження електричних характеристик дугового розряду в закритому просторі	1.06.2024	
4	Розробка пристрою для відновлення за використанням електро-гідравлічного ефекту	5.06.2024	
5	Оформлення презентації	10.06.2024	

Студент

 Козінчук М.О.

Керівник роботи

 Диха О.В.

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 79 сторінок, кількість рисунків – 32 таблиць – 11, додатків – 1, кількість джерел згідно із переліком посилань – 30.
Студент гр. МТВАс-21-2 Козінчук Михайло Олегович

Тема «Відновлення порожнистих деталей транспортних засобів методом роздавання»

Дана дипломна робота спрямована на покращення якості та ефективності процесу розтягування втулок шляхом розробки нового пристрою та технології. Для досягнення цієї мети, ми ставимо перед собою наступні завдання:

Проведений аналіз доступної літератури та патентів, що стосуються технології розтягування втулок.

Вивчені особливості технологічного процесу електрогідравлічного вибуху.

Проведені експерименти для вивчення впливу конструкційних параметрів та режимів роботи тангенційного пристрою на якість та продуктивність процесу розтягування втулок.

Визначена залежність параметрів парогазової порожнини та переміщень електророзрядного генератора пружних коливань від режимів роботи пристрою.

Перелік ключових слів: порожнисті циліндри, роздавання, втулки, електрогідравлічний удар, відновлення

Зміст

1. АКТУАЛІЗАЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОГО РОЗПОДІЛУ ВТУЛК З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ВПЛИВУ.....	7
2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ПУСТОТЛИХ ЦИЛІНДРІВ.....	9
2.1 Аналіз способів роздавання втулок.....	9
2.2. Аналіз існуючих способів відновлення втулок.....	12
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДУГОВОГО РОЗРЯДУ В ЗАКРИТОМУ ПРОСТОРІ.....	22
3.1. Методика експериментального дослідження умов формування процесу в замкнутому просторі ЕГЛК.....	22
3.2. Дослідження електричних параметрів дугового розряду в замкнутому об'ємі.....	23
4. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЗА ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРО-ГІДРАВЛІЧНОГО ЕФЕКТУ.....	32
4.1. Визначення потреби у запропонованій розробці.....	32
4.2. Принцип дії приладу.....	33
4.3. Технологія відновлення поршневого пальця.....	35
4.4. Режимні параметри технологічного процесу роздачі.....	37
4.5. Теоретичний аналіз динамічних процесів.....	38

					ДРБМТВА 24.21166.000.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Козінчук		<i>В.М.</i>				
Перевір.	Диха		<i>[Signature]</i>		ХНУ, гр.МТВАс-21-2		
Н.контр.	Бабак		<i>[Signature]</i>				
Затвер	Диха		<i>[Signature]</i>				

Відновлення порожнистих
деталей транспортних засобів
методом роздавання

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДИ ДЖЕРЕЛ УДАРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	42
5.1. Вимірювання удару плити.....	42
5.1.1 Метод пружного контакту.....	42
5.1.2 Енергетичний підхід до визначення тисків.....	45
Висновки.....	60
Список літератури.....	62
Додатки.....	66

					ДРБМТВА 24.21166.000.ПЗ	Ст.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ВСТУП

Важливим завданням є підвищення ефективності використання обладнання та зниження витрат матеріальних, паливно-енергетичних і трудових ресурсів. Одним із основних шляхів досягнення цієї мети є відновлення зношених деталей, тобто комплекс операцій, спрямованих на відновлення працездатного або працездатного стану деталей і відновлення їх технічного ресурсу.

Економічна обґрунтованість відновлення деталей визначається, перш за все, можливістю багаторазового і багаторазового використання 65-75% деталей. Вартість відновлених деталей не перевищує 75% вартості нових, а вартість матеріалів для їх відновлення в 15-20 разів нижча за вартість виготовлення нових.

Однак варто зазначити, що термін служби відремонтованих деталей зазвичай становить лише 60-80% від терміну служби нових деталей. Це пов'язано з дефектами просторової геометрії корпусу та базових деталей, а також із застосуванням методів відновлення, які не забезпечують необхідної зносостійкості та стійкості до втоми деталей.

Підвищення якості відновлених деталей є складним завданням, яке потребує складного системного аналізу. Сьогодні в ремонтному виробництві найпоширенішою технологією відновлення розмірів деталей є розподільна. Проте відновлені за цією технологією деталі мають серйозні недоліки, основним з яких є високі залишкові напруги в матеріалі втулки, що в кінцевому підсумку призводить до руйнування деталей.

Одним із перспективних напрямків розвитку технології відновлення зношених деталей, наприклад втулок, є застосування для цього електрогідравлічного впливу.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		6

1. АКТУАЛІЗАЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОГО РОЗПОДІЛУ ВТУЛК З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ВПЛИВУ

На сучасному етапі розвитку ремонтного виробництва поширена технологія відновлення деталей, що передбачає їх механічне розтягування. Однак такий підхід супроводжується низкою істотних недоліків, основним з яких є великі деформації матеріалу втулок після обробки, що в кінцевому підсумку призводить до поломки деталей.

Одним із перспективних напрямків удосконалення технології відновлення зношених деталей, наприклад втулок, є застосування електрогідравлічного ефекту з метою досягнення більш ефективних результатів.

Суть сучасної технології, яка зараз використовується в ремонтному виробництві, полягає в тому, що відновна гільза поміщається в спеціальний неметалічний патрон, який спрямовує електричний розряд уздовж осі деталі і запобігає пробоїм на бічній поверхні гільзи. Для підвищення ефективності процесу в порожнину цього картриджа встановлюється спеціальний провідник. Внутрішній простір відновленої деталі заповнюється робочою рідиною. В результаті електрогідравлічного вибуху і ударної хвилі металева гільза деформується і збільшує свій зовнішній діаметр.

Однак при проходженні електрогідравлічного вибуху спостерігається нерівномірний розвиток вибуху, що призводить до нерівномірної деформації гільзи. Як наслідок, втулка має значні дефекти, такі як стовбур, конусність і викривлення валу, які впливають на якість і продуктивність під час подальшої обробки. Тому ця технологія не набула широкого практичного застосування.

У роботі запропоновано спосіб і технологію механічного розтягування втулок за допомогою ударних імпульсів. Цей підхід заснований на передачі ударних імпульсів на відновлену деталь за допомогою спеціального тангенціального пристрою, який генерується електророзрядним генератором пружних коливань. Поштовх високої амплітуди, який виконує функцію

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		7

розтягування гільзи, передусє високочастотним коливанням, викликаним джерелом електричного розряду. Ці коливання активізують дифузійну активність атомів матеріалу гільзи, зменшують сили тертя між дотичною та матеріалом гільзи, підвищують її пластичність. Рівномірне деформування втулки забезпечується рівномірним розподілом тиску, створюваного дотичною на поверхню втулки. Збільшення розтягування втулки досягається за рахунок збільшення дифузійної рухливості атомів матеріалу втулки.

Таким чином, метою нашої роботи є підвищення якості та ефективності процесу розтягування гільзи шляхом розробки нового пристрою та технології. Для досягнення поставленої мети ми ставимо перед собою такі завдання:

1. Проведіть аналіз доступної літератури та патентів, що стосуються технології розтягування рукава.
2. Вивчити особливості технологічного процесу електрогідравлічного вибуху.
3. Провести дослід з вивчення впливу конструктивних параметрів і режимів роботи тангенціального пристрою на якість і продуктивність процесу розтягування втулок.
4. Визначити залежність параметрів парогазової порожнини та переміщень електророзрядного генератора пружних коливань від режимів роботи пристрою.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		8

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ПУСТОТЛИХ ЦИЛІНДРІВ

На сучасному етапі розвитку ремонтного виробництва однією з основних технологій відновлення деталей є дистрибуція. Однак важливо відзначити, що дана технологія супроводжується рядом суттєвих недоліків, основним з яких є високі залишкові напруги в матеріалі втулок, що в кінцевому підсумку може призвести до виходу з ладу компонентів.

2.1 Аналіз способів роздавання втулок

Що стосується існуючих способів розподілу втулок, то до них відносяться такі способи:

Хромування: Відновлення зовнішнього діаметра зношених втулок шляхом нанесення хрому на їх поверхню. Однак такий підхід дуже трудомісткий.

Роздача ударом: при такому способі роздачі на зовнішній поверхні пальців з'являються тріщини, що є одним з головних недоліків.

Гаряча прокатка: метод передбачає видачу деталей після їх попереднього нагрівання до високих температур. Однак це супроводжується нерівномірністю припуску на обробку і складністю забезпечення структури цементуючого шару.

Гідродинамічне дозування: Цей спосіб призначений для дозування твердих втулок з подальшою термообробкою. Деталі піддають обробці в умовах загартування і подальшого шліфування.

Електрогідравлічний ефект (ЕНЕ): метод використовує ефект електрогідравліки для дозування деталей, зокрема втулок.

Централізоване відновлення поршневих пальців тракторних двигунів здійснюється за допомогою гідротермічного розподілу, зокрема гартування, шліфування та полірування пальців.

У цьому контексті важливо відзначити, що технологія гідротермального розподілу постійно вдосконалюється з метою підвищення надійності та

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		9

продуктивності процесу. Зокрема, проводяться дослідження щодо зменшення корсетоподібності пальців і уникнення дефектів при шліфуванні.

Також для зниження витрат на обробку кінців пальців розглядаються способи жорсткої фіксації пальців в осьовому напрямку, що дозволяє зберегти їх довжину при гідротермічному розподілі.

На Ярославському моторному заводі для відновлення зношених поршневих пальців і усунення дефектів при шліфуванні при виготовленні нових пальців використовується метод гідротермічного розподілу (ГТР). Для забезпечення повного перетворення залишкового аустеніту в процесі була введена операція холодної обробки протягом двох годин при температурах від 50 до -70 °С в холодильній установці АКФЕС 2,5-70. Після цієї операції пальці гартують у шахтній електропечі при температурі 200-230 °С протягом двох годин з наступним охолодженням на повітрі.

Для підвищення продуктивності технологічного процесу відновлення поршневих пальців на безперервній механізованій лінії (ПМЛ) використовується автоматизація та роботизація. Наприклад, роботизований комплекс торцевого шліфування поршневих пальців і контролю твердості розроблений ВНПО «Ремдеталь» і впроваджений на Майкопському АРЗ Держагропрому РРФСР.

Для виробництва поршневих пальців, які виготовляються з середньовуглецевої сталі методом ГТР, може бути складно збільшити їх діаметр через відносно невелику товщину стінок (4-5 мм проти 8-10 мм у дизелях). двигуни) (див. рис. 2.1).

Друге Донецьке виробниче об'єднання «Авторемонт» спільно з Державтотранснпроектм реалізувало технологічний процес відновлення зношених поршневих пальців двигуна ЗІЛ-130 за допомогою електрогідравлічного ефекту (ЕГЕ) (див. рис. 2.2).

Поршневий палець, який потрібно дозувати, поміщається в неметалевий технологічний картридж одинарної дії. Даний патрон призначений для

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		10

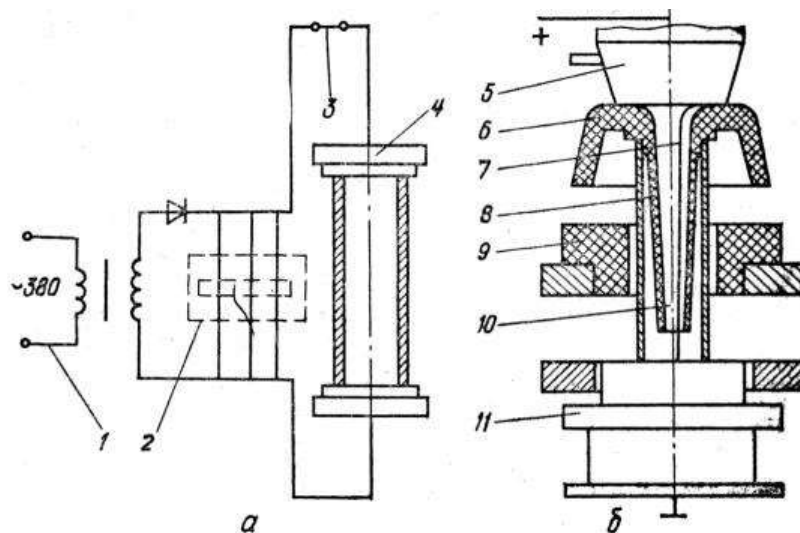


Рис. 2.2. Розподіл поршневих пальців за ЕГЕ:

а - Форма установки; б - форма технологічного вузла;

- 1 - випрямний пристрій; 2 - блок; 3 - формування сферичний розрядник; 4 - технологічний вузол; 5 - рухомий позитивний електрод; 6 - патрон; 7 - дрiт; 8 - поршневий палець; 9 - матриця; 10 — порожнина; 11 - негативний електрод

Для процесу розподілу поршневих пальців використовуються наступні оптимальні технологічні параметри відновлення з використанням ЕГЕ: напруга розрядного контуру - 37 кВ, ємність батареї конденсатора - 6 мкФ, матеріал патрона ВВ - поліетилен ПЕВ-500; матеріал провідника - алюмінієвий дрiт діаметром 0,7 мм; передаюче робоче середовище - технічна вода.

2.2. Аналіз існуючих способів відновлення втулок

Початкові дослідження, проведені Р. В. Пихтовниковим (СРСР) і Д. С. Вудом (США), свідчать про можливість одержання якісних і точних деталей з листових заготовок і значного зниження собівартості їх виготовлення в умовах дрібносерійного виробництва. Вперше такі вчені, як Лос-Анджелес, направили електрику, щоб змінити енергію вибухових матеріалів. Юткін, З.М. Поляк, А.П.Сорочинський, Ю.Є. Шамарін та ін., провели експерименти з

						Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата	ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	12

використанням розрядно-імпульсної технології листового штампування та продемонстрували додаткові переваги цього підходу для створення та впровадження обладнання з електрогідравлічними ефектами в промислове виробництво. Однак відсутність належного теоретичного аналізу та критичної оцінки ранніх експериментальних результатів призвела до надмірного використання розрядно-імпульсного методу на різних матеріалах і формах виробів. Це часто призводило до негативних наслідків і навіть до скорочення роботи, пов'язаної з розрядно-імпульсним штампуванням.

В останнє десятиліття дослідження розрядно-імпульсного впливу на метали активізувалися. Вони були присвячені динамічним процесам деформування металів, а також мали на меті дослідження можливості використання розрядно-імпульсної технології обробки металів під високим тиском. Вчені встановили, що метал починає проявляти пластичну деформацію при імпульсному навантаженні, коли напруження перевищують межу текучості. Також встановлено, що матеріал зазнає локалізованих збурень у вигляді зубчастих хвиль стиснення та уявної пластичної деформації. Це призводить до подрібнення зерен, зміни орієнтації кристалів і міжкристалічних шарів, а також до виникнення внутрішніх напруг. Енергія деформації перетворюється в теплоту, яка утворюється в зоні деформації. В результаті може відбуватися рекристалізація і зміцнення матеріалу, а також зниження внутрішніх напруг.

Електрогідравлічний розподіл, розвальцювання та опресування

Дуже перспективним є застосування електрогідравлічного ефекту для дозування, прокатування та опресування різноманітних виробів. Наприклад, широке впровадження електрогідравлічної прокатки труб дозволяє уникнути складного і неефективного ручного розподілу і опресування труб в теплообмінниках, а також механізувати, прискорити і здешевити цей процес. Електрогідравлічний розподіл також дозволяє ефективно відновлювати габарити зношених і бракованих порожніх виробів [6, 19, 23, 24]. На

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		13

сьогоднішній день випускаються серійні моделі електрогідравлічних агрегатів, таких як «Молнія-3», «Молнія-5М», «Молнія-6У», «Молнія-8», «Молнія-9» та інші, призначені для кріплення труб. в трубних сітках теплообмінників різного призначення. Вже на початку 1950-х років було розроблено кілька способів застосування основного методу електрогідравлічного розподілу (наприклад, спалювання) за допомогою теплового вибуху та іскрового розряду.

Електрогідравлічний факел може здійснюватися декількома способами: безпосередньо через електрогідравлічний удар, що виникає в спеціальному пристрої, розміщеному всередині роздавальної трубки і заповненій рідиною; внаслідок електрогідравлічного удару, який виникає через пружну стінку спеціального картриджа, який також заповнений рідиною, і встановлений всередині роздавальної трубки (див. рисунок 2.3); електрогідравлічний удар, який передається через металевий пристрій (див. рис. 1.4), і ця дія діє на задану ділянку стінки роздавальної трубки тощо [6].

У всіх перерахованих вище варіантах спалювання може використовуватися як іскровий розряд, так і тепловий вибух. У разі теплового вибуху вибуховий матеріал міститься як у рідині, так і в пластмасі або навіть у самовибуховому матеріалі. Існують також факельні пристрої, призначені як для одноразового, так і для багаторазового використання, і можуть включати як метод безперервної подачі дротяної вибухової речовини, так і розміщення вибухової речовини в жорсткому або гнучкому патроні.

В одному з варіантів пристрій виготовлено з пластикового стрижня, в який поміщається вибуховий матеріал. Імпульс подається на передній кінець вибухового матеріалу, який виступає з пластику. Задній кінець вибухового матеріалу зігнутий і стикається зі стінкою згорнутої труби. Через товстий провідник до вибухового матеріалу подається електричний струм, який забезпечує локальний вибух, оскільки виготовлений з тонкого дроту. Таким чином, сила кочення на даній ділянці труби точно фіксована.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		14

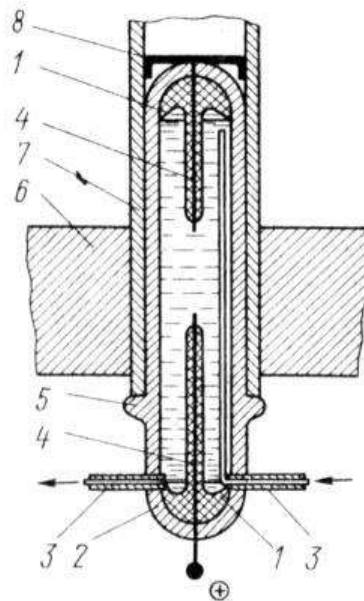


Рис. 2.3. Пристрій для електрогідролрозвальцьовування труб еластичним патроном:

1 - відбивач; 2 - еластичний патрон; 3 - труби водопостачання та водовідведення; 4 - електроди; 5 - виступ (фіксатор); 6 - трубна дошка;

7- трубний прокат; 8 - місце контакту

За іншим сценарієм контакти вибухових термоелементів (ВТЕ) з великою групою рухомих пристроїв, які приводяться в рух, підключаються до живильної силової установки через комутаційний пристрій, що визначає послідовну подачу імпульсів і активацію рухомих пристроїв. патрони. Це дозволяє одночасно розкочувати і запресовувати велику кількість (до кількох десятків штук) катаних труб у трубні дошки теплообмінників.

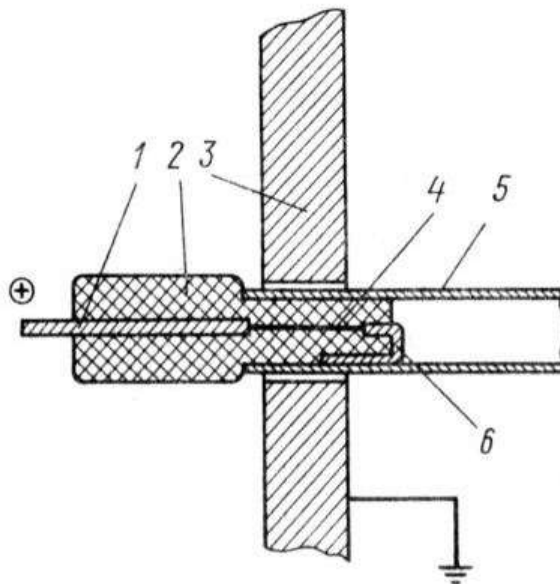


Рис. 2.5. Пристрій для електрогідравлічного розширення труб тепловим вибухом:

- 1 - струмопровід; 2 - пластик; 3 - трубна дошка; 4 - дрiт;
- 5 - катана труба; 6 - струмопровід

У пристрої для електрогідравлічного розподілу продуктів може використовуватися еластичний картридж. Наприклад, поршневий палець або гусеничну гільзу встановлюють у товстостінну форму-затискач (див. рис. 2.6, а), а в порожнину поршневого пальця вставляють заповнену рідиною трубчасту пружну оболонку-гільзу з електродами [34]. Такого ж ефекту можна досягти, помістивши тепловий вибух ВТЕ в порожнину розподіленого продукту, використовуючи сипучий матеріал, наприклад, пісок (див. рис. 2.6, б). За допомогою цих методів зношені частини можуть бути розподілені до заданої межі, яка визначається розмірами твердої матриці, а потім вони обробляються та повертаються в експлуатацію.

Електрогідроімпульсні процеси засновані на використанні ЕГЕ - комплексу явищ, пов'язаних з високовольтним розрядом в рідині. Суть ЕГЕ полягає в наступному: трансформатор (див. рис. 2.7, а) і високовольтний випрямляч накопичують електричну енергію до заданого рівня напруги в

батареї конденсаторів. Після цього за допомогою спеціального перемикаючого пристрою (розрядника) ланцюг розряду замикається, і в каналі між електродами на короткий проміжок часу (10 - 100 мкс) виділяється енергія. Під дією високої напруги (5 - 70 кВ) і в результаті іонізації неоднорідної рідини утворюється канал провідності, по якому протікає імпульсний струм (10 - 250 кА). Цей струм розширює іонізований канал.

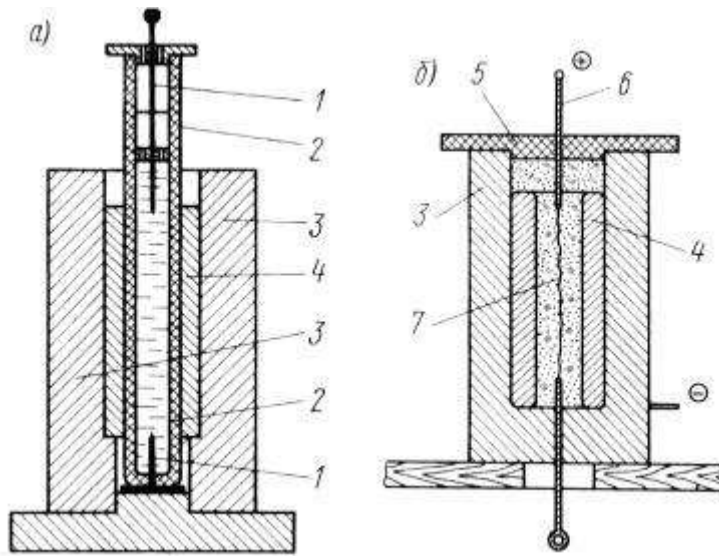


Рис. 2.6. Електрогідрравлічні пристрої для відновлення розмірів:

і- порожнисті деталі машин із застосуванням оболонки;

б - зношені поршневі пальці;

1 - електроди; 2 - еластична оболонка, наповнена; 3 - товстостінний «хомут»; 4 - відновлювана частина; 5 - діелектрична кришка;

6 - струмопровіддо ВТЕ; 7 - провід ВТЕ

Різка розширення плазмового каналу призводить до виникнення в рідині ударних хвиль, які досягають значень $(10 - 14) \cdot 10^8$ Па. Розряд супроводжується світловим випромінюванням, виникненням магнітного поля, пульсацією і рух рідких мас. З точки зору сутності та характеру прояву його можна охарактеризувати як електричний вибух, здатний деформувати та руйнувати різні матеріали. Механічна дія високовольтного розряду в рідині була вперше відкрита в 1767-1769 Г. Лейном і Дж. Прістлі. Незважаючи на

									Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата					18

спроби практичного використання цього фізичного явища, вони не привели до успіху.

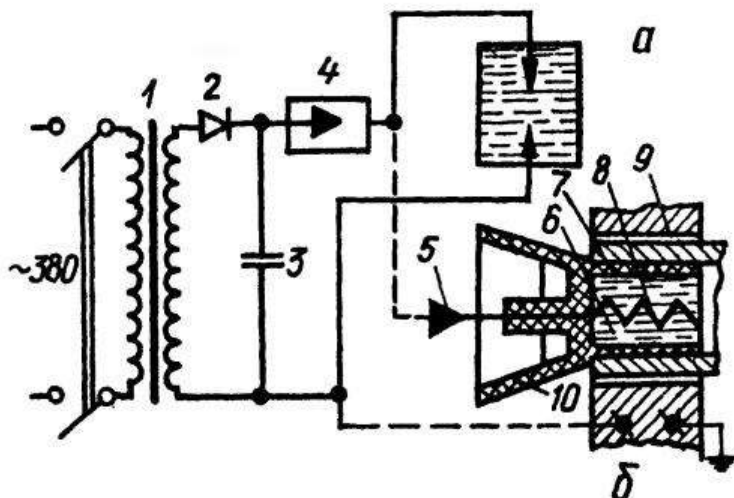


Рис. 2.7. Принципові схеми отримання ЕГЕ (а) і ЕГЕ пресування труб (б):

- 1 - трансформатор; 2 - високовольтний випрямляч; 3 - батарея конденсаторів;
 4 - розрядник; 5 - електроди; 6 - рідина; 7 - труба;
 8 - вибуховий провідник; 9 - трубні решітки; 10 - електрофугасний патрон

Піонерські дослідження в області високовольтного розряду в рідині і супутніх йому гідродинамічних явищ були здійснені І. В. Федоровим і Л. А. Юткіним [56]. Вони відкрили шлях до інтенсивних наукових досліджень цього явища, а також його впливу на оброблені матеріали.

Обладнання, між яким в рідині відбувається розряд високої напруги, називається електродами. Розташування електродів і способи ініціювання пробою міжелектродного проміжку призвели до створення різних способів і пристроїв електрогідродинамічної обробки металів під дією тиску.

Один з найпростіших варіантів конструкції електродної системи призначений для роботи в умовах пробою розрядного проміжку. Однак такий підхід не завжди забезпечує оптимальні умови і стабільність енергетичного погляду, а втрати можуть становити величезні 20 - 60%. Останнім часом для підвищення ефективності розряду і створення штучного каналу широко

використовують ініціатори - тонкі провідники різної форми, що розміщуються між електродами. Ініціювання розряду підвищує ефективність візуалізації енергії в 1,5 - 2 рази.

Електричний вибух провідника — складне фізичне явище, яке виникає при подачі на провідник імпульсу струму від розряду конденсатора. Під час розряду конденсатора на провіднику відбувається видиме нагрівання, плавлення, випаровування і газокінетичне розширення продуктів вибуху, що призводить до гідродинамічних збурень навколишньої рідини і виникає імпульсний тиск.

Утворення напруги між трубою і трубними ґратами при електрогідродинамічній обробці тиском відбувається за рахунок імпульсу тиску, який виникає при вибуху в трубі при введенні патрона одноразової дії. Ефективність збору енергії визначається багатьма факторами, такими як параметри розрядного контуру (зарядна напруга U_0 , ємність батареї конденсаторів C , індуктивність розрядного контуру L), параметри внутрішнього трубопроводу (діаметр d_n , довжина l , матеріал, форма) і параметри середовища (щільність, видимість поширення звуку, хімічний склад).

Для електровибухової обробки характерні високі швидкості виділення енергії та високі швидкості навантаження (деформації). Цей метод можна віднести до динамічних (імпульсних) методів. Проте природа впливу цього процесу на властивості матеріалу залишається невизначеною.

У зв'язку з широким практичним використанням електровибухової обробки (для очищення виливків, штампування, розвальцьовування та ін.) актуалізувалося питання про визначення її впливу на властивості матеріалів. Важливим завданням є визначення терміну служби деталей, що обробляються, а також елементів конструкції електровибухових установок та встановлення технологічних напрямків застосування електровибухового зміцнення деталей машин і пресування виробів із порошків.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		20

Слід зазначити, що електричний розряд у рідині супроводжується складним комплексом фізико-хімічних процесів. До них відносяться ударні хвилі, що змінюються в часі і просторі, поля високого тиску, акустичні і температурні поля, магнітні поля високої сили імпульсу, потужні гідродинамічні потоки і явища кавітації, а також світлове випромінювання. Кожен із цих факторів може впливати на фізико-механічні властивості матеріалу та його структурний стан [36]. Ймовірно, вплив на властивості матеріалів формується в результаті взаємодії цього комплексу факторів.

На підставі спостережень можна зробити висновок, що електроструминна обробка прискорює процеси релаксації напружень, що призводить до зниження на 50-60% залишкових напружень, які спостерігаються при штучному старінні матеріалів. Цей метод можна використовувати для зняття залишкових напружень у зварних конструкціях і стабілізації геометрії виливків.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		21

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДУГОВОГО РОЗРЯДУ В ЗАКРИТОМУ ПРОСТОРИ

Поява нових можливостей використання електричного вибуху в конденсованих середовищах призвела до появи численних проблем, пов'язаних зі стабілізацією процесу в електророзрядних генераторах пружних коливань (ЕГКО). Ці завдання виникають через особливі умови, в яких працюють EGLC, такі як високі температури, високі гідростатичні тиски, обмежений об'єм рідини в розрядних камерах, мала збережена енергія та значна індуктивність розрядного контуру.

Крім того, для підвищення ефективності електроімпульсної обробки деталей, які можна обробляти за допомогою ЕЖХ, необхідно визначити оптимальні параметри цих генераторів. Усе це підкреслює актуальність дослідження електричного вибуху в замкнутих об'ємах рідини в умовах технологічних процесів, де використовуються такі установки. Лише на основі таких досліджень можна розробити практичні рекомендації щодо стабілізації процесу в розрядних камерах EGLC та оптимізації їх роботи.

3.1. Методика експериментального дослідження умов формування процесу в замкнутому просторі ЕГЛК

В основу методики експериментального дослідження умов формування процесу в замкнутому об'ємі ЕГЛК було покладено послідовне дослідження впливу різноманітних зовнішніх факторів на основні характеристики до початку процесу. Мене особливо зацікавило визначення впливу розмірів розрядної камери на умови процесу. Також важливо було визначити вплив таких параметрів схеми, як ємність батареї конденсаторів, індуктивність розрядного контуру (індуктивність змінюється зміною довжини струмопровідників) та геометрію електродної системи, в т.ч. довжина

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		22

розрядного проміжку і довжина відкритої частини струмопровідного стрижня електрода, а також форма ізолятора.

Аналіз таких експериментальних даних може бути корисним для вибору оптимальних параметрів схеми та геометрії електродної системи для досягнення ефективної роботи розрядних камер EGLC.

3.2. Дослідження електричних параметрів дугового розряду в замкнутому об'ємі

Основні характеристики стадії процесу визначали за допомогою осцилограм розрядного струму та напруги на розрядному проміжку. Реєстрацію струму та напруги проводили за детально описаною методикою з використанням коаксіальних шунтів та ємнісних розподільників напруги [2].

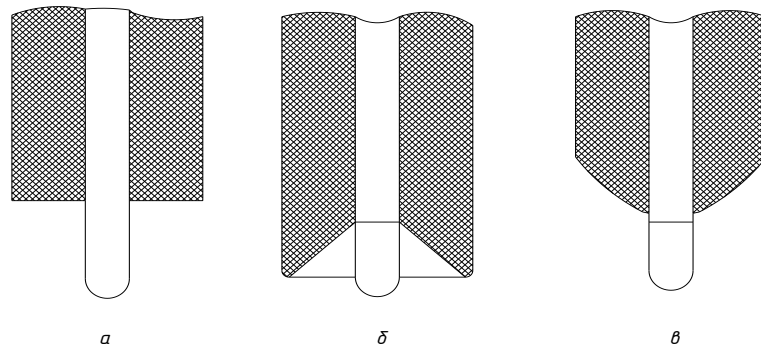
Враховуючи великий обсяг отриманих даних про процес формування розряду у водних просторах на кожному режимі, було зібрано по 20 осцилограм і проведено подальший аналіз на основі статистичної обробки цих даних. Для контролю якості процесу (наприклад, процесу розряду на дно камери або в бічну стінку) також проводили візуальну реєстрацію розряду.

Для виявлення можливих причин нестабільної роботи експериментальних зразків ЕЖК з малими розмірами розрядних камер було проведено дві серії розрядів у двох різних камерах в однакових умовах. Перша камера була циліндричної форми і мала такі розміри: внутрішній діаметр $d_{vn} = 200$ мм, висота $h = 300$ мм (обмежений об'єм). Другий мав форму куба зі стороною 600 мм (вільний об'єм). В обох випадках використовувався стрижневий електрод типу А.

Параметри експерименту: початкова напруга на конденсаторі $U_0 = 50$ кВт, ємність батареї конденсаторів $C = 1$ мкФ, довжина розрядного проміжку $l_{p.p.} = 60$ мм, довжина відкритої частини стрижня електрода $del = 10$ мм. У всіх дослідах використовували воду з питомою електропровідністю $\sigma_0 = 0,5 \cdot 10^{-1}$

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		23

Ом-1·м-1. Для подальших експериментів використовувався електрод, попередньо оброблений кількома десятками циклів, що забезпечувало рівномірне покриття його поверхні ерозійними дефектами.



Мал. 1. типи електродів, що використовуються в експерименті

Рис. 3.1. Типи електродів, що використовуються в експерименті

Результати експерименту наведені в таблиці 3.1. Крім середніх значень параметрів, наведених у таблиці, для оцінки статистичної різноманітності вказуються також їх середні квадратичні відхилення (стандартні відхилення).

Таблиця 3.1

Експерименту йте	Вогонь, кВ	Пр, кВ	$td.$ $p.,$ m x	$\delta[tdl],$ mx	$л,$ mx	$\delta[t],$ mx	$\hat{W}_{п.н.},$ Дж	$\delta[W_{p.p}],$ Дж	$W_{pp}/W_z,$ %
ОО	22..29	35..37	8	4	2.6	0,4	268	86	22
ТАК	27..33	35..38	18	8	5	0,6	287	38	28

Напруга і мінімальна напруга для запалювання і пробою представлені у вигляді інтервалів значень. Нижні значення являють собою мінімальну напругу, при якій хоча б один із десяти зарядів призводить до займання (пробою). Верхні значення відповідають мінімальній напрузі, при якому всі десять з десяти проведених розрядів призводять до запалювання (пробою) розриву.

Аналіз отриманих результатів практично не виявив впливу розмірів розрядної камери на ключові характеристики формування процесу, такі як напруга запалювання розряду ($U_{ignition}$), напруга пробою ($U_{пр}$) та енергія, витрачена на пробій (W_{pp}). Цей результат не є несподіваним, оскільки існуючі

теорії формування процесу розряду не передбачають залежності умов пробою від об'єму рідини. Вплив об'єму може проявлятися на більш пізніх стадіях після формування розрядного каналу.

Наступним етапом наших досліджень було визначення впливу геометрії електродної системи (довжина розрядного проміжку, довжина оголеної частини стрижня, форма ізолятора) на стадію формування процесу пробою. .

Експерименти по вивченню впливу довжини розрядного проміжку проводили за наступних параметрів установки: $U_b = 50$ кВ, $C = 5$ мкФ, $l_{ep} = 30$ мм, $d_{el} = 8$ мм, використовувався електрод типу В. Довжина розрядного проміжку змінювалася від 8 до 70 мм.

Аналіз результатів експерименту виявив високу залежність характеристик процесу пробою від довжини розрядного проміжку (див. табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Експеримент $l_{rp.p.}$, мм	Вогонь, кВ	Пр, кВ	$td.p.$, мкс	$\delta[tdl]$, мкс	л, мкс	$\delta[t]$, мкс	$\dot{W}_{n.n.}$, Дж	$\delta[W_{p.p}]$, Дж	W_{pp}/W_z , %
9	27-32	28-34	–	–	–	–	–	–	–
16	33-39	33-41	16	4.4	–	–	58	17	9.3
21	33-36	35-41	17	6	2.6	0,84	192	28	31
31	34-36	35-42	27	10	1.9	1.0	261	50	42
46	28-43	35-45	17.6	3	0,75	0,14	384	112	61
61	34-45	36-47	38	13	2.1	0,7	302	102	48

При збільшенні довжини розрядного проміжку (l_{rp}) зони нестійкого запалювання розряду і пробою помітно зміщуються в бік вищих значень напруги. Наприклад, при $l_{rp} = 50 - 70$ мм ця напруга стає близькою до робочої напруги ЕГЛК, яка дорівнює 50 кВ. Слід зазначити, що ця залежність справедлива для випадку, коли ємність (с) дорівнює 0,5 мкФ. У випадках з великою ємністю, тобто великою запасеною енергією, напруга пробою може бути значно нижчою.

Видно, що при збільшенні тривалості розрядного інтервалу (t_p) значно зростають передпроривні втрати енергії. Як і очікувалося, довжина бітового проміжку сильно впливає на режим візуалізації енергії в каналній стадії. Можливо, навіть без вимірювання струму в активній стадії видно, що зі зменшенням t_{rp} та частина енергії, яка спостерігається протягом першої половини періоду струму, зменшується, а отже, зменшується декремент загасання.

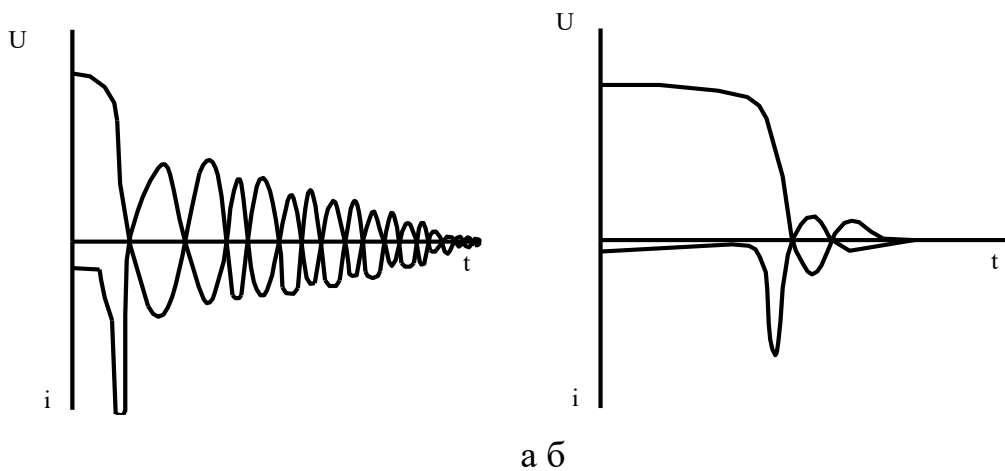


Рис. 3.2. Осцилограми розрядного струму та напруги на проміжку:
а - $t_{rp} = 16$ мм; б - $t_{rp} = 65$ мм

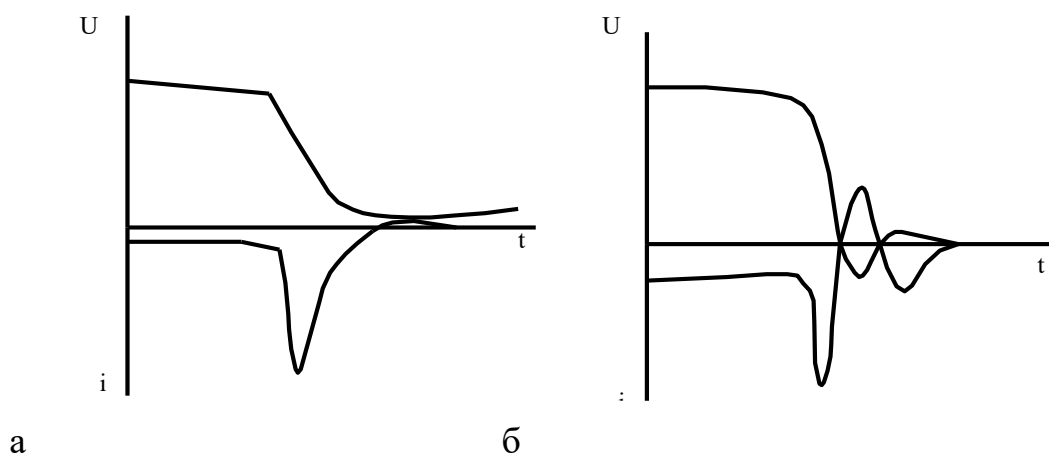


Рис. 3.3. Осцилограми розрядного струму та напруги на проміжку:
а - $l_{el} = 6$ мм; б - $l_{el} = 32$ мм

При виборі оптимальної довжини розрядного зазору важливо враховувати всі вищезазначені аспекти. Крім того, довжина відкритої частини стрижня електрода істотно впливає на процес формування пробою. Збільшення цієї довжини призводить до збільшення поверхні відкритої частини стрижня, що, у свою чергу, зменшує опір розрядного проміжку. Але це також призводить до збільшення передпробійних струмів і, відповідно, збільшення передпробійних втрат енергії.

Для отримання систематизованих даних було проведено три серії розрядів при різних значеннях довжини оголеної частини стрижня електрода. Експерименти проводили за такими параметрами розрядного контуру: початкова напруга на конденсаторі $U_0 = 50$ кВ, ємність батареї конденсатора $c = 1$ мкФ, довжина розрядного проміжку $l_{p.п} = 60$ мм, довжина оголеної частини стрижня електрода $l_{el} = 10$ мм, використовувався електрод типу А.

Результати цих експериментів наведені в таблиці 3.3. Аналіз даних свідчить про значну залежність напруги запалювання розряду та напруги пробою від довжини відкритої частини стрижня електрода. Наприклад, при $l_{el} = 30$ мм область нестійкого пробою стає близькою до робочої напруги установки, що дорівнює 50 кВ.

Таблиця 3.3

Експеримент уйте $l_{el}, \text{мм}$	$U,$ кВ	$P_p,$ кВ	$td.p$, мкс	$\delta[tdl]$, мкс	$l,$ мм	$\delta[t]$, мкс	$\hat{W}_n.$ $n.,$ Дж	$\delta[W_p.$ $p],$ Дж	W_{pp}/W_z , %
5	12-16	21-22	1.6	0,04	2.1	0,7	155	63	11
15	20-22	36-37	8.4	4.0	2.5	0,3	268	86	22
30	29-32	45-46	2.6	12	3.5	0,8	523	156	41

Таблиця 3.4

Дані експерименту Тип електрода	U , кВ	Pr , кВ	$td.p$, мх	$\delta[tdl]$, мх	l , мх	$\delta[t]$, мх	$\dot{W}n.n$, Дж	$\delta[Wp.p]$, Дж	Wpp/Wz , %
I	24-25	41-43	6.3	5.8	3.1	3.0	339	72	27
Б	23-25	31-33	10.5	1.2	2.2	0,2	104	11	8.2
IN	27-33	35-38	21	8.5	2.5	0,7	467	143	37

При збільшенні довжини оголеної частини стрижня електрода збільшуються передпроривні втрати енергії, які становлять 10% при $lel = 5$ мм і збільшуються до 42% від загальної запасеної енергії при $lel = 30$ мм. Це означає, що зі збільшенням довжини відкритої частини електрода робота установки стає менш стабільною та менш ефективною.

Довжина оголеної частини стрижня електрода також впливає на характер енерговиділення в активній стадії розряду. З результатів осцилограм (рис. 3.3) видно, що зі збільшенням lel частка енергії, яка спостерігається протягом першої половини поточного періоду, зменшується.

Для дослідження впливу форми ізолятора на умови виникнення поверхневих розрядів в експерименті використовувалися ізолюючі наконечники трьох типів. Також важливо було встановити, як форма ізоляційного наконечника впливає на електричні характеристики передпробійної стадії розряду.

Експерименти проводили з наступними параметрами розрядного контуру: початкова напруга на конденсаторі $U_0 = 50$ кВ, ємність батареї конденсатора $c = 1$ мкФ, довжина розрядного проміжку $lp.p = 60$ мм, діаметр оголення частини стрижня електрода $del = 8$ мм, довжина оголеної частини стрижня електрода $lel = 30$ мм.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		28

З експериментальних даних, представлених у таблиці 3.4, видно, що найбільш вигідним і ефективним є електрод з конусоподібною насічкою на торці ізолятора (тип Б). Він забезпечує найнижчу напругу для запалювання розряду і найменші втрати енергії перед проривом.

Для контролю всіх режимів у цьому та попередніх дослідах проводили візуальну реєстрацію процесу формування зразка. Було взято понад 50 кілограмів, причому лише в одному випадку, коли при I_{pr} використовувався електрод типу В. = 60 мм, на бічній стінці камери зафіксовано прорив. У всіх інших випадках поломка відбувалася в нижній частині камери.

Важливо відзначити, що в установках типу EGLC, які працюють при постійній зарядній напрузі $U_0 = 50$ кВ, кількість накопиченої енергії регулюється зміною ємності батареї конденсаторів. У всіх випадках ці пристрої працюють з невеликою накопиченою енергією, що відповідає невеликій ємності накопичувача приблизно 1 мкФ. Цей випадок мало досліджувався експериментально до нашого дослідження.

Об'ємна ємність накопичувача, позначена як c , з урахуванням початкового опору зазору R_0 , визначається постійною часу розряду конденсатора, тобто $\tau = R_0 * C$. Зазвичай ця константа стає критичною при значеннях ємність C і опір R_0 дуже малі (при збільшенні питомої електропровідності води σ_v і збільшенні довжини оголеної частини стрижня l_{el}). У цьому випадку постійна часу розряду може стати приблизно рівною часу затримки пробною t_{pr} . В результаті напруга на конденсаторі може впасти настільки, що здається, що пробною може і не статися взагалі. Таким чином, при зменшенні об'ємної ємності накопичувача слід очікувати збільшення напруги запалювання розряду та напруги пробною, а також збільшення частки передпробних втрат енергії.

Експериментальні дослідження впливу накопичувальної ємності на характеристики пробною проводили за такими параметрами: початкова напруга на конденсаторі $U_0 = 50$ кВ, довжина розрядного проміжку $l_{p.p.} = 60$ мм,

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		29

діаметр відкритої частини стрижня електрода $d_{el} = 8$ мм, довжина відкритої частини стрижня електрода $l_{el} = 30$ мм, тип електрода тип В.

Аналіз результатів експерименту (див. табл. 3.5) підтверджує наведені вище судження щодо впливу ємності накопичувача на умови поломки. Зрозуміло, що при малих значеннях накопичувальної ємності (0,5 мкФ) в широкому діапазоні напруг стійкий пробій відсутній, а верхня частина цього діапазону близька до робочої напруги установок. З цього випливає, що в деяких випадках може бути вигідніше зменшити накопичену енергію не за рахунок зменшення об'ємної ємності акумулятора, а за рахунок зниження робочої (зарядної) напруги. Це може привести до більш стабільної роботи генераторів.

У всіх експериментах, результати яких були наведені вище, експериментальна установка була зібрана компактно - довжина кабелів, що з'єднували електроди камери з батареєю конденсатора, становила не більше 1 метра. Індуктивність петлі L , яка була розрахована на основі короткого замикання, становила 4,8 мкГн.

В реальних умовах експлуатації ЕГЛК компактно розмістити елементи розрядного контуру не представляється можливим. Розрядна камера і батарея конденсаторів зазвичай розташовані на відстані до 10 метрів, що призводить до значного збільшення індуктивності контуру. Важливо встановити, як це впливає на характер утворення пробою.

Таблиця 3.5

Експерименту йте 3, мкФ	$U_b,$ кВ	$P_p,$ кВ	$td.p,$, мх	$\delta[tdl]$, мх	$l,$ мх	$\delta[t],$ мх	$\dot{W}n.n.,$, Дж	$\delta[Wp.p]$, Дж	$W_{pp}/W_z,$ %
0,5	33-45	36-47	37	12	2.1	0,7	312	108	49
1	23-27	30-34	11	1.2	2.2	0,2	103	19	9
2	21-25	27-32	21	10	2.2	1.0	370	60	16

Таблиця 3.6

Експериментує Л, мкГн	U, кВ	Pr, кВ	$td.p$, мх	$\delta[tdl]$, мх	л, мх	$\delta[t]$, мх	$\hat{W}n.n.$, Дж	$\delta[Wp.p$ J, Дж	Wpp/Wz , %
4.8	33-44	37-45	37	15	2.1	0,7	301	103	49
26	35-44	43-46	34	16	2.5	0,5	332	95	55

Для цього було проведено дві серії розрядів з різною довжиною струмоведучих кабелів - 1 і 10 метрів, а також з різною індуктивністю контуру - 4,8 і 26 мкГн відповідно. Інші параметри установки були такими: початкова напруга на конденсаторі $U_0 = 50$ кВ, об'ємна ємність $C = 2$ мкФ, довжина розрядного проміжку $l_{rp} = 60$ мм, діаметр відкритої частини стрижня електрода $d_{el} = 8$ мм, довжина відкрита частина стрижня електрода $l_{el} = 30$ мм

Аналіз даних, наведених у таблиці 3.6, яка містить результати експерименту, показав, що різниця в основних передпроривних характеристиках знаходиться в межах статистичної розбіжності, що зумовлено самою природою утворення пробою у воді. . Тому можна стверджувати, що індуктивність розрядного контуру не впливає на стадії формування пробою.

Отже, аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що в окремих випадках, коли об'ємна ємність батареї конденсаторів мала, а площа оголеної частини стрижня електрода велика, генератори EGLC працюють в режимі нестійка поломка навіть у нормальних умовах. Зрозуміло, що в реальних умовах, коли температура і тиск в розрядній камері можуть бути підвищені, умови пробою можуть погіршитися, і тому генератори можуть простоювати.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		31

4. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЗА ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРО-ГІДРАВЛІЧНОГО ЕФЕКТУ

4.1. Визначення потреби у запропонованій розробці

У сучасному світі закупівля запасних частин обходиться дорого, що породжує потребу в нових, прогресивних методах ремонту, застосуванні сучасного високопродуктивного обладнання та впровадженні нових організаційних форм у виробничий процес.

У ремонтному виробництві зараз поширена технологія відновлення зношених деталей, зокрема втулок, розподільним способом. Однак отримані за цією технологією відновлені деталі мають серйозні недоліки, основним з яких є високі внутрішні напруги в матеріалі гільзи, що в кінцевому підсумку призводить до руйнування деталі.

Одним із перспективних напрямків у розвитку технології відновлення зношених деталей, зокрема втулок, є використання електрогідравлічного ефекту.

Суть цієї технології, яка в даний час використовується в сучасному ремонтному виробництві, полягає в тому, що відновна гільза поміщається в неметалевий технологічний патрон, який спрямовує електричний розряд уздовж осі деталі і запобігає пробою на бічній поверхні. Для підвищення ефективності процесу в порожнину ніжки картриджа встановлюють спеціальний провідник. Внутрішню порожнину відновленої деталі заповнюють робочою рідиною. В результаті електрогідравлічного вибуху і впливу ударної хвилі металева гільза деформується і збільшує свій розмір по зовнішньому діаметру.

Але при проходженні електрогідравлічного вибуху спостерігається певна нерівномірність розвитку вибуху, і, відповідно, деформація гільзи відбувається нерівномірно. Як наслідок, відновлена втулка має великий ствол, конус і велику

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		32

кривизну осі, що призводить до нерівномірної або недостатньої посадки під час кінцевої обробки. Тому дана технологія не знайшла широкого практичного застосування.

Запропоновано спосіб і технологію розподілу втулок механічними ударними імпульсами за допомогою цангового пристрою. Імпульси створюються електророзрядним вібратором. Велика амплітуда ударного імпульсу, який виконує функцію розподілу втулки, передає високопомітний ЦУ (циклічний ударний ефект гальмування) пружних високочастотних коливань. Ці коливання активізують дифузійну рухливість атомів деформованого металу, що призводить до зменшення тертя між цангою і деформованим металом, а також до підвищення його пластичності. Рівномірність деформації гільзи забезпечується рівномірністю розподілу тиску, створюваного цангою, на поверхню гільзи. Збільшення розмірів розподілу гільзи досягається за рахунок збільшення дифузійної рухливості атомів деформованого металу.

Цей спосіб значно покращує характеристики деталей машин і знижує вартість запасних частин.

4.2. Принцип дії приладу

Пристрій гідродинамічного розподілу поршневих пальців складається з наступних основних вузлів: електрода, розрядника, важеля і гідроциліндра. Розрядник 7 підноситься гідроциліндром 5 до пуансона 11. Напруга, що подається від електричної мережі, підвищується трансформатором 1 через випрямляч 12, а потім заряджається конденсатором 2. При повному заряді конденсатора відбувається пробій. виникає між контактами 3, які вентилюються потужним вентилятором. Цей вентилятор відтягує іони від контактної зони, збільшуючи іонну провідність. Розрядка також відбувається в розряднику 7 разом з рідиною. Ударні імпульси від розрядника передаються на пуансон 11 і перетворюються в рівномірний тиск на стінки поршневого

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		33

пальця завдяки цанговому патрубку. Matrix 8 використовується для захисту пальця від можливого пошкодження.

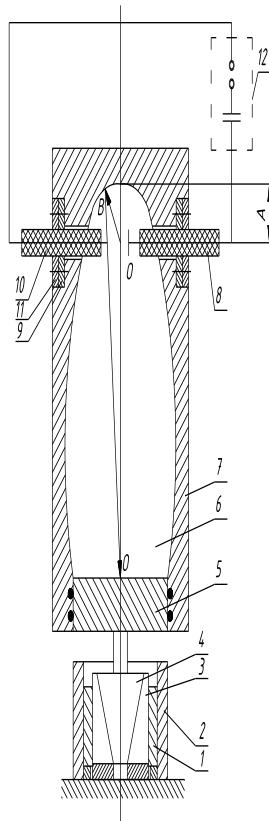


Рис. 4.1. Форма роботи пристрою для розподілу поршневих пальців:

1 – палець; 2 – матриця; 3 – цанга; 4 – пуансон;

5 – пружна пластина; 6 – розвантажувальна камера; 7 – корпус;

8, 10 – електроди; 9, 11 – ущільнення; 12 - випрямляч.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		34



Рис. 4.2. Зовнішній вигляд високовольтної установки з енергією розряду 5 кДж:

- 1 – розвантажувальна камера; 2 – трансформатор високої напруги;
- 3 – розрядник; 4 – регулятор низької напруги

4.3. Технологія відновлення поршневого пальця

Поршневі пальці двигунів тракторів виготовлені з цементованої сталі марки 12ХНЗА. Основним дефектом поршневих пальців є знос зовнішньої поверхні на контактних ділянках з верхньою головкою шатуна і отворами в головках поршнів. Першим кроком є прання пальців в пральній машині EGU-36121A, після чого проводиться дефектація. При перевірці поршневих пальців використовують мікрометр МК-50-2. Далі проводиться відновлення поршневого пальця за допомогою електрообладнання установки промивання ЕМУ-36121А і пристрою гідродинамічного розподілу поршневих пальців. Якщо дефект пальця перевищує 1 мм від номінальних розмірів, то після дозування поршневий палець гартують (на високочастотному приладі ЛПЗ-107), після чого нормалізують на повітрі. Після термічної обробки поршневі пальці шліфуються до досягнення номінального розміру і необхідної

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		35

шорсткості поверхні. Режими шліфування вибирають залежно від діаметра пальця та матеріалу, з якого він виготовлений [18].

4.4. Режимні параметри технологічного процесу роздачі

Під час високовольтного розряду, який виникає під час розподілу жорсткої гільзи (наприклад, поршневого пальця), кількість спостережуваної енергії можна розрахувати наступним чином:

$$Q = \frac{CU^2}{2}, (4.1)$$

де C - ємність ланцюга, мкФ;

U – напруга кола, В.

Сила, виміряна пружноконтактним методом, $P_v=150$ кН.

Час виділення енергії в нагнітальному каналі електрогідравлічного вібратора розраховується за формулою:

$$t = \pi\sqrt{LC}, (4.2)$$

де L – індуктивність кола, мкГн.

За рахунок перетворення ударної хвилі в каналі розряду в механічну енергію, яка переміщує пластину вібратора і передає її на цанговий пристрій для розподілу пальця, тривалість ударного імпульсу на пальці збільшується до 15...20 мс. . Це забезпечує плавний процес пластичної деформації пальця.

Сила, прикладена до внутрішньої поверхні пальця, розраховується за формулою:

$$P_{\pi} = \frac{P_v}{\operatorname{tg}\alpha}, (4.3)$$

де P_v – зусилля на пластині вібратора, МН;

α – кут конуса цанги, град.

Отже, питомий тиск на внутрішню поверхню пальця можна розрахувати наступним чином:

$$p_v = \frac{P_{\pi}}{S}, (4.4)$$

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		36

де S - площа внутрішньої поверхні, м².

$$S = L_p \cdot \pi \cdot d_v, \quad (4,5)$$

де L_p – довжина, м;

d_v – внутрішній діаметр пальця, м².

Так,

$$Q = \frac{200 \cdot (10 \cdot 10^3)^2}{2} = 10 \text{ кДж};$$

$$t = 3,14 \sqrt{10 \cdot 200} = 140 \text{ мкс};$$

$$P_p = \frac{0,15}{\text{tg} 2^\circ} = 4,29 \text{ МН};$$

$$S = 0,11 \cdot 3,14 \cdot 0,35 = 0,012 \text{ м}^2$$

$$p_v = \frac{4,29}{0,012} = 357,5 \text{ МПа}$$

Для досягнення пластичної деформації матеріалу поршневого пальця (прутка сталь 12ХН3А) необхідно перевищити його межу текучості, яка становить $[\sigma_t] = 800 \text{ МПа}$, тобто виконати умову:

$$[\sigma_t] \leq \sigma_t \quad (4.6)$$

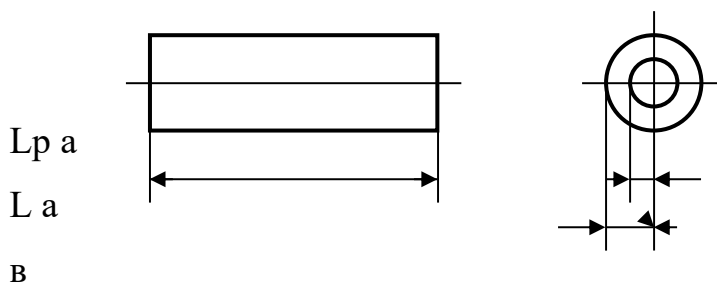


Рис. 4.3. Розміри поршневого пальця

Розтягуюча напруга σ_t , рівномірно розподілена по товщині стінки пальця, може бути розрахована так:

$$\sigma_t = \frac{p_v \cdot a}{b - a}, \quad (4.7)$$

де a і b - розміри пальця, зображеного на рис. 4,3 м².

$$\sigma_t = \frac{357,5 \cdot 17,5}{25 - 17,5} = 834,2 \text{ МПа}$$

$$800 < 834,2$$

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		37

Отже, мабуть, умова пластичної деформації виконується.

4.5. Теоретичний аналіз динамічних процесів

Крім експериментальних вимірювань тиску (напруги) в зоні контакту пластини EGLC з оброблюваним металевим стрижнем, ми також провели чисельний аналіз динамічних процесів, що відбуваються в розряді високої напруги - пластина EGLC - стержень. системи [17]. Розглянута конструкція (рис. 4.4) являє собою циліндричний резервуар, заповнений водою, з жорсткими стінками 1 і гнучким дном 4. У цій системі електричний пробій відбувається на відстані між позитивним електродом 2, розташованим в ізоляторі 3, і плита EGLC.

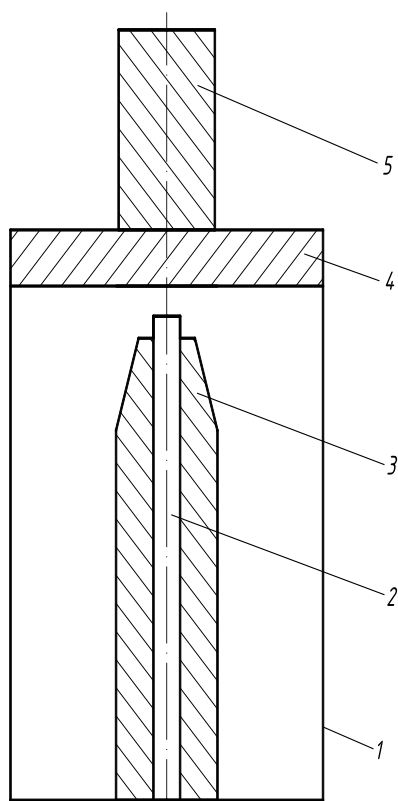


Рис. 4.4. Форма досліджуваної конструкції ЕНЛКа

1 - розвантажувальна камера з водою; 2 - електрод; 3 - ізолятор; 4 - віброплита; 5 – стержень

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		38

Витрачена енергія використовується для створення пружних хвиль у пластині та генерації ударної хвилі у воді, яка, у свою чергу, взаємодіє з пластиною. Металеві стрижні довжиною l_{gr} вільно спираються на поліровану поверхню пластиною ЕГЛК, яка покрита тонким шаром мастильного матеріалу.

Переміщення пластини та стрижнів визначають за допомогою рівнянь Ламе [11], які записують у циліндричній системі координат roz :

$$u_{r,tt} = (a_0^2[r^{-1}(ru_r)_{,r}]_{,r} + a_n^2 u_{r,zz} + (a_0^2 - a_n^2)u_{z,rz}) \quad (4,8)$$

де компоненти вектора; a_0, a_n ШВиди поширення поздовжніх і поперечних хвиль; - час; нижній індекс після коми означає диференціювання за відповідною змінною.

Переміщення меж цих пружних тіл під дією навантажень з боку рідини визначається розв'язком системи рівнянь щодо напружень [11]:

$$\sigma_{zz} = (\lambda + 2\mu)u_{z,z} + \lambda(u_{z,r} + u_r r^{-1}), \quad \sigma_{\phi,\phi} = (\lambda + 2\mu)u_r r^{-1} + \lambda(u_{r,r} + u_{z,z}), \quad (4,9)$$

де λ, μ -коефіц. Передбачається, що пластина спирається на стінку розрядної камери шарніром. Контакт між пластиною і стержнем описується умовами непроникності поверхонь і рівності напружень у граничних точках.

$$\begin{aligned} & (\gamma u_{r,tt} = \sigma_{rr,r} + \sigma_{rz,z} + (\sigma_{rr} - \sigma_{\phi\phi})r^{-1},) \\ & (\gamma u_{z,tt} = \sigma_{zz,z} + \sigma_{rz,r} + \sigma_{rz}r^{-1},) (\sigma_{rr} = (\lambda + 2\mu)u_{r,r} + \lambda(u_{r,z} + u_r r^{-1}),) \\ & (\sigma_{zz} = (\lambda + 2\mu)u_{z,z} + \lambda(u_{z,r} + u_r r^{-1}),) (\sigma_{\phi,\phi} = (\lambda + 2\mu)u_r r^{-1} + \lambda(u_{r,r} + u_{z,z}),) \end{aligned}$$

Асиметричний рух рідини описується системою нелінійних рівнянь газодинаміки [12]

$$\begin{aligned} & (F_1 r)_{,t} + (F_2 r)_{,z} + (F_3 r)_{,r} = F_4, \quad \left. \begin{aligned} F_1 &= (\rho, \rho v, \rho \omega, E)^T, \\ F_2 &= (\rho v, \rho v^2 + p, \rho v \omega, (E + p)v)^T, \\ F_3 &= (0, p, 0, 0)^T, \end{aligned} \right\} F_4 = \left. \begin{aligned} & \\ & \\ & \end{aligned} \right\} E = \rho[\varepsilon + (v^2 + \omega^2)/2], \quad (4.10) \end{aligned}$$

де p - тиск; ρ - щільність проекції вектора швидкості на осі oz і або відповідно; ρ_0 - щільність і видимість звуку в рідині; знак T означає транспозицію.

						ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата			39

На межі вода – плазмова порожнина встановлюється умова рівноваги [13]:

$$p_n V_{n,t} + (p_n V_n)_{,t} / (\chi - 1) = N(t) E_0, (4.11)$$

тут p_n , V_n - тиск і об'єм в плазмовій порожнині;

$\chi = 1,26$ - ефективний показник політропії для електророзрядної плазми;

$E_0 = 0,5 C \eta U_0^2$ енергії, що з'явилася в розрядному каналі протягом першого півперіоду τ ;

$$\tau = \pi (LC)^{-\frac{1}{2}} (1 + \eta)^3;$$

$$\eta = [\pi A I_p^2 U_0^{-2} (LC)^{-\frac{1}{2}}]^{-\frac{1}{3}},$$

де $A = 105 \text{ Всм}^2$ - іскрова постійна для розрядів; функція $N(t)$ задана таким чином:

$$N(t) = \begin{cases} 6t/\tau^2, & 0 \leq t \leq \tau/3, \\ 3(\tau - t)/\tau^2, & \tau/3 \leq t \leq \tau, \\ \tau < t. \end{cases} (4.12)$$

Для інтегрування системи рівнянь (4.10), (4.11) використано явну скінченно-різницеву форму типу «хрестик». Розв'язок системи рівнянь (4.12) – (4.14) проводився за методом С.К. Годунова [18] з чіткою візуалізацією фронту ударної хвилі до моменту його контакту зі стінками розрядної камери, а також потім - на фіксованій різницевій сітці. Напруження та переміщення на поверхні контакту пластини та стрижня розраховували за алгоритмом [14].

Розглядалися розряди з такими параметрами: $U_0 = 50 \text{ кВ}$; $L = 10 \text{ мкГн}$; $C = 0,3; 0,5 \text{ мкФ}$; $I_p = 3, 8, 30 \text{ мм}$. Матеріал пластини і стрижня — вуглецева сталь ($\sigma = 0,86 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; $\tau = 0,75 \cdot 10^5 \text{ МПа}$); товщина плити $s = 10 \text{ мм}$; діаметр плити $d = 180 \text{ мм}$; діаметр прутка - 40 мм ; довжина прутка $L_{dp} = 25, 50, 100, 200, 400 \text{ мм}$.

Порівняння числових і експериментальних результатів підтверджує адекватність використаної математичної моделі для опису процесів, що відбуваються в досліджуваній системі. Найбільші відмінності спостерігаються при малих розрядних зазорах ($I_p = 3 \text{ мм}$) за рахунок використання в розрахунках наближеної залежності.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		40

У ході дослідження з'ясувалося, що контакт між пластиною і стрижнем при їх взаємодії може періодично порушуватися і відновлюватися до того, як стрижень остаточно відокремитися від пластини. Кількість таких розривів контакту істотно залежить від довжини стрижня. Відсутність зіткнення між пластиною і стрижнем відповідає інтервалам часу, коли усереднене по площі контакту пластини і стрижня напруга (позначається P) дорівнює нулю. Максимальні значення P слабо залежать від $L_{гр}$, однак із збільшенням $L_{гр}$ імпульс, що передається від пластини до стрижня, значно зростає.

В ході експериментальних досліджень встановлено, що з моменту виникнення високовольтного розряду в камері до моменту відриву стрижня від пластини контакт переривається в процесі передачі імпульсу тиску на стрижень. При апроксимації імпульсу тиску трикутником були отримані середні значення тиску (усереднений тиск по радіусу пластини), які становлять 30 - 50% від середніх значень тиску, отриманих чисельним аналізом і методом Гопкінсона.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		41

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДИ ДЖЕРЕЛ УДАРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

5.1. Вимірювання удару плити.

5.1.1 Метод пружного контакту

Відповідно до рекомендацій авторів [12] для вимірювання сили удару пластини EGLC використовувався пружноконтактний метод. Цей метод заснований на вимірюванні локальних пружних деформацій при зіткненні тіл зі сферичними і плоскими кінцями (див. рис. 5.1 і 5.2).

Тиск на поверхню пластини EGLC вимірювали шляхом підкидання вантажу (див. рис. 5.3). При стисненні тіл з однакового матеріалу (наприклад, сталі ШХ-15, загартованої до твердості НС 63-65) залежність між силою P в ньютонках і діаметром поверхні контакту d_k в міліметрах можна представити у вигляді процентний розчин парафіну в бензолі. Розчин наносили пензлем на плоску пластину. Під час випаровування бензену на пластинці утворився тонкий шар парафіну. Прилад для вимірювання сили зображено на рис. 5.1

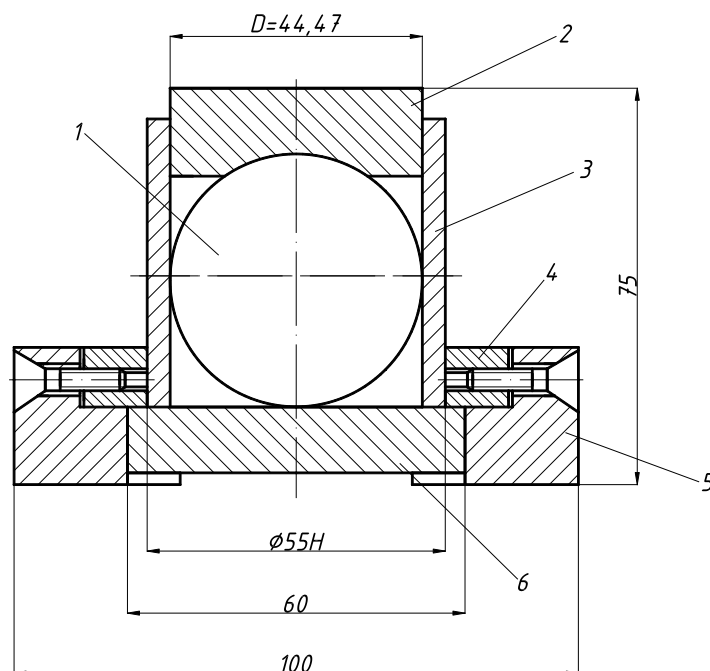


Рис. 5.1. Вигляд приладу для вимірювання сили удару еластичний метод:

1 - куля; 2 - пуансон; 3 - втулка; 4 - корпус; 5 - упор; 6 - пластина

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		42

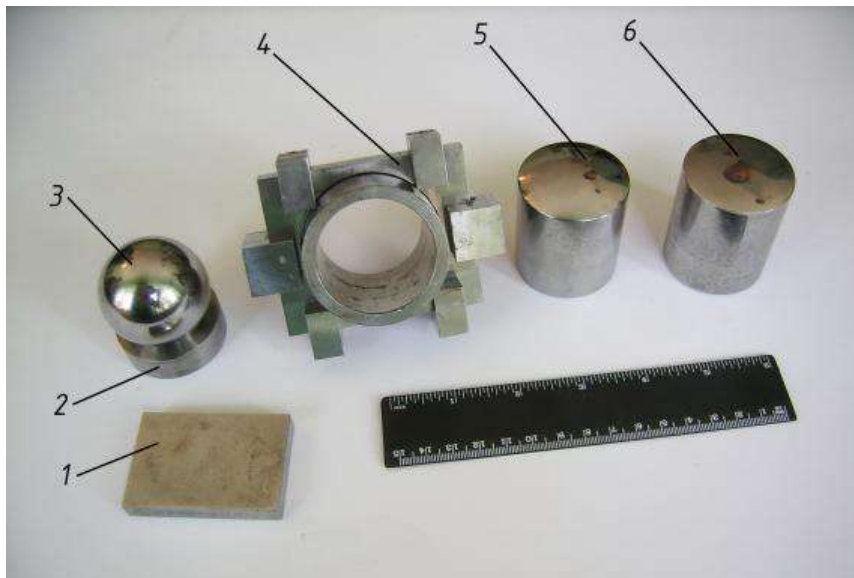


Рис. 5.2. Зовнішній вигляд приладу для вимірювання сили удару:

1 – пластина; 2, 5, 6 – удари; 3 – куля; 4 – корпус

Градувальна крива для визначення сили удару за діаметром відбитка кульки діаметром 44,47 мм наведена на рис. 5.3. Тарування проводилося на пресі Брінелля і включало десять вимірювань при навантаженні 2,5; 5,0; 10; 15 кН. Довірчий інтервал для значень діаметра відбитка розраховували з довірчою ймовірністю 0,95. Дисперсія не перевищувала значення $S = 0,05$. Важливо відзначити, що точність вимірювання сили зростає зі збільшенням самої сили. Наприклад, для сили 2,5 кН точність склала близько 16%, тоді як для сили 10 кН точність була близько 8%. Точність вимірювання сили удару можна збільшити приблизно до 3% [12], якщо тарування виконувати на більш точному пресі. Величину зближення кулі та площини під навантаженням 10 кН, $L = 44,47$ мм, розраховували за формулою [13].

$$\lambda_c = 1,54; \sqrt{\frac{P^3}{E_s^2 D_{ш}}},$$

і дорівнює 0,06 мм.

Щоб запобігти пластичній деформації при контакті кульки з площиною, силу слід обмежити величиною $[P]$, де $[P]$ у ньютонах і розраховується за формулою $[P] = 490 D_k^2$, де D_w в см згідно [13].

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		43

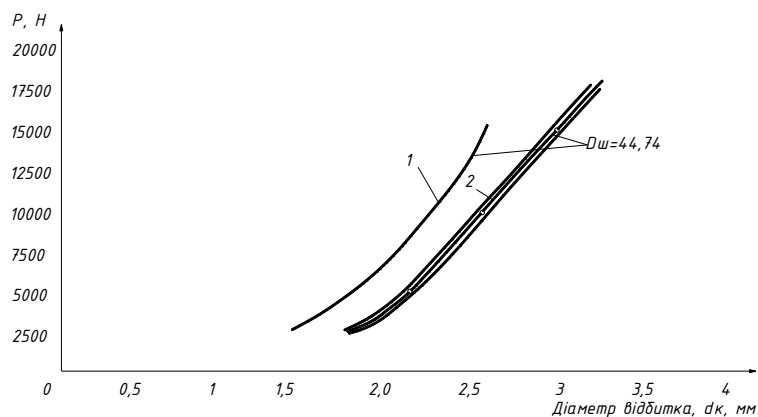


Рис. 5.3. Функція сили удару від розмірів відбитка

1 - теоретична крива; 2 - крива тари

Щоб запобігти пластичній деформації при контакті кульки з площиною, силу слід обмежити величиною $[P]$, де $[P]$ у ньютонках і розраховується за формулою $[P] = 490 D_{ш}^2$, де $D_{ш}$ в см згідно [13].

Для кулі діаметром 44,47 мм допустима сила $[P] = 10$ кН. Для вимірювання великих сил використовувалися кулі більшого діаметра або пуансони зі збільшеними радіусами кривизни.

Пружино-контактний вимірювальний прилад (рис. 5.1) встановлювався загартованою пластиною в центрі пластини ЕХЛКа, щільно притиснутою до силоміра за допомогою гвинтових механізмів без помітного зусилля. Перед цим на пластину нанесли шар парафіну, провели високовольтний розряд і розібрали пристрій. Розміри еластичного відбитка вимірювали під мікроскопом. Для кожного режиму вимірювання проводили 3 рази.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		44

Після статистичної обробки силу удару визначали за середнім розміром відбитка на графіку (рис. 5.3). Для оцінки ослаблення ударного імпульсу при його проходженні через деталь вимірювання сили проводили, коли вимірювач був розміщений над деталлю. Величина сили після частини становила 75-80% сили перед нею. Це пояснюється незначним ослабленням ударного імпульсу при проходженні деталі та перетворенням фронту хвилі від близького до сферичного на поверхні пластини до плоского на торці деталі.

5.1.2 Енергетичний підхід до визначення тисків

Розглянуто задачу визначення контактних тисків при падінні гумової кульки без використання рішення Герца та попереднього визначення умовного модуля пружності. Тут реалізовано енергійний підхід до вирішення проблеми. Нехай маса кульки дорівнює m , а висота H , з якої кулька вільно падає. Задача полягає в тому, щоб визначити спочатку силу співудару, а потім величину контактного тиску.

Силу взаємодії можна визначити із закону збереження енергії: робота A_1 при вільному падінні вантажу і ударах один про одного він перетворюється в роботу деформації гуми A_2 :

$$A_1 = A_2 \quad (5.1)$$

Робота падіння кульки дорівнює:

$$A_1 = mgH \quad (5.2)$$

Робота деформації дорівнює $1/2$ добутку сили P на шляху u_0 :

$$A_2 = 1/2 Pu_0 \quad (5.3)$$

де u_0 – стрілка прогину епюри розподілу контактних переміщень сферичної поверхні рис. 1.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		45

У зв'язку з тим, що величина, що вимірюється u_0 набагато складніше, ніж розмір радіуса плями контакту a , висловимося $u_0(a)$ за a з геометрії сферичного сегмента.

Приблизно, з точністю до малого другого порядку:

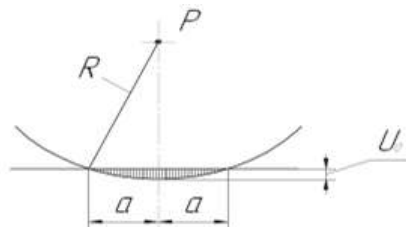
$$u_0 = a^2 / 2R, \quad (5..4)$$

або точніше з геометрії сегмента:

$$R^2 + (R - u_0)^2 = R_2^2, \quad (5..5)$$

ми маємо:

$$u_0 = R(1 - \sqrt{1 - (a/R)^2}). \quad (5..6)$$



Форма деформації сферичної кулі

Маючи рівняння (5..4) у (5..3), ми отримуємо:

$$A_2 = \frac{1}{2} P \frac{a^2}{2R} = \frac{Pa^2}{4R}. \quad (5..7)$$

Маючи рівняння (5..7) і (5..2), отримуємо рівняння:

$$mgH = \frac{Pa^2}{4R}, \quad (5..8)$$

звідки впливає вираз для розрахунку сили при співударі:

$$P = \frac{4mgHR}{a^2}. \quad (5..9)$$

Більш точну формулу для цієї сили можна знайти за допомогою виразу (5..6). Підставляючи формули (5..6) у (5..3), маємо:

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		46

$$A_2 = 1/2P \cdot R(1 - \sqrt{1 - (a/R)^2}) . (5..10)$$

Після подальшого аналізу рівнянь (5..10) і (5..2) ми маємо рівняння:

$$2mgH = PR(1 - \sqrt{1 - (a/R)^2}) , (5..11)$$

звідки отримуємо залежність для сили:

$$P = \frac{2mgH}{R(1 - \sqrt{1 - (a/R)^2})} . (5..12)$$

Визначення контактної тиску

Після визначення сили середній контактний тиск визначається за такою формулою:

$$\sigma_{cp} = \frac{P}{\pi a^2} . (5..13)$$

Максимальний контактний тиск за формулою Герца між пружною кулькою і площиною визначається так:

$$\sigma_0 = 0,5969 \left(\frac{PE_1^2}{R^2} \right)^{1/3} . (5..14)$$

використовуючи формулу (5..13), маємо:

$$\sigma_{cp} = \frac{P}{\pi} \frac{E_1^{2/3}}{0,8805^2 (PR)^{2/3}} . (5..15)$$

мати стосунки σ_0 / σ_{cp} ми отримуємо:

$$\frac{\sigma_0}{\sigma_{cp}} = \frac{0,5969}{R^{2/3}} \frac{P^{1/3} E_1^{2/3} 0,8805^2 P^{2/3} R^{2/3}}{PE_1^{2/3}} \pi , (5..16)$$

тому

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		47

$$\sigma_0 = 1,4538\sigma_{cp} . (5..17)$$

Відповідно до точної теорії контакту сфера-площина, наприклад, у роботі І.Я. Штаєрман, відомо:

$$\sigma_0 = 3 / 2\sigma_{cp} = 1,5\sigma_{cp} . (5..18)$$

Різниця між виразами (5..17) і (5..18) очевидна і може бути пояснена за допомогою наближеної геометричної залежності (5..4). Якщо це так, то похибка виникає в результаті застосування наближеного співвідношення (5..4) і може бути розрахована за таким виразом:

$$\xi = \frac{1,5 - 1,4538}{1,5} = 0,0308 = 3,08\% \quad \%. (5..19)$$

Встановлення модуля пружності

Відомий спосіб визначення модуля пружності за формулою Герца на основі відомого статичного навантаження (P), радіуса сфери (R) і вимірної площі контакту (a).

У цій роботі модуль пружності при зіткненні гумової кульки з пластиною визначається іншим методом. Спочатку визначається площа контакту, а потім енергетичним методом визначається сила. Якщо відомі сила (P), радіус (R) і площа контакту (a), то модуль пружності можна визначити за такою формулою:

$$E_1 = \frac{0,6826PR}{a^3} [1].$$

М'яч падає з різної висоти і вдаряється об поверхню, після чого вимірюється площа контакту. Задаються наступні величини: маса кулі (m);

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		48

радіус поверхні (R) і висота, з якої вона падає. Результати експерименту обробляються за формулами (5..9) або (5..12). Радіус поверхні кулі R=47,5 мм. Наприклад, при попаданні кулі з висоти 100 мм утворився відбиток діаметром 10,2 мм і радіусом a=5,1 мм. Підставляючи ці значення в рівняння, отримуємо:

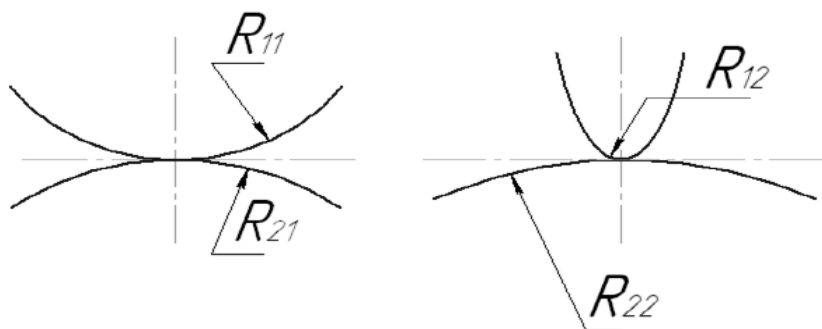
$$P = \frac{4mgHR}{a^2} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 100 \cdot 47,5}{5,1^2} = 14610 \text{ Н.}$$

При ударі об тверду металеву поверхню, за інших рівних умов, радіус площі контакту збільшується в 1,5-2 рази. Після підстановки цих значень у формулу (5..9) розрахункова сила удару зменшується в 2,25 - 4 рази, до 3600 Н.

Зіткнення і контакт тіл подвійної кривини методом подібності

При зіткненні гумових тіл подвійної кривизни з твердою основою ставиться завдання визначити силу і контактний тиск, використовуючи метод копіювального паперу і метод подібності.

Геометрія контакту тіл подвійної кривизни, як показано на рис. 2, представлений у вигляді чотирьох радіусів: R_{11} , R_{12} , R_{21} , R_{22} .



Форма контакту тіл подвійної кривини

Зона контакту, як правило, еліптична з півосями. a_1 , a_2

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		49

Можна розглядати контакт тіл подвійної кривизни як еквівалентний контакту сфери і площини в залежності від площі площі контакту і максимального переміщення.

Зменшений радіус R^* визначається залежністю:

$$R^* = (R_1^* \cdot R_2^*)^{1/2}, \quad (5..20)$$

$$\text{де } \frac{1}{R_1^*} = \frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_{21}}, \quad \frac{1}{R_2^*} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{22}}, \quad (5..21)$$

$$a^* = (a_1 a_2)^{1/2}. \quad (5..22)$$

За методом подібності або методом зменшеного радіуса стан контакту тіл подвійної кривизни можна описати в залежності від контакту сфери і площини, замінивши радіус сфери на зменшений радіус. Таким чином, для визначення приведенного радіуса контактної площі маємо:

$$a^* = 0,9086 \left(\frac{PR^*}{E^*} \right)^{1/3}. \quad (5..23)$$

У випадку, коли одне з тіл є абсолютно твердим, то:

$$a^* = 0,8805 \left(\frac{PR^*}{E_1} \right)^{1/3}, \quad (5..24)$$

де E_1 – модуль пружності неабсолютно твердого тіла.

За відомих величин (R), (E) і за умови, що сумарна сила (P) взаємодії тіл подвійної кривизни визначається за формулою, що впливає з (5..24):

$$P = \frac{a_*^3 E_1}{0,6826 R_*}. \quad (5..25)$$

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		50

Максимальний контактний тиск визначається за формулою Герца, де замість радіуса кулі (R) підставляється приведений радіус:

$$\sigma_0 = 0,5969 \left(\frac{PE_1^2}{R^*} \right)^{1/3} . (5..26)$$

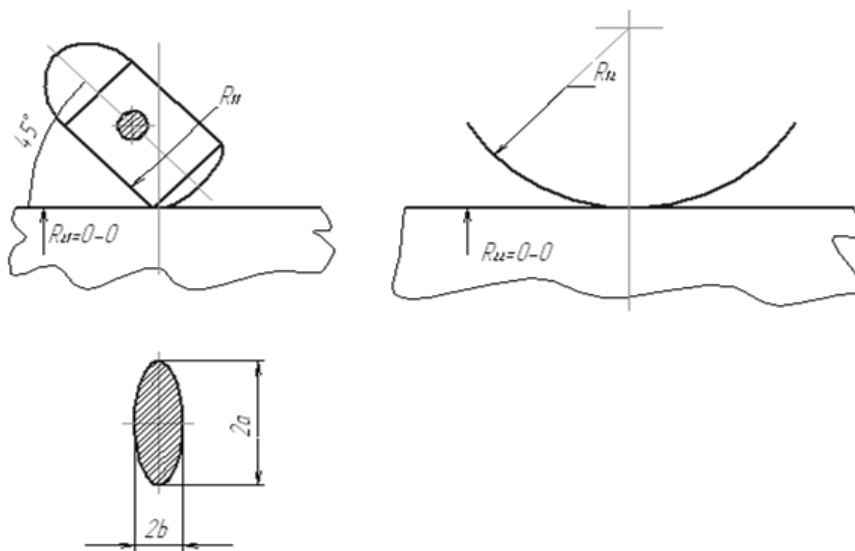
Середній контактний тиск σ_{cp} визначається силою R і ці розміри a_1, a_2 площа контакту визначається за формулою:

$$\sigma_{cp} = \frac{P}{\pi(a_1 a_2)^{1/2}} . (5..27)$$

Зверніть увагу, що згідно із загальною теорією:

$$\sigma_0 \cong 1,5 \sigma_{cp} . (5..28)$$

Для досліду взято зразок гуми масою 1 кг:



Форма взаємодії тіла подвійної кривини з площинами

$P_{11} = 5$ мм, $R_{12} = 50$ мм

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		51

Модуль пружності дорівнює $E=86,5$ МПа. Коли м'яч вдарявся об гладку дерев'яну поверхню, на папері утворювався еліптичний відбиток з розмірами $a_1=5$ мм, $a_2=2,8$ мм.

На підставі залежності (5..21) розраховуємо значення еквівалентного радіуса a^* кругла платформа.

$$a^* = (a_1 a_2)^{1/2} = (5 \cdot 2,8)^{1/2} = 3,74_{\text{мм}}$$

З урахуванням залежностей (5..20) і (5..21) розраховуємо значення приведенного еквівалентного радіуса кулі:

$$\frac{1}{R_1^*} = \frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_{21}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{6}; R_1^* = 6_{\text{мм}};$$

$$\frac{1}{R_2^*} = \frac{1}{R_{21}} + \frac{1}{R_{22}} = \frac{1}{50} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{50}; R_2^* = 50_{\text{мм}},$$

$$R^* = (R_1^* R_2^*)^{1/2} = (6 \cdot 50)^{1/2} = 17,3_{\text{мм}};$$

Сила удару розраховується за залежністю (5..25):

$$P = \frac{a_*^3 E_1}{0,6826 R_*} = \frac{3,74^3 \cdot 8,65}{0,6826 \cdot 17,3} = 419,6 \text{ N};$$

Середній контактний тиск визначається за (5..27):

$$\sigma_{cp} = \frac{P}{\pi a_*^2} = \frac{419,6}{\pi \cdot 3,74^2} = 35,7 \text{ МПа}$$

Максимальний контактний тиск в 1,5 рази вище середнього:

$$\sigma_0 = 1,5 \sigma_{cp} = 53,6 \text{ МПа}$$

5.2. Вимірювання тиску, появи та інтенсивності хвиль стиснення на поверхні пластини EGLC

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		52

Для визначення тиску, видимості та інтенсивності хвилі стиснення на поверхні пластини ЕНЛКа використовувався метод вимірювального стержня Гопкінсона [15, 16]. Спочатку цей метод був розроблений Гопкінсоном і Кольським для аналізу тиску, створюваного вибухами та ударами куль. Щоб виміряти необхідний тиск, один кінець однорідного сталевого стрижня вводили перпендикулярно до поверхні пластини, викликаючи поширення хвилі стиснення з постійною шириною. $C_0 = \sqrt{\frac{E_y}{\rho}}$, де ρ – щільність сталі. За цих умов сам стрижень не викликає хвильових спотворень. Після того, як хвиля досягає вільного кінця стрижня (див. рис. 5.4), вона виглядає як хвиля розтягування. У наступні моменти часу тиск в будь-якому перерізі стрижня визначається як сума тиску, що виникає в результаті падаючої і відбитої хвиль.

На нижньому кінці стрижня є плоска полірована поверхня, яка утримується в густому мастилі і прикріплюється до полірованої поверхні пластини ЕНЛКа [17, 18]. Хвиля стиснення виникає на поверхні пластини ЕНЛКа, проходить через контакт зі стрижнем, відбивається на його верхньому кінці і далі поширюється у вигляді хвилі розтягування назад до пластини ЕНЛКа.

Якщо загальний тиск на поверхню пластини викликає дію розтягування, то стрижень підніметься на висоту h певної ширини, $V_{гр} = \sqrt{2gh}$ де g – прискорення вільного падіння. Величина руху, імпульс сили, яка візьме з собою вантаж, буде визначатися за формулою

$$t_{гр} = mV_{гр},$$

де $t_{гр}$ - середня сила на кінці вантажу, t - час, за який хвиля стиснення пройде шлях, що дорівнює подвоєній довжині вантажу. $2L_{гр}$

$$t = \frac{2L_{гр}}{C_0},$$

де C_0 - звукова видимість, рівна $5 \cdot 10^3$ м/с.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		53

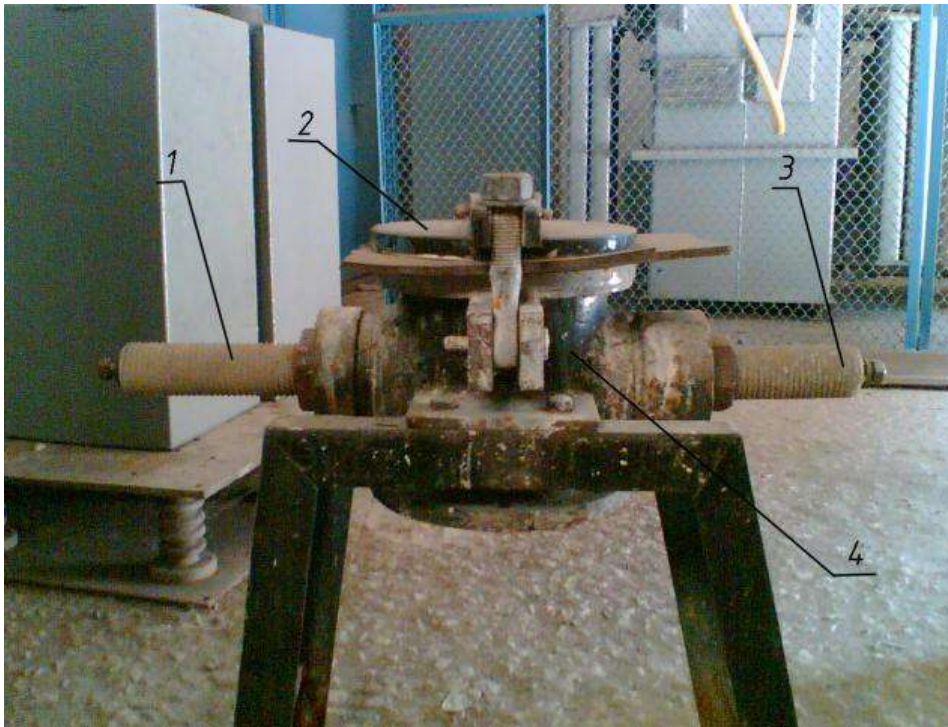


Рис. 5.4. Зовнішній вигляд газорозрядної камери, яка вимірює тиск, видимість та інтенсивність хвиль стиснення на поверхні пластини:

1, 2 – електроди; 3 – віброплатформа; 5 – електророзрядна камера

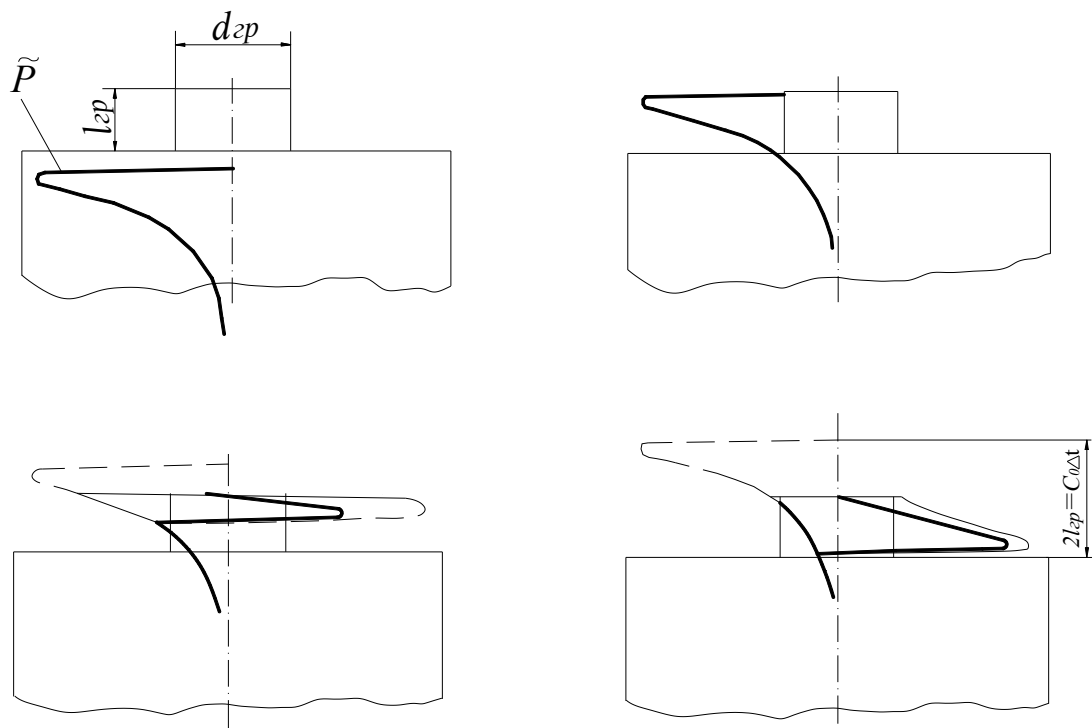


Рис. 5.5. Форма хвилі стиснення, що проходить через вантаж

У цьому дослідженні використовувалися вантажі різної довжини (12,5 мм, 35 мм, 55 мм, 155 мм, 255 мм, 425 мм) і діаметром 55 мм, з лінійною масою 0,100 кг і довжиною 10 мм. Висоту, на яку летіли вантажі різної довжини і, відповідно, різної ваги, вимірювали візуально під час кожного скидання за допомогою лінійки з поділкою 1 мм. У разі, коли висота вильоту була менше 50 мм, фіксували розмір штучних пластилінових стовпчиків, розташованих над вантажем і закріплених на жорсткому підвісі. Для кожного режиму високовольтного розряду було проведено три вимірювання. Довірчі інтервали для середнього значення висоти відправлення вантажу розраховували з довірчим рівнем $b = 0,05$ [10].

Для вантажу із зовнішнім діаметром 45 мм силу на його кінці розраховують за $\tau_{гр} = \frac{\tau\sqrt{2gh}}{2L} = 108\sqrt{h}$ кН (де h в м), звідки середній тиск на кінці навантаження

$$\tau_{гр} \frac{\pi d_{гр}^2}{4} = 86\sqrt{h}, \text{ МПа.}$$

Середню видимість у хвилі стиснення можна визначити як видимість відправлення вантажу.

$$V = \frac{V_{гр}}{2} = 2,20\sqrt{h}, \text{ РС.}$$

Середня інтенсивність

$$\tau_{гр} = 190h, \text{ Вт/м}^2.$$

Середній градієнт тиску на фронті хвилі стиснення можна розрахувати за допомогою наступного співвідношення:

$$\tau_{гр} \frac{1}{2L_{гр\min}} = \frac{86\sqrt{h}}{2L_{гр\min}}, \text{ МПа/мм.}$$

У разі мінімальної довжини $L_{гр\min} = 12,5$ мм

$$\tau_{гр} = 3,4\sqrt{h}, \text{ МПа/мм.}$$

На рис. 5.5 наведено значення величини руху в залежності від довжини, на рис. 5.6 - розподіл середньостатистичного тиску $P_{гр}$ в часо.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		55

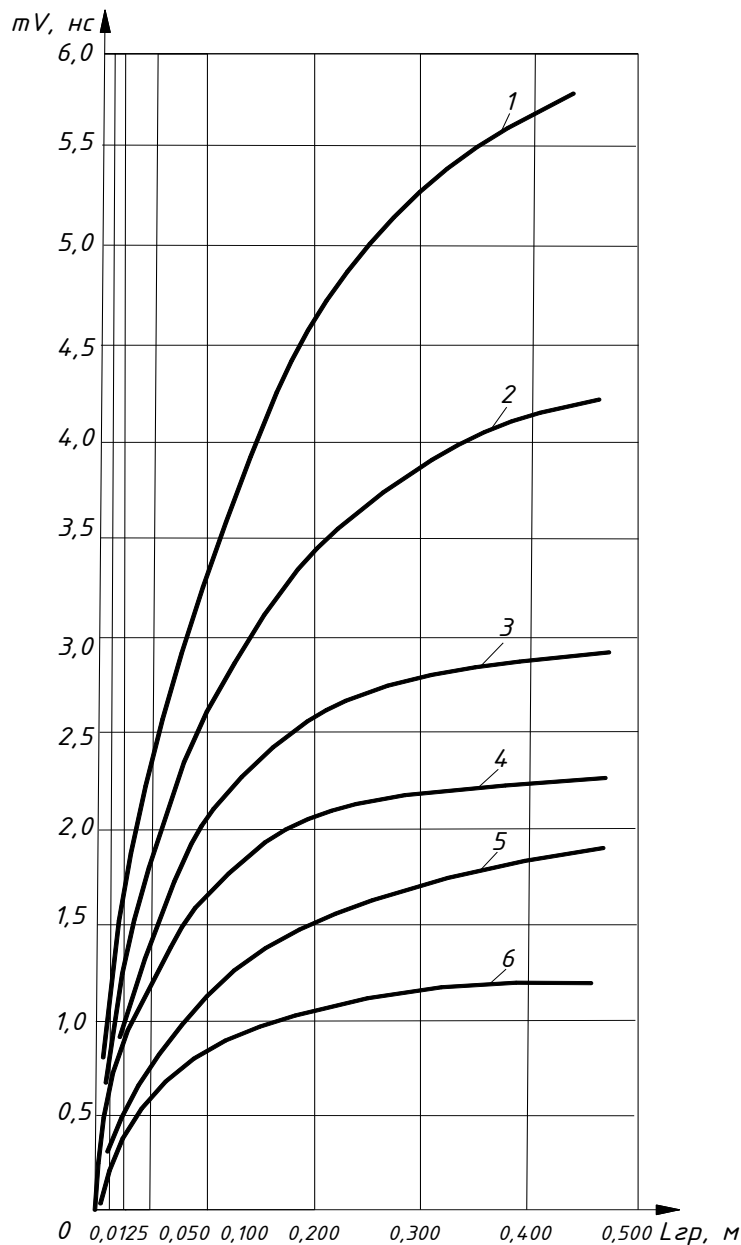


Рис. 5.6. Кількість переміщень для вантажів різної довжини, сталевий лист:

1 – $s = 12$ мм; $C = 0,7$ мкФ; $l_p = 35$ мм; 2 – $s = 15$ мм; $C = 0,7$ мкФ; $l_p = 20$

мм;

3 – $s = 11$ мм; $C = 0,6$ мкФ; $l_p = 8$ мм; 4 – $s = 12$ мм; $C = 0,4$ мкФ; $l_p = 9$ мм;

5 – $s = 25$ мм; $C = 0,6$ мкФ; $l_p = 8$ мм; 6 – $s = 12$ мм; $C = 0,6$ мкФ; $l_p = 5$ мм;

величини, P_{\max} , V_{\max} , $\text{grad}P_{\max}$ розраховується з урахуванням нерівномірного значення P , V , $\text{grad}P$ по радіусу по радіусу пластини (розрахункове значення електроакустичної ефективності досліджуваного ЕХЛК становило 4,5%).

У таблиці 5.1 наведені значення цих характеристик, які розраховані за формулами 5.3 - 5.5 з урахуванням нерівномірності їх розподілу по радіусу пластини. Експеримент проводився на EGLC зі сталеву пластину, товщиною $s = 10$ мм, діаметром 185 мм, з енергією розряду $E = 0,625$ кДж, зарядною напругою $U = 50$ кВ, ємністю конденсаторів НІТ, $C = 0,3$ мкФ, розрядним контуром. індуктивність $L = 10$ мкГн і високовольтний розряд на пластину з міжелектродним проміжком $l_p = 50$ мм.

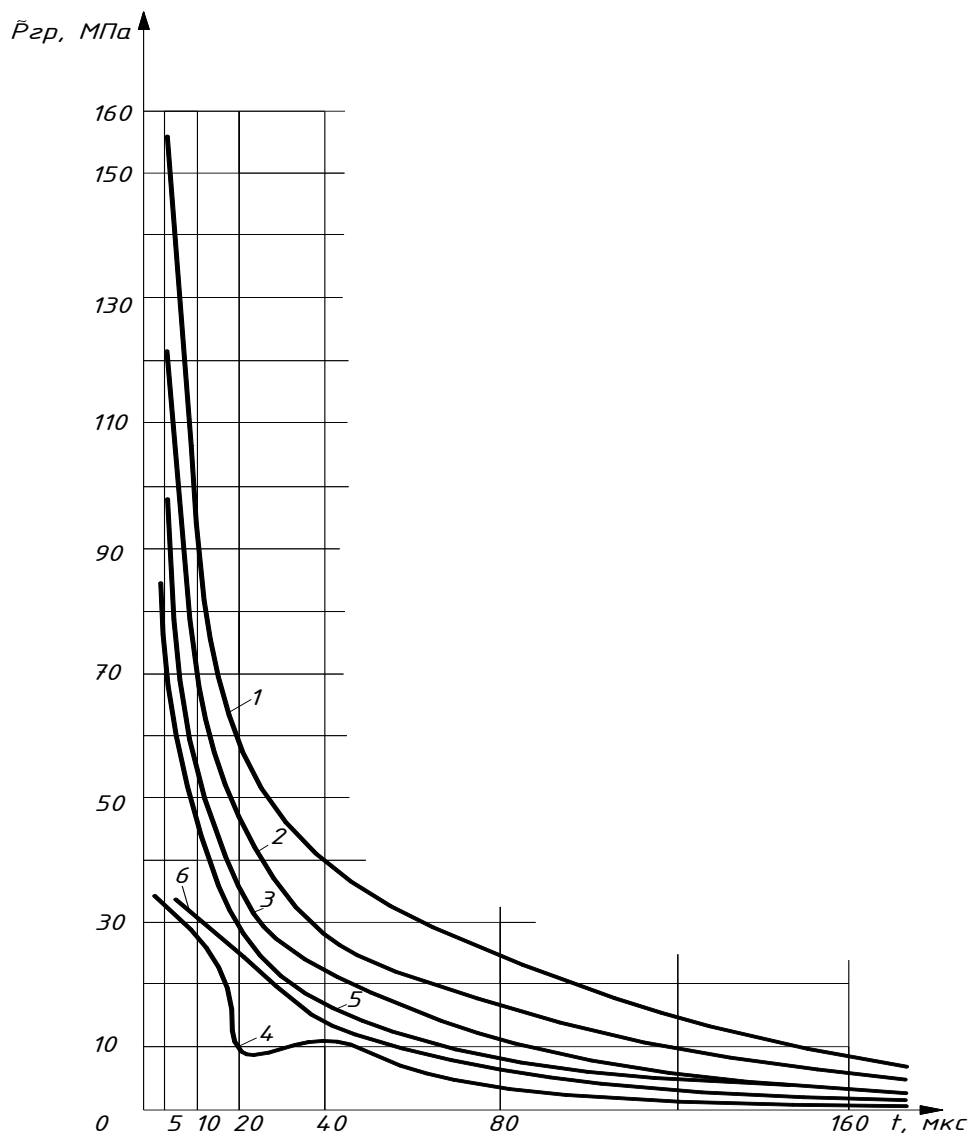


Рис. 5.7. Розподіл середнього тиску
(за часом на поверхні контакту вантажу з плитою):

1 – s = 11 мм; C = 0,6 мкФ; lp = 32 мм; 2 – s = 12 мм; C = 0,6 мкФ; lp = 16 мм;

3 – s = 11 мм; C = 0,6 мкФ; lp = 9 мм; 4 – s = 12 мм; C = 0,6 мкФ; lp = 5 мм;

5 – s = 11 мм; C = 0,4 мкФ; lp = 9 мм; 6 – s = 28 мм; C = 0,6 мкФ; lp = 9 мм;

Для гармонійних синусоїдальних коливань з низькочастотними коливаннями, електромагнітним переміщенням і ультразвуком градієнт тиску розраховується за такою формулою:

$$= \frac{P_{\max} 2\pi f}{c},$$

де P_{\max} - амплітуда коливання тиску, МПа; f - частота коливань, Гц.

При використанні потужних ультразвукових генераторів можна отримати інтенсивність (I) до 300 Вт/см² [18]. Використання залежності ρC_0 , ми маємо $= \sqrt{I \rho C_0}$ а за сталь дістанемо $= 11,8$ МПа; $= 0,25$ м/с. На випромінюючій сталевій пластині створюється хвиля стиснення інтенсивності $I_{\max} = 220,10$ Вт/см² (див. табл. 5.1), що на 2-3 порядки перевищує інтенсивність ультразвукової хвилі. Тиск у хвилі стиснення досягає значень $P = 298$ МПа, а видимість $V_{\max} = 8$ м/с.

Таблиця 5.1

Тиск, поява, інтенсивність, градієнт тиску при методах зовнішнього фізичного впливу на процес кристалізації сталей.

Методи зовнішньої фізичної дії	Частота пульсу f, Гц	Тиск Pmax, МПа	Зовнішній вигляд Umax, PC	Інтенсивність, Imax, Вт/см ²	Градієнт тиску град Pmax, МПа/мм
Низькочастотна вібрація	52	4.8	0,14	62,0	2510 - 4
Електромагнітне переміщення	52	36.5	1.3	3640	230 - 3
УЗД	220 000	10.6	0,27	320	330 - 1

Електрогідроімпульсне лікування	0,5 - 21	288,0	7.2	200103	11.5
---------------------------------	----------	-------	-----	--------	------

Спектральний аналіз імпульсів тиску показав, що приблизно 1,5 - 2% енергії імпульсу випромінюється на частотах 100 кГц і вище. Це свідчить про значний потенціал розробленого ЕНЛКа для впливу на фізичні властивості металів.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		59

Висновки

Сьогодні в сфері ремонтного виробництва поширена технологія відновлення розмірів деталей розподільним способом. Проте відновлені деталі, виготовлені за цією технологією, мають суттєві недоліки, основним з яких є наявність значних залишкових напружень у матеріалі втулки, що в кінцевому підсумку призводить до руйнування деталі.

Одним із перспективних напрямів удосконалення технології відновлення зношених деталей, наприклад втулок, є застосування електрогідравлічного ефекту.

Чисельний аналіз динамічних процесів, що відбуваються в системі ЕНЛК пластина - стержень, підтвердив порядок значень середнього тиску, який вимірювався методом Гопкінсона.

В результаті розрахунків визначено максимальне значення ККД перетворення електричної енергії в механічну з урахуванням наступних параметрів розрядного контуру:

- індуктивність розрядного контуру $L = 10 \text{ мкГн}$;
- ємність батареї конденсатора $C = 0,3; 0,5 \text{ мкФ}$;
- напруга в розрядному колі $U = 50 \text{ кВ}$;
- міжелектродний зазор $l_p = 30 \text{ мм}$.

Аналіз отриманих даних про передпроривні втрати показав, що в окремих випадках вони можуть становити більше 50% від запасеної енергії. З цього випливає необхідність ретельного вибору оптимальних параметрів схеми і геометрії електродної системи з урахуванням передпроривних втрат.

Тому виникає необхідність проведення комплексних досліджень на всіх етапах розряду в умовах обмеженого об'єму камери EGLC та підвищеного гідростатичного тиску. Лише на основі результатів таких досліджень можна розробити практичні рекомендації щодо вибору параметрів електричного кола

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		60

та геометрії електродної системи для забезпечення оптимальних умов роботи ЕГЛК.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		61

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Білявський Г. О. Практикум із загальної екології / Г. О. Білявський, Р. С. Фурдуй – К.: «Либідь», 1997.-160 с.
2. Бутаков Б. І. Методи вимірювання ударно-імпульсних характеристик електророзрядного вібратора/Б. І. Бутаков. – Миколаїв : ПКБЕ АН УРСР, 1988. – 132 с.
3. Хвильові процеси в рідині та елементах конструкцій електрогідравлічних установок. Збірник наукових праць. – К.: Наукова думка, 1990. – 125 с.
4. Гулий Г. А. Наукові основи розрядно-імпульсних технологій/Г. А. Гулий – К.: Наукова думка, 1990. – 212 с.
5. Воловик О. Л. Довідник з відновлення деталей / Е. Л. Буглосс. – К.: Колос, 1981. 351 с.
6. Записна книжка інженера кр виробництва / За ред.К.П.Кононенко – К.: «Урожай», 1987.-288 с.
7. Зашимов К. К. Контроль якості деталей при поверхневому пластичному деформуванні/К. К. Яшимов - Алма-Ата.: Наука, 1986. - 208 с.
8. Йофінов С. А. Експлуатація машинно-тракторного парку/С. А. Йофінов, Х. П. Занадто багато – К.: Колос, 1984. – 315 с.
9. Канарев Ф. К. Охорона праці: Навчальний посібник/Ф. К. Канарьов, К. А. Згинання - К.: Колос, 1982.-316 с.
10. Кольський Г. Хвилі напружень у твердих тілах / Г. Кольський. – К.: ІЛ. 1955-192 с.
11. Мазуровський Б.Я. Електрогідроімпульсне пресування труб у трубних сітках теплообмінників / Б.Я. Мазуровський – К.: Наукова думка, 1980. – 165 с.
12. Малюшевський П. П. Основи розрядно-імпульсної технології / П. П. Малюшевський. – К.: Наукова думка, 1983. – 265 с.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		62

13. Методичні рекомендації до виконання дипломних робіт освітньо-кваліфікаційного рівня «спеціаліст» спеціальності 7.010104 «Професійне навчання» – Миколаїв, 2004. – 28 с.

14. Організація і планування виробництва на ремонтних підприємствах / За ред. Ю.А. Конкін. – К.: «Колос», 1981. – 367 с.

15. Петросов В. В. Гідроструминне зміцнення деталей та інструментів / В. В. Петросов – К.: Машинобудування, 1977. – 165 с. 33. Письмак С. В. Дипломний проект: «Удосконалення ремонту МТП ПОСП «Красна Баштанка» Новобузького району з розробкою пристрою гідродинамічного розподілу поршневих пальців» / С. В. Письменник – Миколаїв, 2004. – 88 с.

16. Поздєєв В. А. Електророзрядні генератори пружних коливань/В. А. Поздєєв, П. І. Царенко, Б. І. Бутаков. – К.: Наук. думка, 1989. - 212 с.

17. Верстаторемонтна майстерня/За ред. О. І. Сідашенко. – К.: «Урожай», 1995. – 224 с.

18. Розрядно-імпульсна техніка: проблеми вдосконалення. Збірник наукових праць. – К. : Наукова думка, 1988. – 109 с.

19. Ремонт машин/За ред. І. Е. Ульмана. – К.: «Колос», 1982 – 446 с.

20. Сірий І. С. Курсове та дипломне проектування з надійності та ремонту машин / І. С. Сірий та ін. – К.: Агропромиздат, 1991. – 184 с. 45. Сідашенко О. І. Ремонт машин / О. І. Сідашенко – К.: Урожай, 1994. – 400 с.

					ДРБМТВА 24. 21166.000 ПЗ	Ковче
Зміна	Ковче	документ №	Підпис	Дата		63