

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»

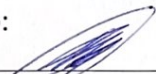
Освітньо-професійна програма: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

на тему: «Технологія підвищення зносостійкості деталей тертя ходової частини автомобіля з використанням композиційних матеріалів»

Шифр: ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ

Виконав: студент 3 курсу, група МТВАс -19-2  В.О. Крушевський

Керівник  д.т.н., проф. О.В. Диха

До захисту допускаю:
Зав. кафедри ТАМ  Диха О.В.
2 06 2022 р.

Хмельницький, 2022 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

" 20 " квітня 2022 р. Диха О.В.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Крушевському Владиславу Олеговичу

1. Тема проекту:
«Технологія підвищення зносостійкості деталей тертя ходової частини автомобіля з використанням композиційних матеріалів»

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

Затверджено наказом університету від 1 березня 2022р. № 18

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту:

- 1) *Технічні умови на технологію виготовлення полімерних композитів.*
- 2) *Річна програма ремонту деталей.*
- 3) *Результати літературного огляду і патентного пошуку.*

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


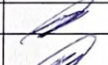


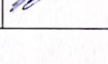
1. *Аналіз конструкції та умов експлуатації деталей ходової частини автомобіля*
2. *Модель тертя в опорах шворневого вузла автомобіля*
3. *Розробка технологічно процесу вібронакаткування полімерних шворневих тулок*
4. *Технологія відновлення деталей ходової частини транспортних засобів*

5. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 20 квітня 2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз конструкції та умов експлуатації деталей ходової частини автомобіля	1.05.2022	
2	Модель тертя в опорах шворневого вузла автомобіля	15.05.2022	
3	Розробка технологічно процесу вібронакатування полімерних шворневих втулок	25.05.2022	
4	Технологія відновлення деталей ходової частини транспортних засобів	5.06.2022	
5	Оформлення пояснювальної записки та презентаційних матеріалів	15.06.2022	

Студент



Крушевський В.О.

Керівник роботи



Диха О.В.

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 75 сторінок, кількість рисунків – 35, таблиць – 5, додатків – 1, кількість джерел згідно із переліком посилань – 59.
Студент гр. МТВАс-19-2 Крушевський В.О.

Тема «Технологія підвищення зносостійкості деталей тертя ходової частини автомобіля з використанням композиційних матеріалів»

Дана бакалаврська дипломна робота присвячена розробці методики підвищення довговічності вузлів тертя ходової частини автотранспортних засобів на основі композиційних матеріалів.



В дипломній роботі вирішувались наступні завдання:

1. Проведений аналіз існуючих методик підвищення довговічності композиційними матеріалами з метою оцінки можливості їх застосування для шворневих вузлів автотранспортних засобів;
2. Розроблена математична модель тертя рухомих сполучень вузлів ходової частини транспортних засобів за допомогою поліефіркетону;
3. Розроблений технологічний процес відновлення шворневих вузлів, із застосуванням даного матеріалу-поліефіркетону;
4. Проведені дослідження фізико-механічних властивостей і довговічності вузла, що замінюється, з поліефіркетону;
5. Розроблена методика підвищення довговічності шворневих вузлів тертя.

Перелік ключових слів: автомобіль, шворневий вузол, пластмасові композиційні матеріали, вібронакатування, зношування

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ АВТОМОБІЛЯ.....	8
1.1. Аналіз відмов та умов експлуатації вузлів тертя ходової частини ...	8
1.2. Аналіз причин виходу з ладу та способів відновлення деталей транспортних засобів	9
1.3. Застосування композиційних матеріалів при відновленні та ремонті вузлів тертя ходової частини	16
1.4. Вибір деталі та її характеристика.....	24
2. МОДЕЛЬ ТЕРТЯ В ОПОРАХ ШВОРНЕВОГО ВУЗЛА АВТОМОБІЛЯ.....	26
2.1. Модель тртя в контактї рухомих елементів шворневих вузлів автомобіля.....	26
2.2. Планування експерименту на тертя поверхонь шкворневого вузла, що сполучаються	28
3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНО ПРОЦЕСУ ВІБРОНАКАТУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ШВОРНЕВИХ ВТУЛОК.....	35
3.1. Визначення стуктурної будови матеріалу, що виготовляється	35
3.2. Технологія вібронакатування втулок шворневого вузла.....	36

ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Крушевський		
Перевір.		Диха		
Н.контр.		Бабак		
Затвер		Диха		
Технологія підвищення зносостійкості деталей тертя ходової частини автомобіля з використанням композиційних матеріалів			Літ.	Аркуш
			4	75
ХНУ, гр. МТВАс-19-2				

3.3. Визначення твердості по довжині та товщині покриття.....	43
3.4. Визначення пористості покриття.....	46
3.5. Визначення корозійної стійкості досліджуваних зразків.....	48

4. ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....51

4.1. Розробка технологічного процесу відновлення вузлів тертя.....	51
4.2. Визначення коефіцієнта довговічності	56
4.3. Дослідження структури покриття з поліефіркетону.....	58
4.4. Аналіз впливу параметрів експлуатації на інтенсивність зношування пар.....	59
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	70
Додатки.....	75

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Прискорення темпу вантажоперевезень, щорічне збільшення вартості проведення ремонтних робіт спричиняють необхідність підвищення довговічності автотранспортних засобів.

Надійність автопоїздів, що працюють у важкому режимі, є одним із основних показників, що визначають безпеку транспортування пасажирів та вантажів.

За статистикою, основними причинами відмов автопоїздів є дефекти елементів їх основних механізмів ходової частини.

Недоліками технічного рішення штатного шкворневого вузла автопоїздів є наявність заводських пластикових або бронзових вкладишів (втулок), які в процесі експлуатації під впливом консольних знакозмінних ударних навантажень, зношуються і з'являються значні люфти, внаслідок чого порушуються кути розвалу та сходження коліс, що призводить шин та зниження рівня безпеки руху та керованості автомобіля.

За рекомендаціями офіційних дилерів автомобілів, ці вузли при їх зносі рекомендовано бракувати. Проте за технологією заводів - виробників їх ремонт не передбачено, проводиться заміна всього вузла.

Одним із способів вирішення виявлених недоліків є можливість заміни зношених втулок вузлів тертя ходової частини та виготовлення їх під ремонтний розмір із поліефіркетону.

Коректність та обґрунтованість методики розрахунків триботехнічних сполучень ходової частини мають значний вплив на їх надійність та довговічність.

Таким чином, завдання дипломної роботи полягає у розробці методики підвищення довговічності вузлів тертя ходової частини автотранспортних засобів на основі композиційних матеріалів, має важливе значення в галузі забезпечення надійності та безпеки автопоїздів.

Мета дипломної роботи. Розробити технологічний процес підвищення

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

довговічності вузлів тертя ходової частини автотранспортних засобів (шкворневих вузлів) методом ремонтної деталі шляхом використання композиційного матеріалу з покращеними властивостями – поліефіркетону.

Завдання дипломної роботи:

1. Провести аналіз існуючих методик підвищення довговічності композиційними матеріалами з метою оцінки можливості їх застосування для шкворневих вузлів автотранспортних засобів;
2. Розробити математичну модель тертя рухомих сполучень вузлів ходової частини транспортних засобів за допомогою поліефіркетону;
3. Розробити технологічний процес відновлення шворневих вузлів, із застосуванням даного матеріалу-поліефіркетону;
4. Провести дослідження фізико-механічних властивостей і довговічності вузла, що замінюється, з поліефіркетону;
5. Розробити методику підвищення довговічності шкворневих вузлів тертя.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ АВТОМОБІЛЯ

1.1. Аналіз відмов та умов експлуатації вузлів тертя ходової частини

Прискорення темпу вантажоперевезень, щорічне збільшення вартості проведення ремонтних робіт спричиняють необхідність підвищення довговічності вузлів тертя ходової частини (шкворневих вузлів) автотранспортних засобів. Коректність та обґрунтованість методики розрахунків триботехнічних сполучень ходової частини мають значний вплив на їх надійність та довговічність.

На сьогоднішній день існує проблема недостатнього опрацювання технічного рішення штатного шкворневого вузла автопоїздів, втулка якого виконана із пластику або бронзи. При цьому виникає необхідність науково обґрунтованого визначення, як у процесі експлуатації під впливом консольних знакозмінних ударних навантажень шкворневі вузли зношуються та з'являються значні люфти, внаслідок чого порушуються кути розвалу та сходження коліс, що призводить до інтенсивного зношування, зниження рівня безпеки руху та керованості автомобіля.

Як об'єкт досліджень вибрані вантажні автомобілі марок Scania (P, G, R серій), Volvo (FH, FE, FM серій).

Спостереження за відмовами тягачів, проведені в проміжку з 1996 року до 2019 показали, що відмова (близько 70%) кермового управління відбувається за рахунок посиленого зносу шкворневих вузлів у перерахованих автомобілях.

Більшість відмов припадає на поєднання ходової системи вантажівки, таких вузлів, як колеса, напрямні, рама, підвіска. При цьому третина з них припадає на шкворневі вузли кермового управління. У зв'язку з цим у виробників виникає питання, як збільшити довговічність цих вузлів.

Явище абразивного зношування, що є однією з основних причин відмови транспортних засобів, виникає при попаданні в триботехнічні вузли абразивних

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частинок продуктів зносу з дороги розміром до 1 мм. Воно активно виникає у тих транспортних засобів, які працюють на кар'єрах і перевозять вантажі, переважно, не асфальтованими дорогами.

1.2. Аналіз причин виходу з ладу та способів відновлення деталей транспортних засобів

Просування вперед виробництва автомобільного транспорту за невисокої вартості перевезення вантажів сприяє швидкості переміщення і гнучкості, що безсумнівно впливає на економічний розвиток країни. Одне з найголовніших завдань автомобільних перевезень, за збільшенням показників надійності, економічності та довговічності автомобілів — це поліпшення їх експлуатаційних властивостей. Постійна конкуренція із залізничним транспортом спонукає підвищувати важливість згаданого завдання.

Явлення зношування та тертя залежать безпосередньо від довговічності та надійності транспортних засобів. Порушення герметичності, точність пов'язаних один з одним деталей, надмірні вібрації, гідравлічні та механічні удари, все це результат зношування. Підвищена температура в парах, втрата потужності, підвищені витрати паливної енергії, все це результат тертя. Зношування і тертя залежить один від одного безпосередньо: зношування деталей призводить до збільшення або зменшення тертя і навпаки.

Індивідуальний підхід до кожного споживача останнім часом є ключовою особливістю під час виготовлення транспортних засобів. За рахунок цієї особливості та сама модель автомобіля може бути випущена в різних модифікаціях. Це може бути зміна типу двигуна або встановлення на стару основу нового, форму та фарбування кузова і т.д. Однак зміна в початковій комплектності автомобіля, може спричинити необхідні операції з перевірки його працездатності та контролю режимів роботи, що змінилися.

Стан будь-якого транспортного засобу в процесі експлуатації не буде

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кращим, якщо його супроводжують постійні відмови, внаслідок ослаблення різьбових з'єднань, підвищеного тертя, надмірної деформації тощо. Всі деталі та вироби, що знаходяться в рульовому управлінні вантажного автомобіля, з обмеженим ресурсом, при його втраті спричиняють зміну основних параметрів, показники виробництва яких намагаються покращити:

витрата палива, зношування шин, кути установки коліс, плавність ходу тощо.

Відведення автомобіля у бік. Можливі причини: зміна форми однієї або декількох деталей підвіски, заклинювання елементів, що обертаються, або їх надмірне тертя, різниця тиску в шинах, зміщення осей мостів одного щодо іншого, підвищене биття коліс.

Сторонні звуки у підвісці. Можливі причини: брак мастила в елементах, що труться, ослаблення різьбових з'єднань, збільшення люфту в підшипниках, критичний знос тертьових деталей, зміна форми круглих деталей.

Вібрація на кермі. Можливі причини: биття коліс та можливе їх розбалансування; зміна форми дисків коліс.

Передчасне знос шин. Можливі причини: підвищений тиск повітря.

Підвищений знос крайніх частин протектора шини. Можливі причини: недостатній тиск повітря на шинах.

Протектор нерівномірно зношується. Можливі причини: - підвищене биття коліс; збільшені зазори у сполучених деталях підвіски.

Однією з дисциплін з вивчення зносу та тертя у деталях машин є трибологія. А наукою щодо вивчення підвищення зносостійкості за допомогою застосування перспективних та інноваційних матеріалів є триботехніка.

Ще з початку двадцятого століття бурхливий розвиток автомобільної промисловості спонукав вчених до вивчення дисциплін, пов'язаних з тертям. На сьогоднішній день трибологія є окремим від усіх інших напрямків. Підготовкою фахівців у галузі трибології займаються практично у всіх країнах земної кулі з метою досягнення економічної вигоди. Отримані знання та досвід у галузі

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трибології дозволили забезпечити скорочення витрат на капітальний ремонт та спрямувати виручені кошти на розвиток підприємств.

Згідно з основами трибології, поверхні деталей, які знаходяться в контактi, ніколи не можуть бути ідеальними і завжди містять мікрорельєф. Причому нерівності однієї деталі будь-коли можуть збігатися з інший. Один із основоположників трибології Ф. Боуден одного разу висловився: "Накладення двох твердих тіл одного на інше подібне до накладання швейцарських Альп на перевернуті австрійські Альпи - площа контакту виявляється дуже малою". Основним джерелом тертя руху є опір щодо контактних зон. При цьому опір зсуву залежить від природи дотичних матеріалів [13].

Крагельський І.В. висунув теорію про те, що коефіцієнт тертя складається із суми механічної та молекулярної складової. Надалі вона отримала назву молекулярно-механічної теорії тертя. При пружному контактi складову сили тертя можна розрахувати з урахуванням гістерезисних втрат, які пояснюються тим, що еластичність більш м'якого матеріалу недосконала.

У другій половині 70-х років минулого століття Костецький Б.І. зі своїми послідовниками узагальнили у праці «Поверхнева міцність матеріалів під час тертя» спроби дослідження процесів, що виникають при терті та поверхневому руйнуванні.

Відповідно до праць професора, Білого В.А., основою триботехніки є матеріалознавство, яке є зв'язком наявних знань та підсумками теоретичних аналізів у галузі трибології. Його наукові праці можуть бути відправною точкою вивчення аспектів роботи виборчого переносу. Багато матеріалів у роботах професора можуть дещо змінити уявлення на основні триботехнічні шляхи та механізми зношування та мастила. За останні роки в галузі триботехніки особлива увага приділяється високоміцним композиційним матеріалам. У процесах виробництва високоточного різального інструменту застосовуються раніше маловивчені матеріали: тантал, карбіди титану та вольфраму.

Набір послідовних операцій з надання виробу первісної форми та розмірів

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при нанесенні покриттів, що не поступаються за складом та якістю аналогічним матеріалам, називається відновленням. На всій планеті налічується близько чотирьох десятків способів та понад дві сотні підвидів способів відновлення.

Основною проблемою ремонтного виробництва є підвищення якості ремонту автомобілів, поряд зі зменшенням його собівартості. Незважаючи на зростання цін, дефіцитними в умовах ринку залишаються запасні частини, на придбання яких виділяється 65-75% витрат у структурі собівартості капітального ремонту. За допомогою кваліфікованого виконання розбиральних робіт автомобілів та перевірки працездатності деталей, можна домогтися скорочення витрат на запасні частини, що є основною складовою на шляху зниження собівартості ремонту. Оскільки собівартість відновлення більшості деталей вбирається у 30-70% ціни купівлі нових, відновлення і вторинна експлуатація зношених деталей є основним резервом у вирішенні задачі. Слід зазначити, що витрати металу, матеріалів та енергії істотно нижчі за витрати при виробництві нових деталей. А це, у свою чергу, дозволить вирішити екологічні проблеми, скоротити енергетичні та матеріально-сировинні ресурси. Отже, шляхом реставрації деталей можна як знизити собівартість ремонту машин, а й у багатьох випадках підвищити їх якість.

Спосіб відновлення деталі - сукупність операцій, що характеризує технологічний процес (наплавлення, напилення тощо). Спосіб додаткової деталі. Суть методу полягає у збільшенні вихідного розміру втулки та інтегруванні до неї нової втулки з пресовою посадкою. З урахуванням умов експлуатації сполучення, в яке входить відновлювана деталь, як допоміжні деталі можуть бути використані втулки зі сталі, композиційних матеріалів, втулки з кольорових металів. При використанні в роботі вищезазначеного методу необхідно враховувати наступне:

- нерівномірний знос відновлюваної деталі чреватий освітою зазору між додатковою і відновлюваною деталлю, що у свою чергу призведе до зносу підвищеної інтенсивності;

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зміна форми внутрішньої поверхні відновлюваної деталі тягне у себе ряд труднощів, які у доборі додаткової втулки необхідного розміру;
- високий знос або тонка стінка втулки, що ремонтується, може призвести до деформації її поверхні.

Відновлення деталей полімерними матеріалами.

За допомогою ремонту деталей полімерними матеріалами (пластмасами) можна закладати пробоїни та тріщини, вирівнювати поверхні, склеювати деталі, закривати пори в будь-яких деталях, включаючи важкодоступні місця, герметизувати з'єднання, нарощувати поверхні для забезпечення створення натягу в поєднанні зносостійкого покриття. У деяких випадках пластмаси та клейові склади є гарною заміною хромування та залишання, паяння, зварювання, або бути єдиним засобом відновлення деталей.

Виділяють дві групи пластмас, що використовуються у ремонті:

1. термореактивні (реактопласти) - тверднуть і втрачають свої пластичні властивості при нагріванні, застосовуються у вигляді різних композицій у рідкому або пастоподібному стані для герметизації, склеювання, нарощування, закладення пробоїн та тріщин. Основною складовою таких композиціях є смоли.

2. термопластичні (термопласти) – при нагріванні зберігають свої пластичні властивості та не тверднуть. До них відносяться поліаміди П68, АК-7, капрон, кетон та ін. Використовують для виготовлення та нарощування деталей.

Рідкі клейові склади поставляються у готовому вигляді, зручні у використанні, мають гарні діелектричні властивості. Клей марки БФ – це спиртові розчини термореактивних смол. Клей БФ-2 використовується для склеювання та нарощування металевих деталей, що працюють при температурі 55-85 °С і вище, а БФ-4 застосовується у випадках, де потрібна висока стійкість до вібрацій та велика еластичність. Для з'єднання металів із пластмасами та тканинами застосовують клей БФ-6. Виконані цими клеями з'єднання будуть стійкі по відношенню до дії нафтопродуктів і кислот нижче 25% концентрації,

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

до води та холоду [96].

Клей ВС-ЮТ складається з розчину синтетичних смол в органічних розчинниках, стійкий до води, холоду, нафтопродуктів, вогнестійких. У спектр його застосування входить нарощування, склеювання різних металів та неметалічних матеріалів у будь-якому поєднанні. Висока термостійкість має плівку цього клею. Такі сполуки можуть витримувати до 5 годин температуру 200 °С. Може використовуватись для приклеювання фрикційних накладок зчеплення.

Пастоподібні клейові склади. Для перетворення пасти з тістоподібного стану в незворотне тверде вводиться затверджувач. Пластифікатор посилює стійкість плівки до температурних коливань, еластичність, ударну в'язкість. Для збільшення теплостійкості та механічної міцності клейового складу, зниження усадки та наближення коефіцієнтів термічного розширення пасти та відновлюваної деталі, додаються наповнювачі, які зменшують вартість паст.

Порошкові термопластикові використовуються у практиці ремонту для нанесення різних покриттів.

Капрон -поширений термопласт, що має хороші фізикохімічні властивості, що володіє високим ступенем зносостійкості та низьким коефіцієнтом тертя, представник поліамідних смол. Орієнтовна температура плавлення дорівнює 220 °С. Термопласт матиме підвищену жорсткість при встановленні температури нижче нуля. Має високі діелектричні властивості, стійкий до впливу масел, бензину, ацетону, лугів. Має низьку теплопровідність, у 260-290 разів меншу, ніж метали, а також високий коефіцієнт лінійного розширення, у 9 разів більший, ніж у сталі. Представлений у вигляді гранул розміром 8-9 мм, для подрібнення яких використовують шаровий млин. Подрібнену тверду вуглекислоту («сухий лід») та капронову крихту засипають у млин. При температурі кипіння мінус 80 ° С капрон набуває крихкості і без зусиль перемелюється в порошок.

Термопласт ПФ11-12- це порошкоподібна суміш, температура плавлення 220-240 °С. До складу цієї суміші входять: 57% полівінілбутиралевої смоли, 20%

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

графіту, 20% ідітолу та 3% уртопіну. Цей термопласт використовується при газополум'яному нанесенні покриттів на поверхню деталей з метою нарощування та усунення таких пошкоджень як: нерівності, вм'ятини, вибоїни.

Склеювання деталей. Для досягнення міцності клейового з'єднання деталей слід звернути увагу на якість підготовки поверхонь, що склеюються, площа дотику двох деталей, зменшення товщини клейового шару, режим термообробки в період затвердіння клейового шва.

З'єднання деталей клейовими складами має свої переваги: можливість отримання герметичних та вібростійких сполук, стійких до впливу нафтопродуктів, відсутність внутрішніх напруг у клейовому шві, допустимість з'єднання один з одним різних за своїм складом матеріалів, таких як метали, фрикційні матеріали, пластмаси, тканини та інших. . Температура, за якої ведеться процес, має перевищувати 200 °З. Невисока міцність та низька теплостійкість є недоліками у вищеописаному процесі .

Закладення тріщин і пробоїн у деталях. Відмінною особливістю технології процесу закладення пробоїн, тріщин у різних деталях або ліквідації пошкоджень кавітаційного характеру в корпусних деталях від процесу нарощування деталей пастами є попереднє оброблення місць пошкодження (рис. 1.1, а).

При обробці тріщин кромки розкривають під кутом 60-90°, просвердлюючи на кінцях отвори діаметром 2-3 мм. Для досягнення високої міцності деталі, що ремонтується, існує кілька способів: армування шва по довжині металевими скобами (рис. 1.1, г), просвердлювання технологічних отворів для установки клейових заклепок (рис.1.1, в) з певним кроком; накладання склотканини в кілька шарів (рис. 1.1 б).

Відповідно до встановлених правил відновлення тріщин та пробоїн, для товстостінних деталей виконуються двоміліметрові отвори з кроком тридцять міліметрів. Незалежно від товщини деталі відновлювану поверхню необхідно зачистити та знежирити. Багатокомпонентний полімер і армуюча тканина при заклеюванні повинні перекривати зону руйнування рівновіддалено в кожному

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сторону не менше десяти міліметрів .

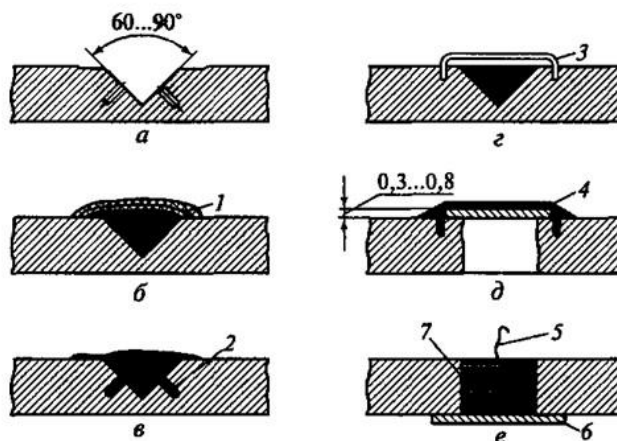


Рисунок. 1.1 Обробка та способи закладання тріщин і пробоїн пастами: а - обробка тріщин; б - посилення шва склотканиною; в- клейовими заклепками; г - те ж скобами; д - закладення пробоїни сталевий накладкою; е — те саме врівень; 1 - склотканина; 2 - клейова заклепка; 3 - скоба; 4 - сталева накладка; 5 - дрiт; 6 - підтримуюча пластина; 7 - тканина.

На Рисунку 1.1, д показано схематичне зображення того, як відбувається відновлення пробоїн. Перед нанесенням сталевий латки, товщиною приблизно 0,5мм, заздалегідь просвердлені отвори заливають багатокомпонентний полімер. Остаточо цей ремонтний вузол закривають декількома шарами армуючої тканини (вугілля або скловолокна). При закладанні дефекту, що утворився, врівень, до відновлюваної деталі прикріплюють тимчасову пластину, від якої йде волосінь і заливають полімером з подальшим укладанням армуючої тканини. Після полімеризації багатокомпонентного полімеру тимчасову пластину знімають, залишок волосіні зрізають (рис. 1.1, е).

1.3. Застосування композиційних матеріалів при відновленні та ремонті вузлів тертя ходової частини

Композиційні матеріали(композити) є набір компонентів з матриці (пластичної основи), армованої наповнювачами, що характеризуються

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

жорсткістю, високою міцністю, стійкістю до механічних пошкоджень. В результаті комбінації речовин, виходить новий матеріал, з кількісно та якісно новими властивостями. Варіюючи склад матриці та наповнювача, їх співвідношення, орієнтацію наповнювача отримують широкий спектр матеріалів з необхідним набором характеристик. Багато композитів перевершують традиційні матеріали та сплави за своїми механічними властивостями і водночас вони легші. Введення до складу конструкції композитних матеріалів призводить до зниження її ваги і в той же час до поліпшення механічних характеристик .

З давніх-давен люди шукали можливість підвищити міцність і в'язкість крихких матеріалів за допомогою введення різноманітних добавок. Так, наприклад, ще в Стародавньому Єгипті в цеглу, для надання їм міцності, додавали соломку. Інки при виготовленні керамічних виробів використовували рослинні волокна, в Англії штукатурку додавали волосся.

Сьогодні найпоширенішим композиційним матеріалом є деревно-стружкова плита (ДСП), матриця якої є синтетичні смоли, наповнені деревними стружками і тирсою. Також добре зарекомендував себе залізобетон, з якого споруджують масштабні конструкції, що витримують величезні навантаження. Саме стародавні греки першими стали використовувати залізо при армуванні мармуру. Щоб прольоти завдовжки 5 м впоралися з напругою, архітектор Мнесікл у 440 році до н.е. замурував у спеціальних канавках у мармурових плитах двометрові залізні стрижні .

До складу композитів входять компоненти, що містять різноманітні матеріали: пластмаси, метали, кераміку, вуглець та інші. Багатокомпонентні композиційні матеріали можуть поєднувати в одному матеріалі кілька матриць або включати різні наповнювачі. Стійкість до можливих зовнішніх впливів, монолітність самого матеріалу, передачу напруги наповнювача забезпечує матриця. Від наповнювача залежить жорсткість, міцність та деформованість матеріалу .

Структура композиційного матеріалу.Класифікація композитів за

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

структурою: волокнисті, шаруваті, дисперсно-зміцнені, зміцнені частинками, наноккомпозити. Волокнисті композити складаються з волокон або ниткоподібних кристалів, вміст яких надає матеріалу якісно нові механічні властивості. Зміна орієнтації розміру та концентрації волокон також змінює властивості матеріалу. Додавання волокон провідників робить матеріал електропровідним вздовж заданої осі, а армування волокнами надає матеріалу анізотропії властивостей.

Матриця та наповнювач у шаруватих композиційних матеріалах представлені шарами. Прикладом може бути особливо міцне скло, армоване кількома шарами полімерних плівок.

Матрицю інших класів композиційних матеріалів наповнюють частинками армуючої речовини, відмінність полягає у розмірі даних частинок. Так, у складі наноккомпозитів розмір часток коливається від 15 до 95 нм, у дисперсно-зміцнених композитах становить від 0,02 до 0,2 мкм, а композитах, зміцнених частинками, розмір часток більше 1,5 мкм.

Полімерні композиційні матеріали. Композити, матрицею у яких служить полімерний матеріал, знайшли широке застосування різних областях. Прикладом може бути виробництво космічної та авіаційної техніки, де використання ПКМ дає змогу заощадити до 30% ваги літального апарату, що у свою чергу вигідно і з економічного погляду.

А) Склопластики - це полімерні композиційні матеріали, що є продуктом формування розплавленого неорганічного скла з включенням скляних волокон. За основу беруться термореактивні синтетичні смоли та термопластичні полімери, що відрізняються високими електроізоляційними властивостями, низькою теплопровідністю, високою міцністю, прозорі для радіохвиль. Вперше склопластики знайшли своє застосування у середині сорокових років ХХ століття у виробництві антенних обтічників. Для нейтралізації дефектів тендітної матриці, в перші армовані склопластики вводилося невелика кількість волокон. Надалі, матриця стала виконувати іншу функцію, що полягає у

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поєднанні міцних волокон між собою, основна маса яких може досягати більше 3/4 від маси виробу. Склотекстоліт - шаруватий матеріал, в якому як наповнювач застосовується тканина, плетена зі скляних волокон. Завдяки низькій вартості, склопластики використовуються в багатьох галузях промисловості: радіоелектроніці, суднобудуванні, будівництві і т.д.

Б) Вуглепластики - представляють полімерний композит, основним наповнювачем якого є вуглецеві волокна, одержувані із синтетичних та природних волокон на основі целюлози, кополімерів акрилонітрилу, нафтових та кам'яновугільних пеків тощо.

Для виробництва волокон з високим вмістом вуглецю, використовується кілька етапів термічної обробки волокон: окислення - 230 ° С, карбонізація - 1100-1600 ° С, графітизація - 1700-3100 ° С. Структура вуглеволокна залежить від вихідної сировини і режиму обробки.

Використання однакових матриць для виготовлення скло- та вуглепластиків робить їх особливо привабливими для виробників, у більшості випадків використовуються термореактивні та термопластичні полімери. Порівняльний аналіз вищезгаданих вуглепластиків дозволяє побачити наступне: вуглепластики мають більш високу межу пружності, низьку щільність, міцність, маловесни. До відмітних показників вуглепластиків також входить електропровідність, практично нульовий коефіцієнт лінійного розширення, корозійна стійкість, чутливість до точкових ударів, складність утилізації та повторного використання.

Найбільш термостійкі композиційні вуглеграфітові матеріали (вуглевуглепластики) створюють на основі вуглецевих волокон і вуглецевої матриці. Вони характеризуються тривалою здатністю витримувати дуже високі температурні режими (до 3100 ° С) в інертних або відновлювальних середовищах. Виготовити матеріали такого типу можна у різний спосіб. Перший передбачає просочення вуглецевих волокон фенолформальдегідною смолою, далі волокна піддають впливу дуже високих температур, результатом діяльності

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

яких є піроліз органічних речовин та утворення вуглецю. Цей процес багаторазово повторюють для надання матеріалу більш високої щільності та меншої пористості.

Другий спосіб отримання вуглецевого матеріалу полягає у прожарюванні графіту при високих температурах в атмосфері метану. При піролізі метану утворюється дрібнодисперсний вуглець, що закриває всі пори у складі графіту. Щільність графіту при цьому в 1,6 рази менша за щільність одержуваного матеріалу.

Область застосування вуглепластиків: машинобудування, ракетобудування, авіація, суднобудування, верстатобудування, нафтова та газова промисловість, металургія, виробництво космічної техніки в залізничному транспорті, для виготовлення медичної техніки.

В) Боропластика - композиційні матеріали, наповнювачем яких є борні волокна у вигляді монониток, джгутів, обвитих допоміжною скляною ниткою або стрічок, в яких борні нитки переплетені з іншими нитками. Борні волокна вводять у термореактивну полімерну матрицю. Одержуваний матеріал має високі показники за міцністю, жорсткістю, витривалістю, стійкістю до агресивних умов, тепло- та електропровідності. Рівень робочих температур та ресурс експлуатації виробів визначаються термостійкістю сполучного. У зв'язку з трудомісткістю процесу одержання борних волокон вартість їх виробництва дуже велика, що обмежує можливість їх широкого застосування .

Боропластики використовуються в авіаційній та космічній техніці в деталях, що піддаються тривалим навантаженням в умовах агресивного середовища, що дозволяє зменшити вагу конструкції, збільшити її жорсткість та підвищити експлуатаційну надійність виробу.

Г) Органопластики - композити, наповнювачами яких є органічні синтетичні, природні та штучні волокна у вигляді різноманітних матеріалів: ниток, джгутів, тканин, паперу та інших. Матрицею в термореактивних органопластиках є епоксидні, поліефірні та фенольні смоли та полііміди.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наповнювач в даному випадку становить майже половину матеріалу, в той час як в органопластиках на основі термопластичних полімерів - поліетилену, ПВХ, поліуретану та інших - варіюється в діапазоні - від 2 до 70%. Відмінні риси органопластиків: легше скло- і вуглепластиків, відносно висока міцність при розтягуванні, низька щільність, високий опір удару та динамічним навантаженням, низька міцність при стисканні та згині.

Ступінь орієнтації макромолекул наповнювача є основною складовою підвищення механічних характеристик органопластика. У більшості випадків, макромолекули жорстколанцюгових полімерів, подібних до поліпарафенілтерефталаміду (кевлару) орієнтовані в напрямку осі полотна, наслідком цього є їх висока міцність при розтягуванні вздовж волокон. Органопластики застосовують як обшивальний матеріал, з них виробляють деталі оболонкової форми через технологічність при операціях намотування. Монолітність структури забезпечує високий опір ударним та циклічним навантаженням, високу вібростійкість. З матеріалів, армованих кевларом, виготовляють засоби індивідуального бронезахисту.

Своє застосування органопластики знайшли у галузях, де потрібна особлива міцність та легкість: у машинобудуванні, автомобілебудуванні, авіа- та космічній техніці, радіоелектроніці та інших.

Д) Порошкові полімери. Дані полімери були винайдені першій половині ХХ століття американським ученим. До складу першого порошкового матеріалу – бакеліту, входило деревне борошно та полімер, які перебували під тиском до повного настання кристалізації. На сьогоднішній день відомо більше тисячі різновидів, що активно використовуються, і наповнювачів для даних полімерів. Асортимент наповнювачів величезний. Наприклад: крохмаль використовується як складовий елемент біорозкладних композитів; сажа є складовою поліетилену, гумових виробів полістеролу; тальк, нітрид бору, двоокис титану, алюмінієва пудра додаються в термореактивні смоли (підвищується теплостійкість та

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модуль пружності).

Е) текстоліти. Матеріали, винайдені на початку 20 століття, є багатошаровими полімерами на основі фенолформальдегідної смоли, армованої різними тканинами. Спочатку текстолітами покривали столи, далі їх сфера застосування значно зросла і з'явилася можливість створювати об'ємні деталі. Склад матеріалів, з яких складаються текстоліти, також збільшився за рахунок термоактивних та реактивних полімерів та різноманітних тканинних наповнювачів.

Композиційні матеріали із металевою матрицею. Такі матеріали формуються з матриці (мідь, алюміній, сталь) і наповнювача (волокна, що володіють стійкістю до температури і високим навантаженням на розтяг). Стійкість до високих навантажень і температури досягається при додаванні 1/10 від загальної маси матеріалів армуючих наповнювачів на основі бору, натрію, калію і т.д. Додавання до складу матеріалів порошоків на основі оксиду цирконію та торію дає можливість тривало працювати при температурі від тисячі градусів за Цельсієм і вище.

Введення в матеріал методом армування волокон (бору, вуглецю, натрію та ін), що мають різні хімічні властивості, дозволяють збільшити температурну стійкість деталі на 30% і вище.

Застосування пластичних наповнювачів при вмісті в матеріалі керамічних компонентів дозволяє зробити деталь більш стійкою до руйнування. Такі наповнювачі інтегруються в матеріал у різний спосіб, але з обов'язковою процедурою спікання: просочування волокон, об'єднання порошком, електроосадження та ін.

Ще один метод, винайдений у другій половині 20 століття, здатний підвищити стійкість до температури та руйнування - це армування матеріалів монокристаллами у вигляді ниток, завтовшки не більше 40 мкм. В основу монокристалів можуть бути покладені оксиди вольфраму, молібдену, берилію, алюмінію та ін. Цей метод широко поширений у космічній та ювелірній

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

промисловості.

Кермети. Різновид волокон, які можна застосувати для зміцнення керамічних виробів невеликий. Це хімічними властивостями кераміки. Однак, застосувавши придатні для роботи волокна (наприклад, металеві, за рахунок низького зростання опору до розтягування), можна досягти високоміцного композитного матеріалу. Керамікометалеві полімери, або скорочено, кермети мають високу температурну стійкість. Ці полімери виходять при спіканні під високим тиском і використовуються в тих галузях промисловості, де необхідна висока стійкість до температури, різких теплових ударів та зносостійкість при терті.

Полієфірефіркетон (PEEK).Сімейство матеріалів KETRON PEEK засноване на полієфірефіркетоновій смолі. Цей сучасний напівкристалічний матеріал забезпечує унікальну комбінацію високих механічних властивостей, термостійкості та відмінної хімічної стійкості.

Основні характеристики:

- дуже висока максимально допустима робоча температура на повітрі (250 ° С при постійному впливі і до 310 ° С при короткочасному впливі);
- Стійкість до різних видів випромінювань;
- матеріал має низьку горючість;
- Стійкість до реактивів;
- Низькі значення коефіцієнта тертя;
- стійкість до усадки і високі характеристики міцності при роботі, навіть при температурах, близьких до плавлення матеріалу.

Нерідко полієфіркетон використовують замість металевих сплавів, оскільки він здатний до витримування високих навантажень, пов'язаних із явищами тертя та зношування.

Додавання тефлону (PTFE), графіту та вуглецевих волокон дає "Підшипникову Марку" КЕТРОНА РІСК. Його відмінні типологічні якості (низьке тертя, довговічність на знос, високі межі критерію Тиск-Швидкість)

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роблять цю марку ідеальним матеріалом для застосувань, де суттєві знос і тертя.

1.4. Вибір деталі та її характеристика

Шкворневі вузли мають високі показники зносу, то вони і були обрані як досліджувані об'єкти автомобілів Scania R серії і Volvo FE серії. Слід зазначити, що у цих транспортних засобах є чимало втулок, які можна відновлювати методом ремонтної деталі із заміною заводського матеріалу (пластик, бронза) на композиційний матеріал.

За рекомендаціями офіційних дилерів автомобілів, шкворневі вузли після досягнення непрацездатного стану підлягають заміні. При цьому виробники даних вузлів не випускають окремо втулки, тому існує можливість тільки повної заміни елемента (шкворневий вузол автомобіля Volvo FE серії – 20 000 грн, для автомобіля Scania R серії – 25 000 грн – прайс дилерів за вересень 2019 року). Замінюючи тільки втулку, можна отримати економію понад чотири кілограми (маса шворня) металу, що відноситься до технологій ресурсозбереження. За рахунок застосування подібної технології можна зберегти значну грошову суму для підприємства, яка еквівалентна шістнадцяти кілограмам стали тільки з одного транспортного засобу. Подібних вузлів в автомобілі є ще достатньо.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок. 1.2. Шкворневий вузол автомобіля Scania R серії



Рисунок. 1.3. Шкворневий вузол автомобіля Volvo FE серії

Підвищення ресурсу автопоїздів за рахунок збільшення довговічності вузлів тертя ходової частини (шкворневих вузлів), шляхом розробки способу відновлення за допомогою композиційного матеріалу з покращеними властивостями поліефіркетону є метою даної роботи.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. МОДЕЛЬ ТЕРТЯ В ОПОРАХ ШВОРНЕВОГО ВУЗЛА АВТОМОБІЛЯ

2.1. Модель тртя в контактї рухомих елементів шворневих вузлів автомобіля

Динаміка переміщення керованих коліс багато в чому залежить від ступеня зносу деталей, що труться в шкворневих вузлах. Якщо розглядати визначення сили тертя з математичної точки зору, то її можна виразити у вигляді функції від швидкості, з якої переміщується шкворень та тиску всередині втулки та шкворня. При цьому сила тертя $F_{тр}$ може бути чисельно дорівнює силі Штрибека. У свою чергу кулонівська сила є сумою $F_{тр}$ спокою і F пропорційної сукупності двох тисків. Сукупність сил Штрибека і кулонівської сили можна об'єднати через страгування, що виражена формулою (2.3).

$$F_{тр} = \begin{cases} F_C \cdot (1 + (K_{brk} - 1) \cdot e^{-c_v |v_{nгр}|}) \cdot \text{sign}(v_{nгр}) + f_{vfr} \cdot v_{nгр} & \text{при } |v_{nгр}| \geq v_0 \\ K \cdot v_{nгр} & \text{при } |v_{nгр}| < v_0 \end{cases}$$

де: F_C -кулонівське тертя, K_{brk} -коефіцієнт зміни сили страгування, c_v -коефіцієнт, що характеризує інтенсивність спаду сили страгування, f_{vfr} -коефіцієнт в'язкого тертя.

Кулонівське тертя визначається за наступною залежністю

$$F_C = F_{pr} + f_{cfr} \cdot (p_A + p_B)$$

Коефіцієнт кулонівського тертя залежить від в'язкості консистентного мастила за наступною залежністю :

$$f_c = A_r \cdot p^{\frac{2}{3}} \cdot v^{-0.4} \mu^{\frac{1}{6}} + A_{ж} \cdot p^{-\frac{1}{2}} \cdot v^{\frac{1}{2}} \cdot \mu^{\frac{1}{2}}$$

где: μ – коефіцієнт динамической вязкости жидкости.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Область лінійної моделі тертя вводиться для згладжування розриву функції за нульової швидкості .

Результати експериментальних досліджень шкворневих вузлів свідчать, що в деяких випадках може спостерігатися нестаціонарність роботи втулок шкворня .

Схематичне зображення ущільнення шкворневого вузла, що застосовується у конструкції кермового управління, показано на рис. 2.3.

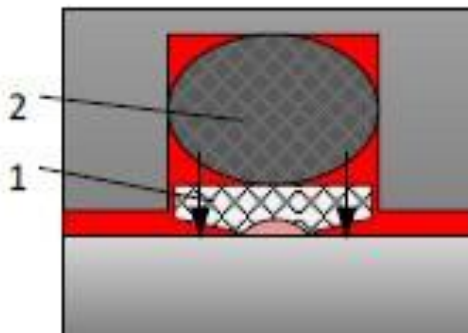


Рисунок 2.1 Схема ущільнення у нерухомому стані.

1- Змінний елемент (втулка); 2- натискний елемент (шворень).

При контактному тиску настає пластична деформація, і контактна поверхня ущільнення шкворневого вузла набуває форми поверхні контртіла. При відносному переміщенні завдяки конусній частині ущільнення інтенсивно створюється плівка гідродинамічного мастила (див. рис. 2.4.), яка викликає часткове розвантаження основного ущільнювального елемента, знижуючи тертя .

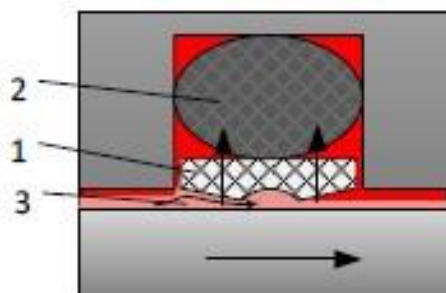


Рисунок 2.2 Схема ущільнення у відносному русі. 1- Змінний елемент (втулка); 2- натискний елемент (шкворень); 3-консистентне

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мастило.

Для уточнення математичної моделі тертя, як гіпотеза було прийнято, що нестационарність у характеристиці тертя може бути викликана нерівномірністю роботи шкворневого вузла. Передбачається, що шкворневі вузли працюють за аперіодичним законом із певною постійною добою. Коефіцієнти тертя вибираються за результатами випробувань за малих швидкостей відносного переміщення. Постійна часу вибирається за результатами випробувань за більших частотах .

Таким чином, виводиться рівняння, що описує роботу шкворневого вузла :

$$\frac{dF_{тр}^{НС}}{dt} = \frac{1}{T_{упл}} \cdot (F_{тр} - F_{тр}^{НС})$$

Де $F_{тр}$ -сила страгування, t -час роботи ущільнення, $F_{тр}^{НС}$ -сила тертя з урахуванням динаміки роботи ущільнень, $T_{упл}$ -постійна часу.

На підставі рівняння сплановано та проведено експерименти.

2.2. Планування експерименту на тертя поверхонь шкворневого вузла, що сполучаються.

На сьогоднішній день шкворневий вузол прийнято відносити до елементів кермового керування транспортних засобів. До складу вузла входять встановлений на верхньому і нижньому шкворнях кульової опори поворотний кулак і кришки, при цьому кожен шкворень складається з двох деталей: деталі зі сферичною виїмкою та чашки кульової опори, які контактують між собою за допомогою самої кулі. Недоліками відомого технічного рішення є наявність поліамідного або бронзового вкладишів, які в процесі експлуатації під впливом консольних знакозмінних ударних навантажень від гальмівного моменту та моментів поперечних сил, що

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діють на колесо та поворотний кулак, пов'язані з шкворнем поверхні вкладишів, чашки та сфери, конусної частини самого. зношуються і з'являються значні люфти, внаслідок чого, порушується кут розвалу та сходження коліс,

Для планування математичного експерименту необхідно визначити, як температура і сила тертя в залежності від часу впливати на матеріал. Для проведення експерименту було складено графіки залежностей, зображених на Рисунку 2.3. для заводської бронзової втулки (БР ОЦС 5-7-12) та поліефіркетону по залишеній поверхні.

При роботі бронзової втулки по залишеній поверхні стійкий стан настає лише до 16 хвилин експерименту. Різкі перепади значень коефіцієнта тертя характеризуються певним часом опрацювання сполучення.

Аналізуючи роботу поліефіркетонкової втулки по сталевому шворню можна констатувати таке: пористість матеріалу через попадання продуктів зносу підвищується, що спонукає до утворення перехідних зон. Через це відбувається збільшення коефіцієнта тертя та температури протягом першого часового проміжку досвіду. З графіків Рисунку 2.3. видно, як відбувається зниження показників, наступна стабілізація температури та коефіцієнта тертя. При взаємодії матеріалів, що розглядаються, можуть спостерігатися такі процеси:

- при зносі поверхонь, що труться, будуть зніматися окисні плівки, що призведе до збільшення поверхневої активності матеріалів;

- у зонах торкання поверхонь деталей, відбувається накопичення та диспергування частинок зносу.

При цьому чим вище поверхнева енергія, тим більше буде дисперсність частинок зносу. Цей відбувається за рахунок збільшення товщин захисної плівки і частинок, що адсорбуються, так як Важливу роль у зниженні тертя грає розмір частинок зносу. Чим більша дисперсність, тим більшою поверхневою енергією має маса частинок зносу. Велика поверхнева енергія

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечує велику щільність адсорбції частинок на поверхнях, що контактуються, і, відповідно, велику міцність захисної плівки. Щоб зробити дослідження на аналіз взаємодії двох матеріалів, був використаний металографічний мікроскоп (рис. 2.4.).

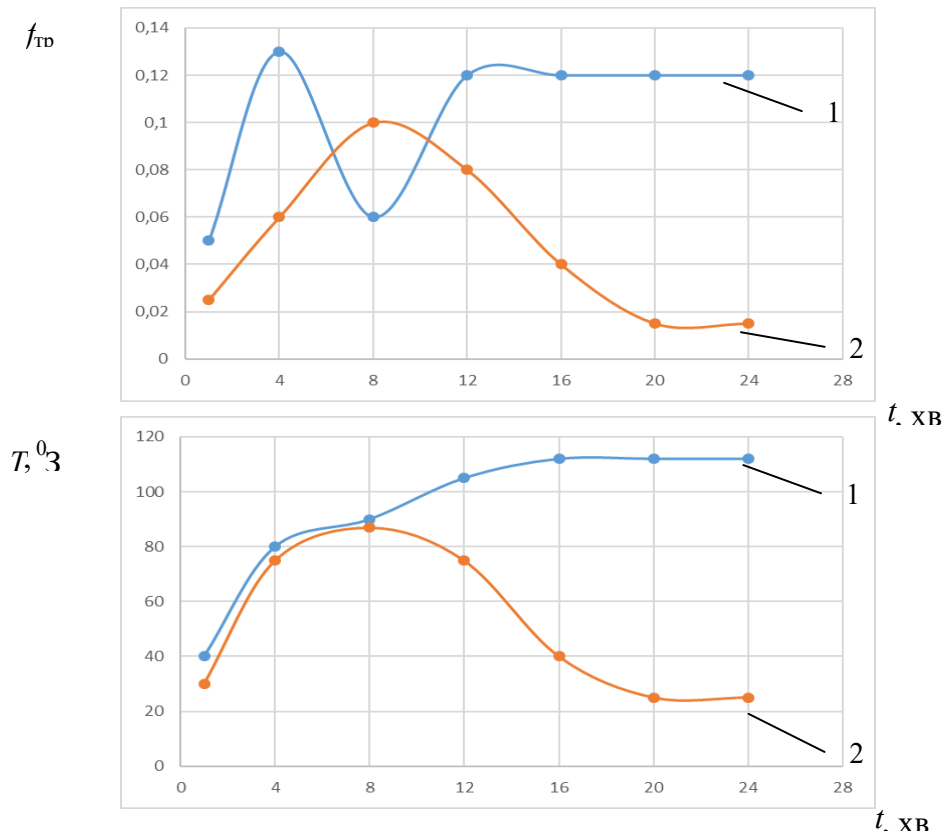


Рисунок 2.3 Зміна триботехнічних характеристик під час тертя Бр ОЦС 5-7-12 (1) і поліефіркетону (2) за сталеву поверхню.

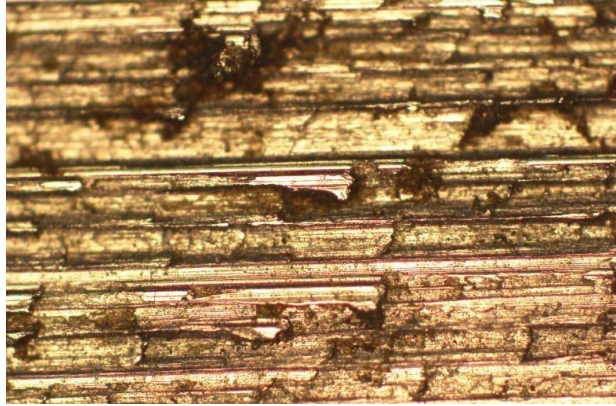


Рисунок 2.4 Мікроскоп Olympus GX52

Рисунок 2.5 відображає, як виглядає поверхневий шар зразка зі сталі при взаємодії з бронзовою (рисунок 2.5 а) та з поліефіркетонною (рисунок 2.5 б) втулкою при різній кратності збільшення мікроскопа. Аналізуючи зображення на малюнках, можна дійти невтішного висновку: оскільки значення енергії адсорбуючого впливу менше кінетичної, відбувається видалення великих за розміром частинок зносу. При цьому частки дрібного розміру утворюють захисну плівку і залишаються на поверхні. Відбувається значна пластична деформація, внаслідок якої знімаються поверхневі шари та окисні плівки матеріалу.

Рисунок 2.6 показує, як виглядає поверхневий шар сталевого зразка активації режиму зниженого зносу. Відповідно до рисунку 2.6, утворення окисної плівки відбувається у місцях, де фіксуються максимальні значення поверхневої енергії. Там спостерігається поверхня із дробленням своєї структури. При цьому плівка має уривчастий характер і не може бути утворена штучно. При роботі з'єднання в режимі зниженого тертя на вибір області навантажень впливає поверхнева енергія. Так, на графіках (рисунок 2.7) наведено залежність триботехнічних характеристик при терті бронзи та поліефіркетону за сталеву поверхню від навантаження у трибоконтаті. Виходячи з побудованих графіків, можна побачити, що навантажувальні режими роботи знаходяться в межах від 12 до 16 МПа, інші значення це приробіток поверхонь, що труться. Зміщення діапазону зниженого тертя для поліефіркетону в напрямку більш високих питомих навантажень, пояснюється майже на 30 відсотків щодо міді, меншою поверхневою енергією.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

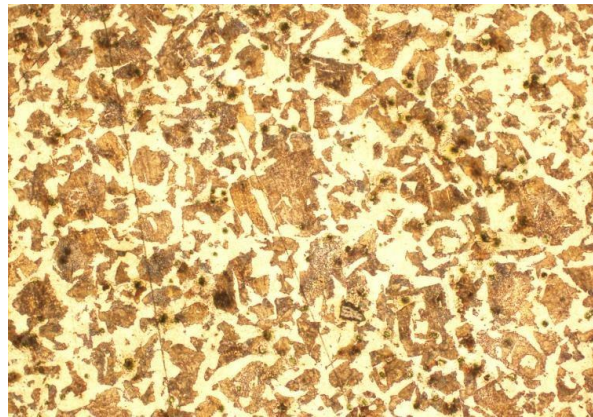


а) при взаємодії із Бр ОЦС 5-7-12



б) при взаємодії з поліетеркетоном. Збільшення: x 1000

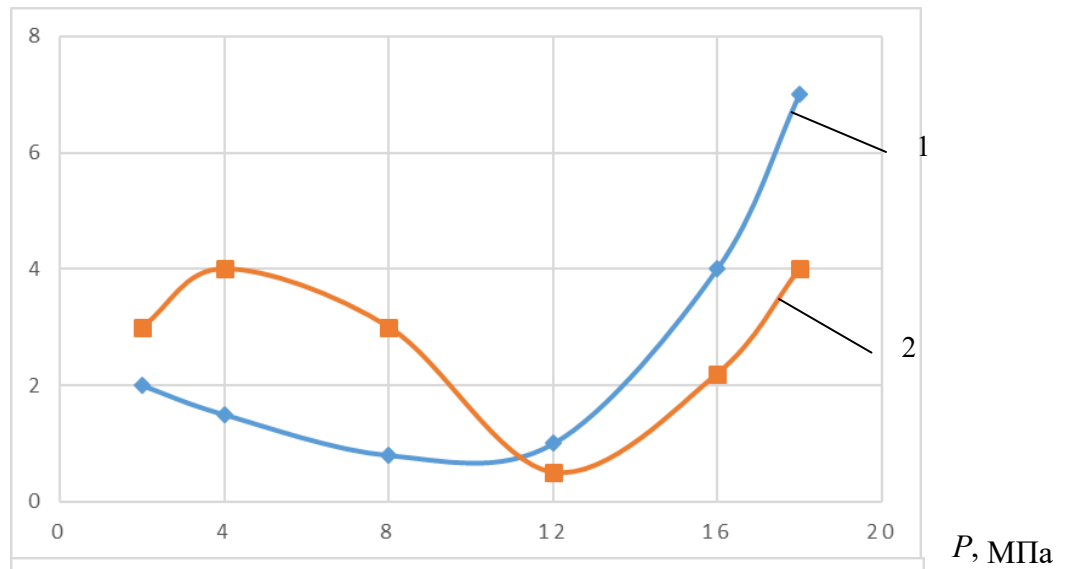
Рисунок 2.7 Поверхневий шар зразка зі сталі



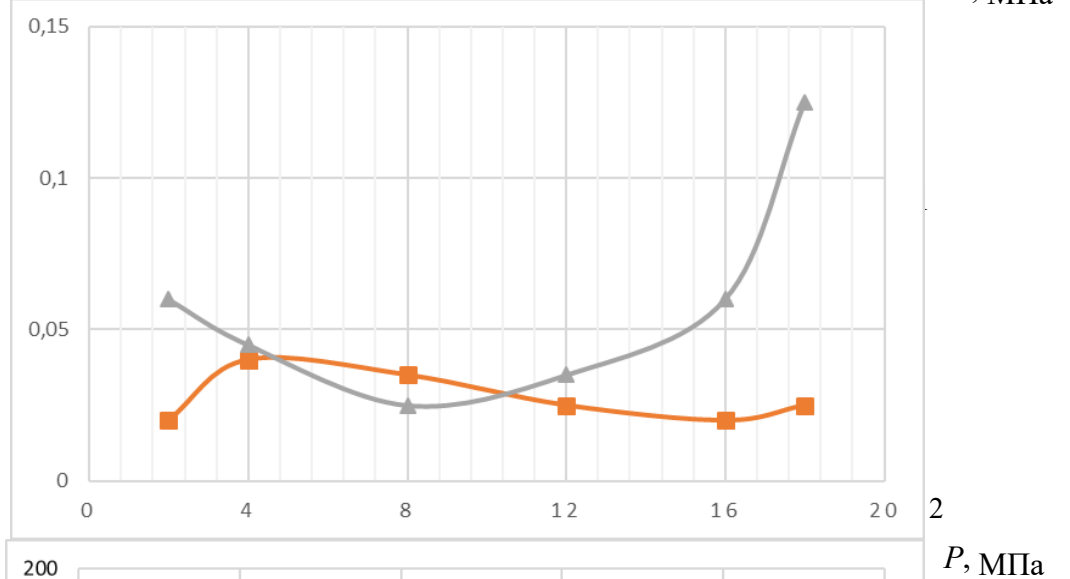
Збільшення: x 1000

Рисунок 2.6 Поверхневий шар сталевого зразка при активації
зниженого режиму зносу

$J \cdot 10^{-6}$,
МКМ/М



f_{TP}



$T, ^\circ\text{C}$

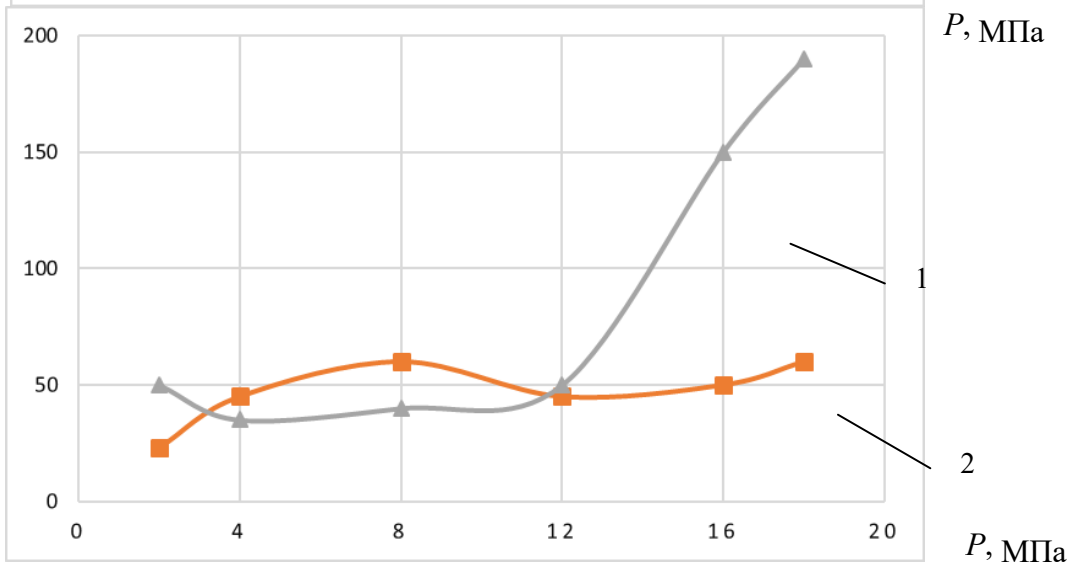


Рисунок 2.7 Залежність триботехнічних характеристик під час тертя Бр ОЦС 5-7-12(1) і поліефіркетону(2) за сталеву поверхню від навантаження в

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

трибоконтакті.

Гіпотеза утворення на поверхні тертя захисної плівки дає висновок, що режим зниженого тертя має місце, коли він обмежений областями тисків. Режим зниженого тертя спостерігатиметься за умови, коли кількість частинок зносу буде достатньою на поверхневому шарі матеріалу. Розміром частинок зносу, активністю поверхневого шару та міцністю характеризується максимальне значення витривалості захисної плівки.

На підставі висунутої гіпотези, у процесі дослідження структурно-енергетичного механізму, було виявлено, що базовим процесом для утворення захисної плівки є робота сили тертя :

$$A = f_{mp} \cdot N \cdot V_{ck} \cdot t,$$

де А-робота сил тертя, Дж, N -сила взаємодії поверхонь тертя, V_{ck} - відносна швидкість ковзання поверхонь тертя, t-час взаємодії поверхонь тертя, с.

До них відносяться: навантаження в трибоконтакті, час взаємодії поверхонь тертя та швидкості ковзання.

Енергія поверхонь тертя є визначальним фактором при утворенні щільної захисної плівки та структурних перетворень системи тертя .

Для того, щоб побудувати залежності характеристик тертя від факторів, що на них впливають, були проведені однофакторні експерименти на триботехнічному комплексі, заснованому на базі машини тертя. У порівнянні були обрані поліефіркетон та бронза, з якої виготовлена заводська втулка.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНО ПРОЦЕСУ ВІБРОНАКАТУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ШВОРНЕВИХ ВТУЛОК

3.1. Визначення структурної будови матеріалу, що виготовляється

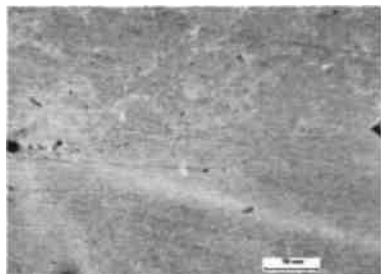
Дослідження мікроструктури матеріалу виконується для оцінки впливу термодформаційного циклу на місці контакту поліефіркетонної втулки з металевим шкворнем.

Механічна обробка втулки виконується на токарному верстаті. Шорсткість встановлюються в межах $Rz = 20 \dots 170$ мкм для кращого зчеплення. Дослідження мікроструктури виконувалося на мікроскопі марки Leica DM8000 зі збільшенням у 1000 разів. При виконанні дослідження розглянуто:

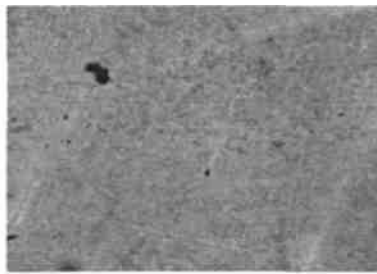
- кожна пора на площу;
- зразок на пористість

Необхідно виділити, що під час проникнення частинок піску в матеріал, зростає його пористість, формуються порожнечі, як наслідок – мікротвердість деталі зростає. При дослідженні матеріалів на Рисунку 3.1. можна зробити висновок про те, що поліефіркетон має набагато меншу пористість, ніж пластикова втулка або бронзова при однаковому ресурсі роботи (заявлено гарантійний ресурс пластикової та бронзової втулки).

Бронза



Поліефіркетон



Пластик

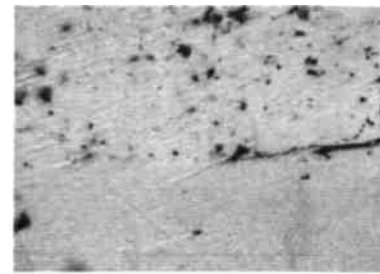


Рисунок. 3.1 Структура матеріалів після пройденого гарантійного ресурсу 40 тис.км.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виникає перехідна зона, в результаті дифузії призводить до забезпечення жорсткості матеріалів, що з'єднуються і в процесі експлуатації не дає допустити відшарування покриття. При цьому складовою покриття є пори. При дослідженні матеріалів виявлено, що геометрична форма пір абсолютно різна та їх освіта відбувається як при вигорянні частинок, так і при неповному контакті.

Розглянутий матеріал поліефірефіркетон (Ketron РЕЕК) – застосовується там, де необхідна підвищена стійкість до реагентів та температури. Даний матеріал має високу робочу температуру в діапазоні 240-320 градусів за Цельсієм, а також міцністю та твердістю.

Крім цього, він не проводить струм і не горить .

3.2. Технологія вібронакатування втулок шворневого вузла

Один із прогресивних перспективних напрямів підвищення якості машин та приладів - перехід від шорстких поверхонь до поверхонь із регулярним мікрорельєфом. Створення регулярних мікрорельєфів нині найбільш надійно та ефективно здійснюється методом вібраційного накочування. Далі наведені схеми вібронакатування поверхонь різної форми та результати повнофакторного експерименту з використанням вібраційної головки для нанесення мікрорельєфу на внутрішню поверхню втулок шворневого вузла рульового управління, виконаних з композиційних матеріалів. На основі експерименту можна зробити висновок, що застосування вібронакатки корисне для деталей будь-якого матеріалу.

Від шорсткості поверхонь деталей залежать усі експлуатаційні властивості машин, приладів, апаратів і насамперед їх надійність і довговічність. Вирішення задачі оптимізації шорсткості поверхні ускладнюється тим, що всі традиційні методи фінішної обробки створюють

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхні з нерегулярним мікрорельєфом. Регуляризація мікрорельєфів створює необхідні передумови для розрахункового нормування мікрогеометрії поверхонь деталей .

Метод вібраційного накочування дозволяє дуже тонко і у великих межах регулювати висотні, крокові, майданні розміри регулярного мікрорельєфу, а також взаєморозташування його нерівностей, варіюючи лише режим токарного, фрезерного або іншого універсального металообробного верстата, на якому встановлюється нескладна і недорога у виготовленні ви. На основі суворого аналітичного зв'язку між режимом вібронакативання та чисельними значеннями параметрів регулярного мікрорельєфу можна аналітично розраховувати та прогнозувати будь-який регулярний мікрорельєф за ГОСТ «Поверхні з регулярним мікрорельєфом», оптимальний для тих чи інших умов експлуатації поверхні деталі .

Параметр повністю регулярного мікрорельєфу (ПРМР) - кількість виступів та западин, що припадають на квадрат 25x25мм, розраховують за формулою:

$N=625i/Pd_3S$, (3.13), а кут нахилу канавок щодо осі циліндричної заготовки А- за формулою:

$$\text{tg}A=4Li/Pd_3, (3.14)$$

де d_3 -діаметр оброблюваної заготовки, $i=\text{пдв.х}/n_3$, L - амплітуда осциляцій інструменту, S-подача; n_3 - швидкість обертання заготовки, пдв.х-число подвійних ходів інструменту.

Як видно зі схем на Рисунку 3.3, сутність процесу вібронакатування полягає в тому, що в його основі лежить не різання, а тонке пластичне деформування поверхневих шарів оброблюваного матеріалу високотвердим деформуючим елементом (куляю або твердосплавним, або алмазним наконечником), пружно вдавлюваний і таким, що здійснює щодо неї складний рух за однією зі схем. Вид мікрорельєфу, а також значення його параметрів можна дуже тонко і у великих межах варіювати, змінюючи

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

співвідношення швидкостей рухів заготовки n_3 і деформуючого елемента (S , $n_{дв.х.}$, L).

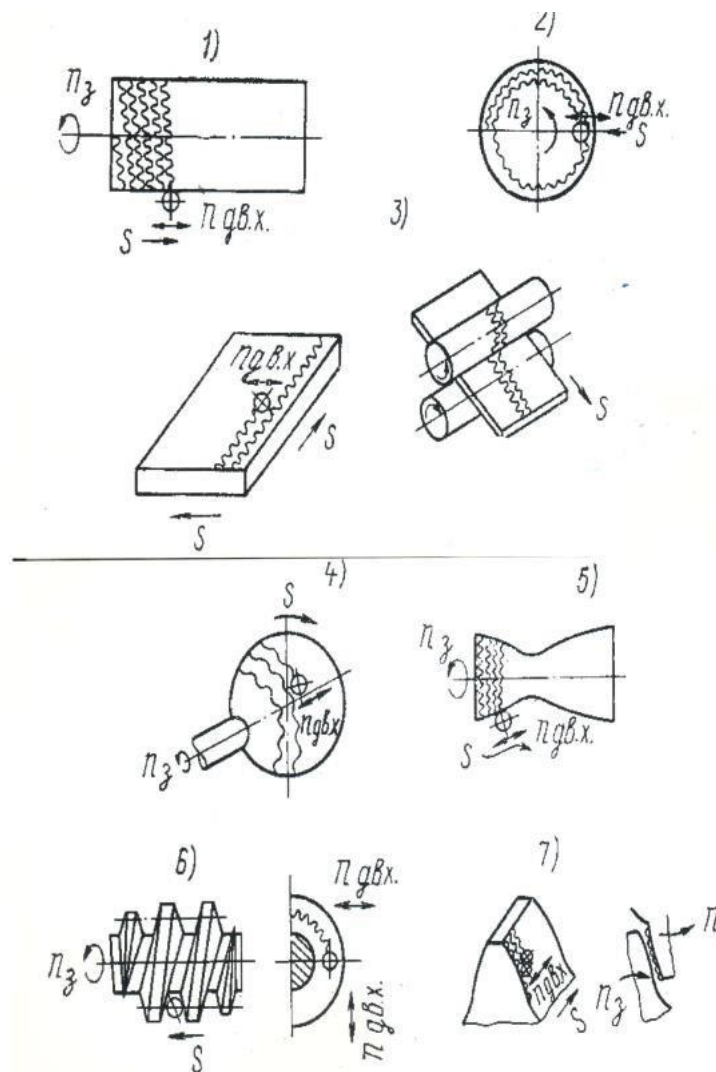


Рисунок. 3.2 Схеми вібронакаткування поверхонь різної форми (1.-циліндрична, 2-торцева, 3-плоска, 4-сферична, 5- профільна, 6- гвинтова, 7-евольвентна).

Великою кількістю досліджень вже виявлено оптимальні регулярні мікрорельєфи робочих поверхонь багатьох деталей, що призвело до суттєвого покращення різних їх експлуатаційних характеристик:

- підвищення контактної твердості;
- підвищення корозійної міцності;
- поліпшення опірності фретингу корозії;
- втрати на тертя знижуються;

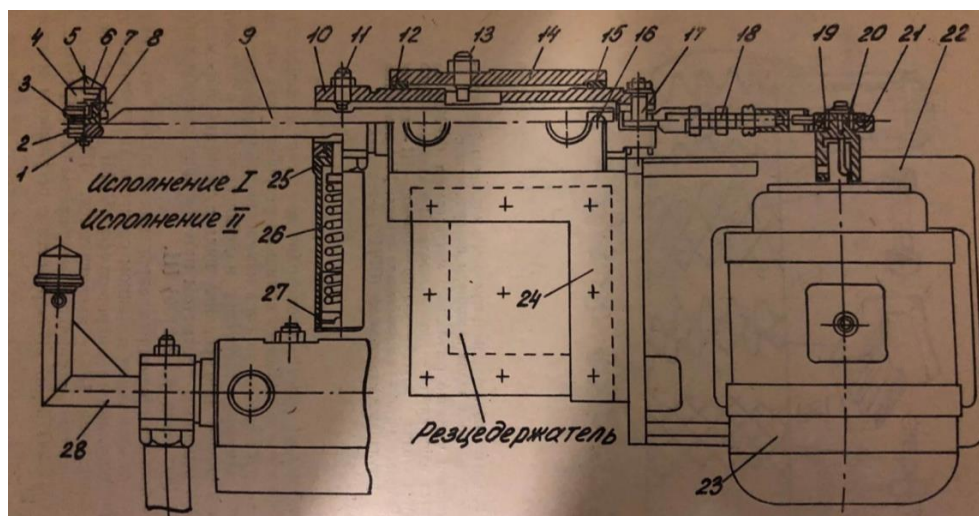
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- плавність ходу у парах підвищується;
- відсутність утворення задирів, рисок та заклинювання;
- зменшення за часом прироблюваності деталей; □ поліпшення склеюваності.

Вібронакатування зокрема забезпечило:

1. Поліпшення прироблюваності та збільшення ресурсу роботи гільз циліндрів та вкладишів двигунів у 1,5-1,6 раза;
2. Підвищення жорсткості листів та стрічок, прокатаних у вібронакатанних валках на 25-30%, втомної міцності на 15-20%, виключення необхідності додаткової абразивної та іншої обробки;
3. Підвищення гідрощільності та зносостійкості гумово-манжетних ущільнень до 2-2,5 разів.

В даний час основним методом виявлення оптимального мікрорельєфу, комплекту та чисельних оптимальних значень параметрів є експериментальне дослідження на основі багатofакторного експерименту.



- 3.3 Схема універсальної віброголовки. 1-гвинт; 2-стопорний гвинт; 3-різьбове кільце; 4-сепаратор ковпачок; 5-робоча куля; 6-підшипник; 7-вісь; 8-корпус; 9 - шток; 10,14,20-втулки; 12-15 вкладиші; 16-штифт; 17 - гайка; 19 эксцентрик; 21-шпонковий паз; 22-кріплення; 23-двигун; 24-кутник; 25 кожух пружини; 26 - пружина для тарування; 27 - пробка; 28-шток

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На Рисунку 3.5 наведено графіки експериментально виявлених залежностей різних експлуатаційних властивостей від стандартних та нестандартних параметрів шорсткості та регулярних мікрорельєфів поверхні деталей. Графіки показують, що багато залежності нелінійні (знос, міцність посадок, плавність ходу, гідрощільність) і ділянка оптимуму дуже мала, що вимагає ретельного експериментального його виявлення. Саме в подібних випадках, коли на стадії проектування з тих чи інших причин не виявляється і, як наслідок, не нормується конструктором оптимальна шорсткість або регулярний мікрорельєф, в процесі експлуатації виробу – патологічні види тертя та зносу (надири, задираки, і як наслідок відмови та надмірно швидке зношування, порушення плавності ходу та ін.).



Рис. 3.4 Процес вібронакатки

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

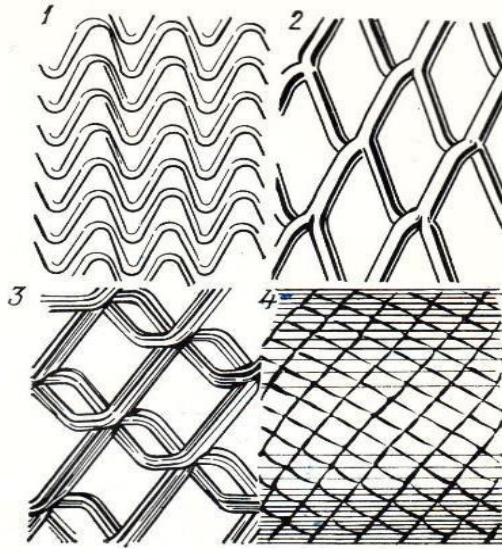


Рисунок 3.5 Основні види регулярних мікрорельєфів:

1- з канавками, що стосуються; з недоторканими канавками; 3-з канавками, що перетинаються; 4- повністю новий мікрорельєф.

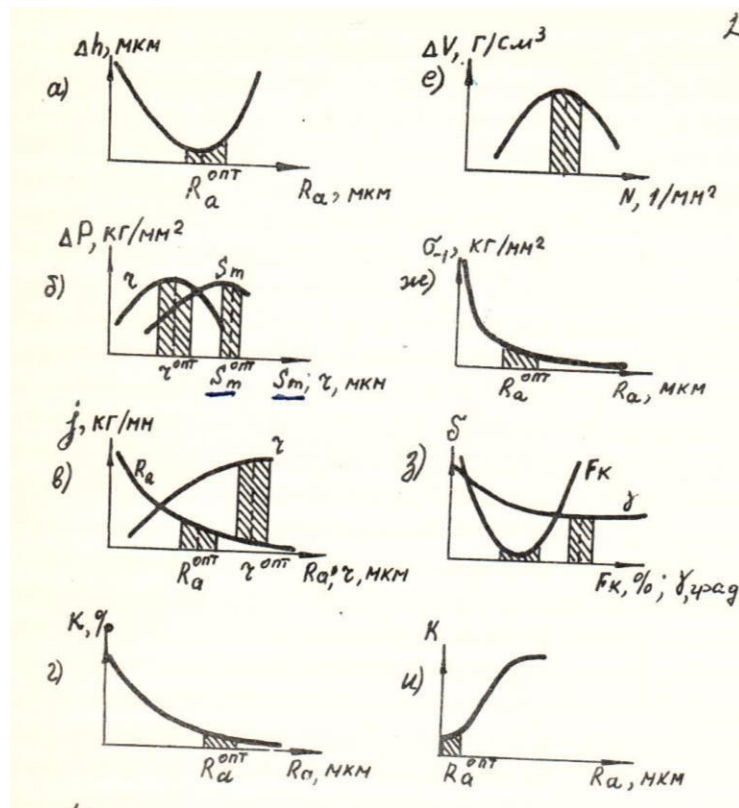


Рисунок 3.6 Типові графіки експериментально виявлених залежностей

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

експлуатаційних властивостей деталей від різних стандартних параметрів та нестандартного радіусу заокруглень вершин поверхонь г: а-знос, б-міцність посадок, в-контактна жорсткість, г-корозійна стійкість, е- гідрощільність, ж- втомна міцність, з-плавність ходу, і-коефіцієнт втрат у хвилеводах НВЧ.

Таблиця 3.1 Зміна основних параметрів шорсткості внутрішньої циліндричної поверхні на заготовках із досліджуваних матеріалів віброкативанням

Матеріал		ПЕВС 17703010	Поліефіркетон
Обробка поверхні до заготівлі до віброкативання	Вид обробки	Розточування отвору	Розточування отвору
	Досягнутий квалітет	8	9
Ra, мкм	до віброкативання	1,9	1,72
	після віброкативання	1,11	0,69
Зміна параметра Ra		Зменшення на 42%	Зменшення на 60%
Rz, мкм	до віброкативання	18,47	13,15
	після віброкативання	8,39	4,82
Зміна параметра Rz		Зменшення на 60%	Зменшення на 63%

У цій роботі був проведений аналіз мікроструктури 2 порівнюваних матеріалів ПЕВС та поліефіркетону, з яких виготовлені втулки шкворневого вузла рульового управління вантажного автомобіля Scania R серії. Вимірювання проводилося за 2 параметрами Ra (значення досліджуваного профілю з можливим відхиленням, мкм) і Rz (висота поверхонь, що вимірюються по 10 точках, мкм). Результати аналізу наведено у таблиці 3.2. Вимірювання проводилися за допомогою профілактографа ЦП-17 ГОСТ 170623. Аналіз мікроструктури показав, що перспективність та ефективність у науці та техніці напряму регуляризації мікрорельєфів поверхонь деталей машин приладів машин та апаратів безумовні.

3.3. Визначення твердості по довжині та товщині покриття

Були виконані контрольні вимірювання з метою визначення твердості досліджуваних зразків матеріалів за методом Роквелла в поздовжньому напрямку на довжині 35мм і різній товщині від 0,5 до 2мм з кроком 0,5 мм.

У кожній точці кількість досліджень становила не менше трьох. З урахуванням специфіки приладу число контрольних вимірювань склало вісім одиниць з кроком 3мм. Далі було виведено середнє арифметичне контрольне вимірювання. Наслідуючи метод Роквелла, шорсткість поверхні склала не більше 8 мкм. Навантаження при випробуванні становили 990 Н. Похибка приладу знаходилася в межах однієї одиниці твердості. За вимогами ДЕРЖСТАНДАРТ шорсткість у місці вимірювання твердості не повинна перевищувати значення 2 мкм, тому було виконано попереднє шліфування за допомогою полірувальної пасту Autosol.

На Рисунку 3.8. представлені графіки дослідження з твердості трьох розглянутих зразків із заводського пластику ПЕВД 17703-010, бронзи (БрОЦС5-7-12) та поліефіркетону (Ketron РЕЕК 1000).

За підсумками спостережень, встановлено незначну зміну за товщиною

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

покриття, при цьому, твердість у середині на всіх трьох зразках стає меншою, ніж по краях зразків. Поліефікетон має більш високу твердість (НВ-130) порівняно з іншими матеріалами.

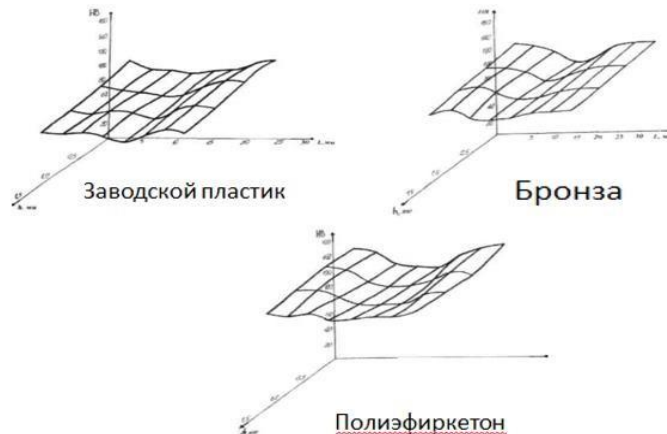


Рисунок 3.7 Дослідження жорсткості композиційних покриттів

Вимірювання мікротвердості за площею покриття виконано за ГОСТ 9450-80. Даний вимір необхідний перед використанням того чи іншого матеріалу у важко навантажені вузли тертя. Дослідження проводилося за шириною і довжиною зразків, оскільки мікротвердість немає залежність від пористості матеріалів. Вимірювання мікротвердості визначалося шляхом тиску алмазної піраміди з кутом 136 градусів у поверхню випробуваного матеріалу, яка була задалегідь відшліфована. Навантаження перебували в межах 10-2100 мН (Рисунок.3.8).

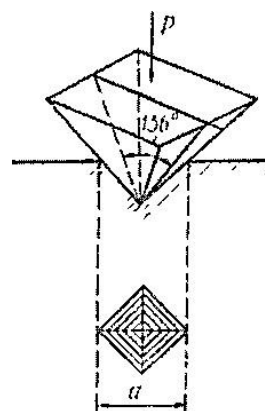


Рисунок. 3.8 Схема випробувань на мікротвердість за Віккерсом

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Хімічний склад присадок поліефіркетон може змінювати положення частинок, звідси пряма залежність величини мікротвердості покриття досліджуваного матеріалу, яка може бути в широкому діапазоні. Мікротвердість визначалася за трьома вимірами в кожній точці. При цьому тиск на піраміду знаходився в межах від 60 до 100г. Дослідження виконувалися на приладі ПМТ-4. Відповідно до проведених вимірювань, можна зробити висновок про межу плинності кожного матеріалу, що розглядається.

На рисунках 3.10, 3.11, 3.12. представлені графіки, створені у програмі Surfer, відповідно до отриманих вимірів. Графіки наочно показують, що заводський пластик має найгірші показники мікротвердості і, як наслідок, втулка з цього матеріалу найшвидше вийде з ладу. Зразки з бронзи і поліефіркетону мають практично однакові показники мікротвердості ($HV=1250...1450$). Наслідком цього буде те, що втулки з цих матеріалів матимуть більш тривалий ресурс, порівняно із заводським пластиком марки ПЕВС 17703-010.

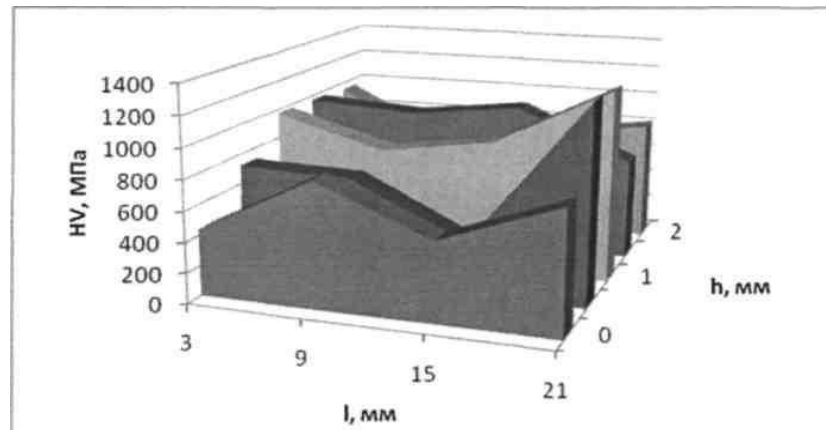


Рисунок. 3.9 Мікротвердість пластику

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

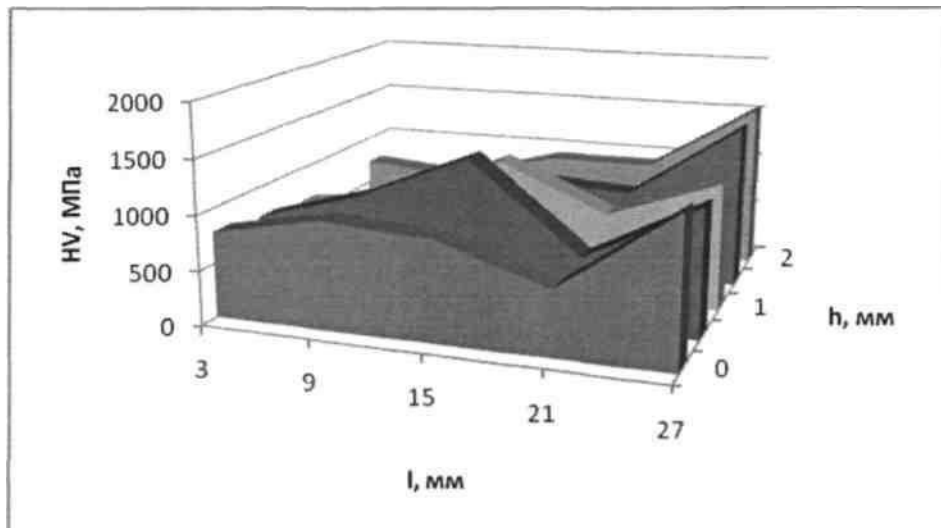


Рисунок. 3.10 Мікротвердість бронзи

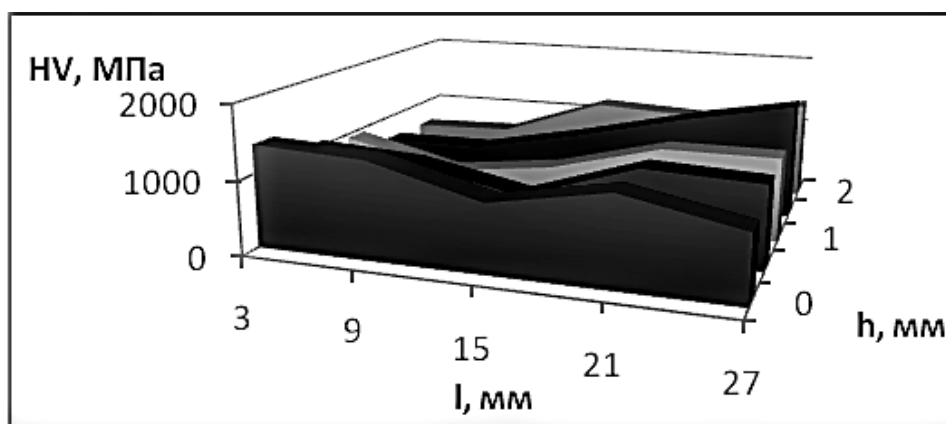


Рисунок 3.11 Мікротвердість поліетеркетону

3.4. Визначення пористості покриття

При проведенні вимірювання пористість розмір зразка повинен бути не менше 0,5 см³. Водночас поверхня випробуваного зразка має бути знежирена. Зразки були виконані у формі кілець, з внутрішнім діаметром, що повторює розміри шкворневих вузлів рульового управління двох автомобілів (45 мм і 40,5 мм відповідно). Для того, щоб визначити вагу зразка, були взяті електронні ваги марки ВСТ-600/0,01.

Під час виконання досліджень матеріалу на пористість необхідно обов'язково виконувати певні умови, а саме:

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- температура повітря при випробуванні повинна бути в межах від 10 до 35 градусів за Цельсієм;
- використання лише дистильованої води;
- Діаметр нержавіючого дроту не більше 0,25мм;
- Мінімальна кількість витків нержавіючого дроту біля кошика; - фільтрований папір та парафін згідно з ГОСТом.

Щоб визначити щільність, зразки до 5 см³ похибка 0,001 р., понад 0,01 г. Пори формування просочують у парафіні (до того моменту як бульбашки перестануть утворюватися), завдяки чому вони закриваються. Після просочування відбувається висушування папером, до того часу, поки маса формування залишиться незмінною. Далі відбувається процес зважування повністю зануреного формування у посудину з дистильованою водою, так, щоб спостерігалася відсутність бульбашок повітря. Похибка вимірювання температури трохи більше одного градуса Цельсія. Щільність формування обчислюється за такою формулою:

$$\rho = m_1 * \rho_B / (m_2 - m_3), \quad (3.16.)$$

де m_1 -зважена в повітрі маса формування, г; m_2 , m_3 зваженої в повітрі та воді маса формування, г;

ρ_B - Щільність води, г/см³.

Отримані результати після проведення дослідження відображено у таблиці 3.2.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 Отримані дані дослідження на пористість покриттів

№	Матеріал	$\rho_{к}$, г/см ³	h, мм	$m_{возд}$, Г	$m_{води}$, Г	ρ , г/см ³	П, % (пористість)
1	БрОЦС5-7-12	7,8	3,15	5,3285	4,4205	5,87	24,7
2			3,90	5,7850	4,8603	6,26	19,7
3			3,0	4,5975	3,7972	5,74	26,4
4	ПЭВД 17703-010	7,7	3,3	5,2065	4,2810	5,63	26,9
5			4,0	6,7287	5,7250	7,21	6,4
6			3,2	5,5723	4,7501	6,78	11,9
7	Ketron РЕЕК 1000	7,56	3,2	5,4943	4,7033	7,1	7,7
8			2,8	4,5682	4,0045	7,2	6,9
9			3,7	6,3794	5,4723	7,2	6,9

Согласно данным, приведенным в таблице, пористость полиэфиркетона близька до експлуатаційних умов підшипників ковзання і перевищує всі порівнювані матеріали за всіма показниками.

3.5. Визначення корозійної стійкості досліджуваних зразків

Так як шкворневі вузли працюють в умовах агресивного середовища (зазнають потрапляння частинок абразиву з водою), необхідно також виконати дослідження матеріалів на корозійну стійкість.

Зважаючи на відсутність однакових мас у випробуваних зразків, було прийнято рішення взяти за 100% початкову масу кожної втулки. При цьому при контрольних вимірах фактична маса зразків буде виражена у відсотках від початкової.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

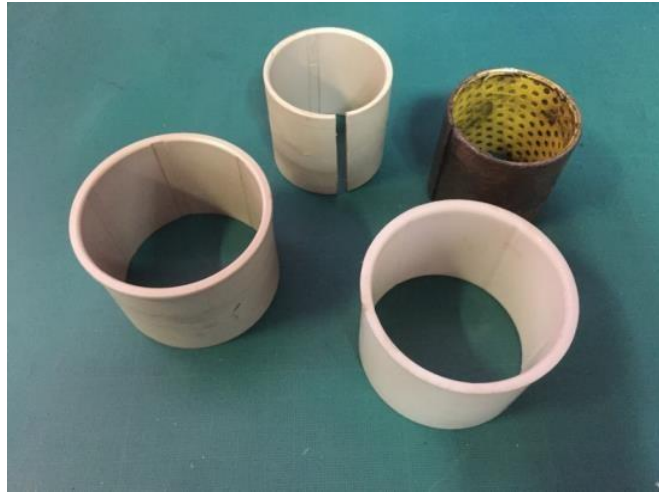


Рисунок 3.12 Зразки для випробування

Для прискорення процесу корозії в 350 мл посудину з водою додаємо 1/70 натрію хлориду від маси води. В отриманий розчин занурюємо зразки на 30 днів. Щотижня витягаємо зразки та очищаємо наждачним папером їх поверхню і далі робимо замір їх маси. Всі судини із зразками повинні знаходитись при єдиній температурі, не нижче 20 градусів за Цельсієм.

Після проведеного випробування розраховуємо відсоток поглинання матеріалу корозією за наведеною формулою:

$$T = m_1 * T_2 * 100\% \quad (3.17)$$

де m_1 – вихідна маса зразка, гр;

T_2 – маса зразка в день зважування, гр.

Враховуючи отримані результати, у програмі Grapher був побудований графік залежності відсотка поглинання корозією матеріалів з урахуванням днів, відображений на Рисунку 3.13.

Згідно з графіком, можна дійти невтішного висновку, що поліефіркетон в 2,5 разу більше стійкий до корозії, ніж втулка з бронзи і в 1,5 разу більше щодо заводського пластика.

Також були обчислені залежності методом апроксимації :

$$Y(\text{бронзи}) = 0,165 + 0,062x \quad (\text{при } K_{\text{кор}} = 0,976), \% \quad (3.18)$$

$$Y(\text{заводського пластику}) = 0,191 + 0,037x \quad (\text{при } K_{\text{кор}} = 0,948), \% \quad (3.19)$$

Y (поліефіркетону) = $0,027 + 0,027x$ (при $K_{кор} = 0,994$), % (3.20)

де x - дні;

$K_{кор}$ - коеф-т кореляції.

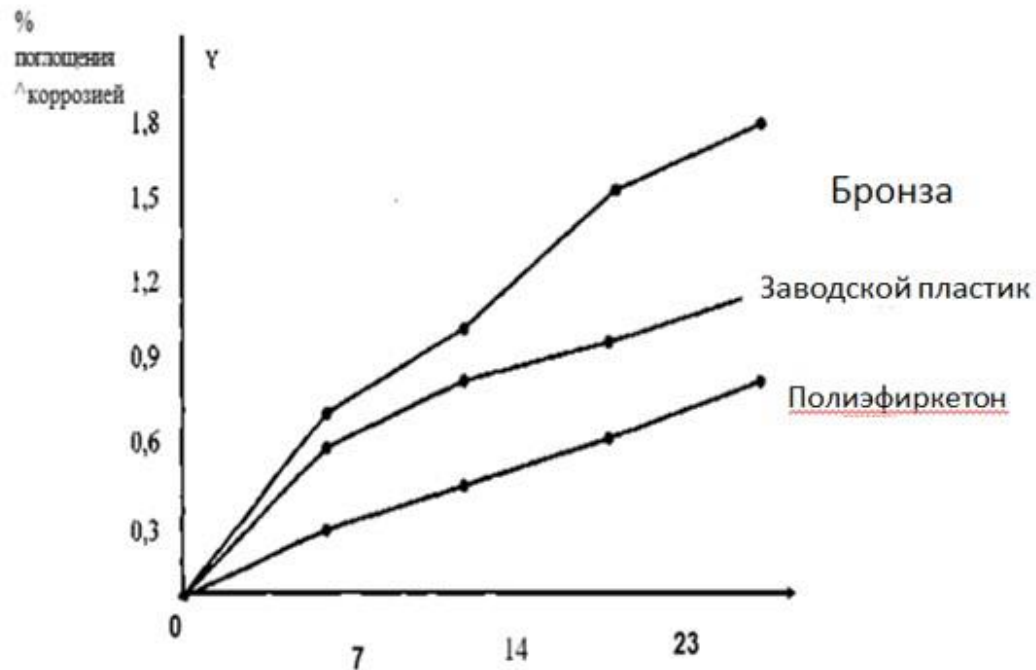


Рис.3.13 Графік поглинання матеріалу корозією

З усіх вищеописаних експериментів і даних із них, можна констатувати таке: аналізований матеріал поліефіркетон має відмінну стійкість до корозії. Якщо враховувати, що цей матеріал буде працювати у поєднанні зі шворнем, який особливо схильний до впливу вологи, очевидно, що поліефіркетон більшою мірою задовольняє вимоги до деталей автопоїздів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

4. ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

4.1. Розробка технологічного процесу відновлення вузлів тертя

Відновлення шкворневого вузла, що розглядається, почалося з розробки карти технологічного процесу шкворневого вузла (табл. 4.1). При складанні карти було зазначено мінімальну кількість операцій, які забезпечать кращу якість деталей, що підлягають відновленню. Для кожної технологічної послідовності було підібрано оптимальний перелік інструментів та обладнання.

Основною частиною відновлення шкворневого вузла є механічна обробка втулки методом розточування на токарно-гвинторізному верстаті. Виходячи з розрахунків у попередніх розділах дисертаційного дослідження, необхідно досягнення шорсткості внутрішньої та зовнішньої поверхні втулки в межах $Rz = 20-60$ мкм. Технологічний процес відновлення починається з механічної обробки (розточування) на токарному верстаті 1К-62 з використанням спеціальних різців із пластинами із твердих сплавів (Т15К6, Т5К10, ВК6, ВК8).

Також, на токарно-гвинторізному верстаті з метою більш тривалого утримання всередині вузла консистентного мастила, були виконані пази, глибиною 0,2 мм по всій довжині втулки з кроком 30 градусів.

Керуючись будь-яким посібником з відновлення та ремонту автомобільних вузлів та агрегатів, при поверненні їм працездатності, необхідно прагнути до найменших матеріальних, тимчасових та трудових витрат при забезпеченні максимального ресурсу роботи. Щоб грамотно підібрати спосіб відновлення механізму, необхідно виконати ретельне дефектування.

Види дефектів: зношування внутрішньої поверхні втулки з утворенням

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конусності, утворення на шворні механічного зносу.

Спосіб усунення дефекту: відновлення поверхні шворня, заміна елемента.

Вибраний спосіб усунення дефекту залежить від такого параметра як коефіцієнт довговічності.

Таблиця 4.1 Карта технологічного процесу відновлення шкворневого вузла

Зміст робіт	Виконавець	Документ	Обладнання, інструмент	Час	Технічні умови
Постановка автомобіля на оглядову яму	Автослюсар 4 розряду, діагност	Типова інструкція №17 з охорони праці при вивішуванні автомобіля та роботі під ним ТОІ Р-20017-95	Яма оглядова	5	Встановити автомобіль на яму, загонщик включає гальмо стоянки, ставить коробку передач в нейтральну передачу.
Встановити противідкатні упори під задню вісь	Автослюсар 4 розряду, діагност	Типова інструкція з охорони праці	Противідкатні упори	2	Встановити противідкатні упори під задню вісь, упори мають відповідати ширині колеса.
Вивішування передньої частини автомобіля	Автослюсар 4 розряду, діагност	Типова інструкція з охорони праці	Канавний домкрат	7	При вивішуванні передньої частини автомобіля домкрат встановлювати чітко під балку, щоб уникнути перекосу автомобіля

	Знімання передніх коліс	Автослюсар 4 розряду, діагност	Типова інструкція з охорони праці	Пневматичний або електричний гайковерт, пристрій для демонтажу маточини з коліс	12	Дотримання техніки безпеки при зніманні коліс та обладнання
	Демонтаж гальмівних супортів	Автослюсар 4 розряду, діагност	Типова інструкція з охорони праці	Пневматичний або електричний гайковерт, ключі, пристосування для демонтажу супортів, гідравлічний візок	5	Дотримання техніки безпеки при роботі з обладнанням та ручним інструментом
	Знімання маточок зборі з підшипниками	Автослюсар 4 розряду, діагност	Типова інструкція з охорони праці	Ступовий ключ, пристосування для знімання маточок	25	Дотримання техніки безпеки під час роботи з обладнанням та інструментом
	Демонтаж рульових наконечників	Автослюсар 4 розряду, діагност	Типова інструкція з охорони праці	Знімач рульових наконечників, молоток	22	Дотримання техніки безпеки під час роботи з обладнанням та інструментом
	Знімання шворнів	Автослюсар 4 розряду, діагност	Типова інструкція з охорони праці	Пристрій для випресовування для шкворневих пальців, ключі	60	Дотримання техніки безпеки під час роботи з обладнанням та інструментом

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 4.1

	Демонтаж цапф	Автослюсар 4 розряду, діагност	Типова інструкція з охорони праці	Візок	10	Дотримання техніки безпеки під час роботи з обладнанням та інструментом
0	Миття деталей	Автослюсар 4 розряду, діагност	Типова інструкція з охорони праці	Ванна із содовим розчином	10	Дотримання техніки безпеки під час роботи з обладнанням та інструментом
1	Дефектування деталей	Автослюсар 4 розряду, діагност	ТУ на дефектування деталей ходової частини	Вимірювальні інструменти (мікрометр, нутромір, штангенциркуль)	20	Дотримання техніки безпеки під час роботи з вимірювальним інструментом
2	Шліфування шворня	Автослюсар 4 розряду, діагност	ТУ на шліфування деталей	Круглошліфувальний верстат, паводковий патрон з повідком, центрами, шліфувальний круг	30	Шкворень шліфувати до найближчого ремонтного розміру та отримання поверхні з шорсткістю не більше Rz=120
3	Виготовлення нової втулки	Автослюсар 4 розряду, діагност	ТУ на токарне оброблення деталей	Токарний верстат, паводковий патрон із повідком, центрами. Прохідний, розточувальний та відрізний різці, штангенциркуль, мікрометр	40	Точити деталь із проходом різця не більше 2 мм на бік. Швидкість обробки 650 об/хв. Дотримання техніки безпеки під час роботи з вимірювальним інструментом, верстатом та різальним інструментом.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4	Віброобкатка на внутрішній діаметр втулки	Автослюсар 4 розряду, діагност	ТУ на вібраційну накатку деталей	Віброголовка, токарний верстат, вимірювальний інструмент	5	Вібраційну накатку проводити при швидкості обертання деталі 560 об/хв. Виставити зусилля тарованої пружини 130 кг. Амплітуда синусоїди 0,75 мм. Накатку робити при автоматичній подачі. Дотримання техніки безпеки під час роботи з вимірювальним інструментом, верстатом та різальним інструментом.
5	Встановлення деталей у зворотній послідовності на автомобіль	Автослюсар 4 розряду, діагност	Типова інструкція з охорони праці	Динамометричний ключ, пневматичний або електричний гайковерт, ключі, пристосування для монтажу супортів, гідравлічний візок	340	Дотримання техніки безпеки при роботі з обладнанням та ручним інструментом
6	Перевірка та регулювання сходження	Автослюсар 4 розряду, діагност	ТУ на перевірку та регулювання кутів сходження	Лазерний стенд	0	Дотримання техніки безпеки під час роботи з високоточним обладнанням

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2. Визначення коефіцієнта довговічності

Від впливу експлуатаційних властивостей при відновленні у різний спосіб залежить довговічність виробів. На основі багаторічного досвіду експлуатації транспорту в області вантажоперевезень можна виділити 3 основні причини втрати працездатного стану:

- низький коефіцієнт зносостійкості матеріалів;
- низький коефіцієнт міцності контакту деталей, що сполучаються;
- схильність матеріалів до високих втомних навантажень при високому тиску на них.

Довговічність відновлення працездатного стану деталей визначається таким параметром як коефіцієнт довговічності – Кд. Цей коефіцієнт може бути виражений як функція вищеписаних причин.

$$K_d = f(K_{sc}, K_i, K_v), (4.1)$$

де K_i - коефіцієнт зносостійкості;

K_{sc} -коефіцієнт зчеплення;

K_v – коефіцієнт витривалості.

У процесі дослідження було виявлено відсутність факторів, відповідальних за ресурс контактуючих поверхонь у шкворневих вузлах цих автомобілів. Отже, можна констатувати відсутність впливу коефіцієнта витривалості Кд. При цьому може спостерігатися розбіжність максимальних та мінімальних інтенсивностей сполучення під час проведення експерименту.

У таблиці 4.2 представлені розрахункові дані, необхідні для вибору оптимального режиму відновлення з урахуванням обласних обмежень.

Виходячи з табличних даних, можна прийняти оптимальний режим відновлення, при якому показники дорівнюють: $P=335\text{Мпа}$, $t=143^\circ\text{C}$, $T=1,6$

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

год, при $R_z=170$ мкм, $T_{сц}=337$ МПа, $I=0,00675$ мм /годину.

Таблиця.4.2 Дані, отримані для вибору режиму відновлення

Показники функції			тсц, МПа	I, мм/година
t°C	T, година	P, МПа		
132	1,3	356	347	0,007
157	1,8	313	326	0,0065

У числовому значенні коефіцієнту довговічності дорівнює $K_d = 1,5$.

Виходячи з каталогів деталей на автомобілі, що розглядаються, втулка має номер 55-31-318, а палець 55-31-309. Аналізуючи середньостатистичні дані аналізованого підприємства, з урахуванням якого проводилися експерименти, вихід із ладу шворневого вузла відбудеться на 110000 км. На жаль, автомобілю з цим пробігом не передбачено жодного виду ТО. Процес відновлення спонукає зняти автомобіль із лінії. Уникнути цього і підвищити коефіцієнт довговічності допоможе використання запропонованого матеріалу-поліефіркетону.

$$110000 \times K_d = 110000 \times 1,5 = 165000 \text{ тис.км.} \quad (4.5)$$

Отриманий ресурс цієї пари співпадає з ремонтним циклом автомобілів Scania R серії або Volvo FH серії.

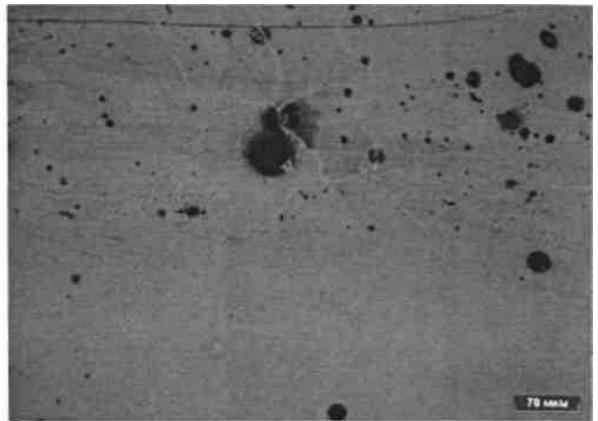
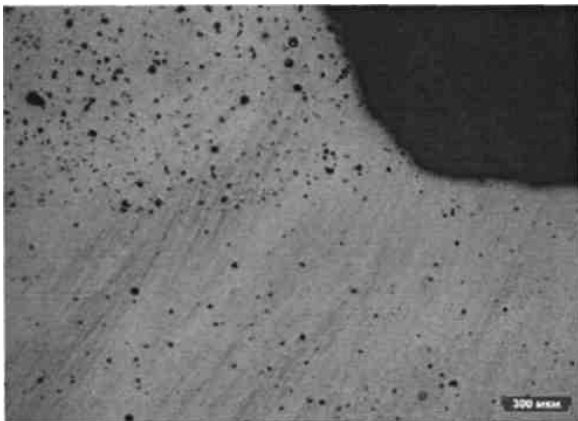
4.3. Дослідження структури покриття з поліефіркетону

Для аналізу структури покриття втулки з поліефіркетону виробляємо виготовлення зразка в режимі, оптимальному з точки зору довговічності покриття. Найбільш довговічне покриття виходить при наступному режимі: $P = 335 \text{ Мпа}$, $t = 143 \text{ }^\circ \text{C}$, $T = 1,6 \text{ год}$, при $Rz = 170 \text{ мкм}$. Після виготовлення розрізаємо зразок на сектори, тим самим охоплюючи зону переходу. Вже на даній стадії видно, що колір та структура покриття ідентична з виготовленою бронзовою втулкою для випробувань.



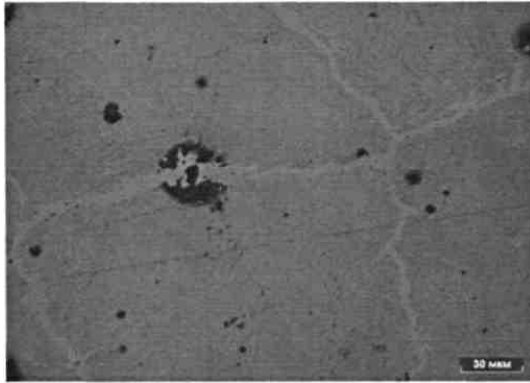
Рисунок. 4.1 Зразок для випробувань

За допомогою електронного мікроскопа було досліджено структуру матеріалів у перехідній зоні. Знімки були виконані і 50, 200, і 500 кратному збільшенні (рис. 4.2).



50-разове 200-разове

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



500-разове

Рисунок. 4.2 Структура досліджуваних матеріалів у перехідній зоні

Розглянувши виконані знімки, можна констатувати нечітку перехідну зону через дифузію в ній вуглецю та цинку. Тому міцність зчеплення має високі чисельні показники.

На основі вищевикладеного можна зробити висновок про схожість чисельних значень експериментальних даних (пористість, твердість, мікротвердість, корозійна стійкість) з реальними, коли втулки були встановлені на автомобіль. Тому, фізико-механічні властивості матеріалу-полієфіркетону, що розглядається, відповідають усім необхідним експлуатаційним умовам.

4.4. Аналіз впливу параметрів експлуатації на інтенсивність зношування пар

Потрапляння в триботехнічну пару продуктів зносу і частинок піску з дороги, необслуговуваність багатьох вузлів автомобіля, виникнення високих за величиною радіальних і осьових навантажень, все це призводить до збільшення зносу поверхонь, що сполучаються. Як наслідок, зношування призводить до передчасного виходу з ладу шкворневих вузлів автопоїзда.

Тому, з метою перевірки вузла на зносостійкість, необхідно на різних режимах навантаження провести експерименти. За оцінний показник

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймається швидкість зношування всього вузла. Предмет дослідження втулка-шворень.

Щоб визначити швидкість зношування, необхідно обчислити знос деталей, що сполучаються. В даному випадку дуже важливим є експериментальне апробування технологічних режимів матеріалів в цілому на зносостійкість сполучення .

Як предмет дослідження за відомою методикою обрано сполучення деталей шкворень-втулка .

Як оцінний показник зносостійкості була обрана швидкість зношування сполучення в цілому .

Для оцінки швидкості зношування прийнято наступні залежності:

$$U=N/t$$

де u - знос шворня та втулки, мм;

N – цикли навантаження до періоду зношування; t – час установки в роботі, година .

Як вал був обраний заводський шворень, а як втулка взятий матеріал-поліефіркетон.

Випробування були проведені на базі машини тертя моделі 20-70 СМТ-1, дотримуючись правил проведення випробувань триботехнічних пар типу "втулка". Зазначений комплекс зображено Рисунку 4.3.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок. 4.3 Машина тертя 20-70 СМТ-1

Під час проведення експерименту було виконано такі вимоги:

1. Випробування триботехнічних пар здійснювалися згідно з паспортними даними реальних пар тертя. На кожен пару складався окремий паспорт із внесенням усіх потрібних записів;
2. Комплект для випробувань являв собою 1 валик і 4 втулки. На всі місця, де проводилися виміри, було нанесено позначку.
3. За допомогою нутроміра та мікрометра були проведені контрольні виміри по центру та краях деталей. Сполучені діаметри вимірювалися після розбирання мікрометром і нутроміром з точністю до 0,01 мм у двох взаємно перпендикулярних площинах і трьох точках, в центрі і по краях, при цьому зазор визначався як середньоарифметичне значення всіх вимірювань .

Випробування було проведено на базі машини тертя моделі 20-70 СМТ-

1. Умови були наближені до експлуатаційних у реальних умовах. Навантаження було відтаровано динамометром і становило значення 14000 Н , що відповідає ударному навантаженню 70 мН/м² на кожному шворні. При цьому задані обов'язкові умови:

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- обертальний характер руху;
- при частоті обертання валу 40 об/хв, максимальна швидкість ковзання $V_{\max}=0,095$ м/сек;
- обов'язкове застосування консистентного мастила ШНУС 1;
- забезпечення до кожного кронштейну частинок кварцового піску до деталей, що контактують;
- при підробітку в 1600 циклів навантаження склало 14000Н, 1000 циклів при $P=2400$ Н і 600 циклів при навантаженні $P=4500$ Н.

З допомогою термопари проводилася фіксація температурних значень. Діапазон вимірювання температури становить 0-250°C. Через кожні 60 циклів проводилося зменшення температури на 35 градусів за Цельсієм, з витримкою за часом щонайменше 30 хвилин. Випробування зупинялися за різкого підвищення температури до 150-160 градусів. Це відбувалося приблизно 600 циклах. Допустиме температурне значення для цього типу випробувань знаходиться в межах 100 градусів за Цельсієм.

Щоб оцінити зношування, було зроблено мікрометрування виробів, так як ваговим методом не визначити точно ступінь зношування наявного комплексу деталей. Звідси швидкість зносу сполучення може бути обчислена:

$$I=I_v+I_{vt},$$

де I - Загальна швидкість зносу, мм/годину; I_v -швидкість зносу шворня, мм/годину; I_{vt} - швидкість зношування втулки, мм/год.

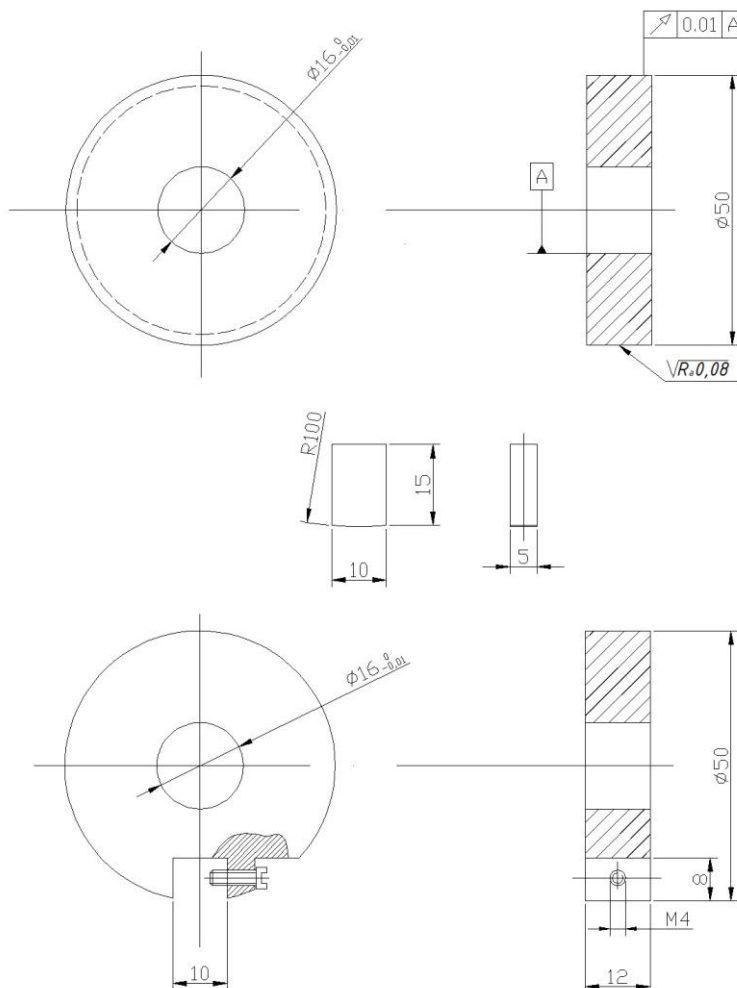
У таблиці 4.3. наведено основні параметри моделювання представленою сполучення.

Таблиця 4.3 Основні параметри моделювання

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модель сполучення	Темп-ра у роб. зоні, Т, 0С	Коеф. тертя $f_{тр}$	Швидкість ковзання., $V_{ск}$, м/хв	Критич. навантаження $N_{кр.}$, Н	Зусилля притискання $N_{м}$, Н	Площа контакту $F_{м}$, мм ²	норм. навантаження на вузол. $N_{р}$, Н
Шкворень (сталь 12ХН2)	20-120	0,08	0,65 – 1	900	150 – 850	60	29,6·N _м
Втулка (поліефіркетон)							

На Рисунку 4.4 наведено креслення роликів для випробувань.



а) – ролик; б) – колодка; в) – тримач колодки

Рисунок 4.4 Зразки для проведення триботехнічних випробувань на машині тертя СМТ-1

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Комплекс для проведення випробувань на тертя

Для того щоб визначити, як обрані матеріали взаємодіють один з одним у рамках процесу зносу, був створений стенд на базі тертя машини моделі 2070 СМТ-1 . На нього встановлені високоточні прилади та пристрої, які зчитують дані та надсилають їх на комп'ютер.

Для наочного розуміння роботи комплексу, зображено його схему Рисунок 4.5.

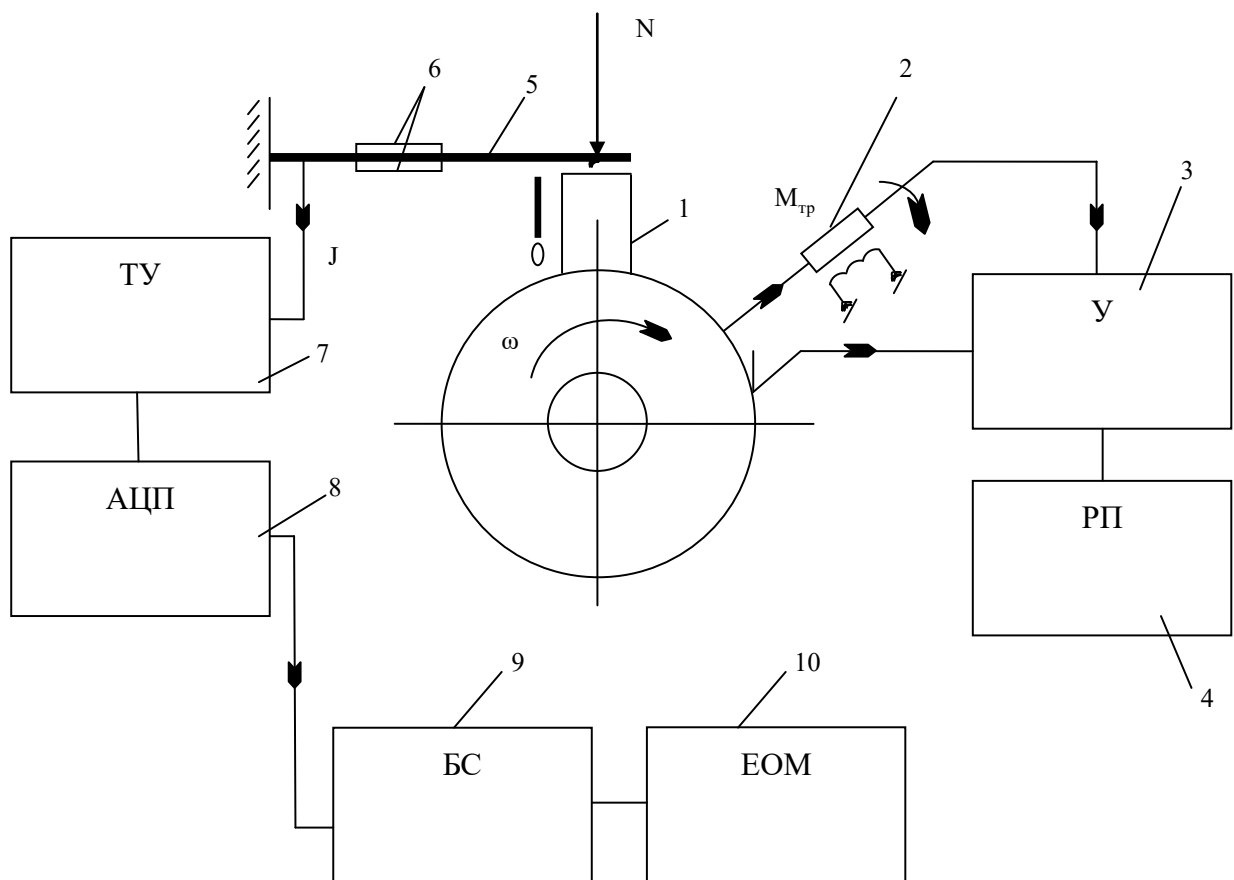


Рисунок 4.5 Схема комплексу щодо триботехнічних испытаний.

- 1 – триботехнічна пара; 2-датчик моменту тертя;
- 3 – підсилювач; 4 – фіксатор даних; 5 – тензобалка;
- 6 – тензоопір; 7-підсилювач сигналу від датчиків; 8 – перетворювач отриманих даних; 9 – блок сполучень; 10 – комп'ютер.

Основні характеристики, такі як момент тертя $M_{тр}$ і температура тертя T , дана машина тертя визначає за рахунок приладів, встановлених в шафу її управління. Комплекс для проведення триботехнічних випробувань показаний на Рисунку 4.5.

На Рисунку 4.6 представлений сам вузол тертя, де відображено тензодатчик для вимірювання моменту тертя та індикатор, який показує відхилення тензобалки під час роботи комплексу. На комплексі вимірювання температури провадиться за допомогою термопари. Вимірювання провадиться згідно з методом ковзного контакту, так як він простий і швидкий у виконанні, особливо при появі плівкоутворення.



Рисунок 4.6 Комплекс для проведення триботехнічних досліджень 1 – машина тертя СМТ-1; 2 – вузол тертя; 3 – КСП-4; 4 – тензопідсилювач 8АНЧ-7М; 5 – прилади для контролю за частотою обертання та

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаженням пари тертя

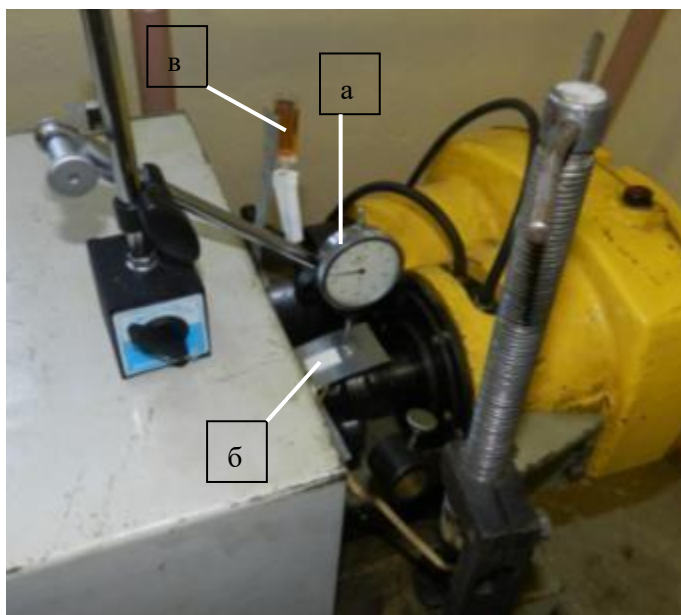


Рисунок 4.7 Вузол тертя

а) – індикатор; б) – тензодатчик; в) – встановлення подачі олії

На Рисунку 4.8 представлена електрична схема з'єднання тензодатчиків, вона здійснюється за бруківкою. При цьому сам датчик, який вимірює сумарне лінійне зношування, складається з двох тензодатчиків моделі ЗПКБ 10-250, розміщених на пластині з пружинної сталі з високим вмістом хрому в хімічному складі.

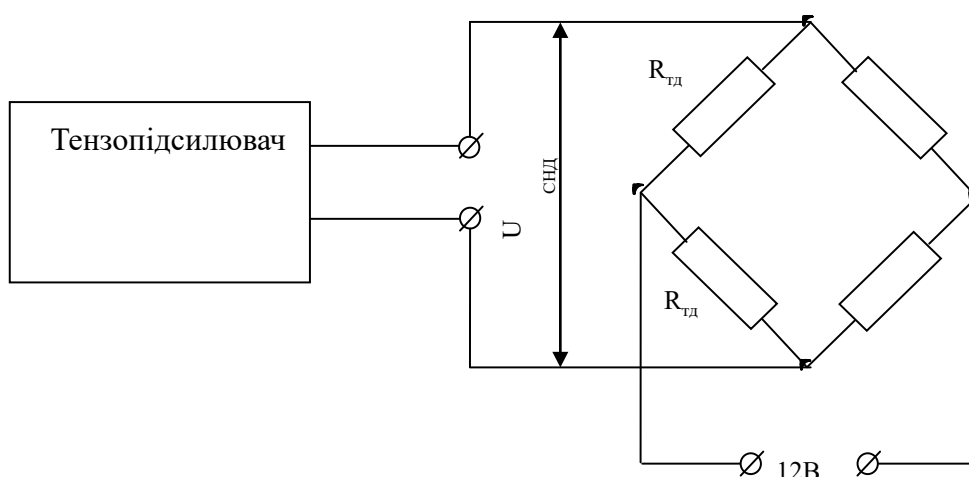


Рис. 4.8 Електрична схема з'єднання тензодатчиків.

При такому розташуванні датчиків наведена схема забезпечує температурну компенсацію, а також посилює сигнал за рахунок використання тензопідсилювача моделі 9АНЧ-8М. Це відбувається через те, що датчики знаходяться в області стискаючих і розтягуючих напруг. Аналоговоцифровий перетворювач обробляє сигнал від тензопідсилювача і перетворює його на дані, які може прочитати комп'ютер. Вимірювання напруги проводиться за рахунок встановленого даних комплекс цифрового вольтметра. Інформація, яка йде через вольтметр, проходить через блок сполучення і надходить комп'ютер. У комп'ютері вже проводиться видача результатів як чисельних значень кожного з параметрів.

Відповідно до блок-схеми комплексу, яка зображена Рисунку 4.9., відбувається обчислення сумарної лінійної інтенсивності зношування пари тертя. Прогин тензобалки не повинен бути більше 1мм, після того, як випробувані зразки будуть встановлені. Прогин балки в 1 мм – це 2,5 вольт на шкалі вольтметра.

На Рисунку 4.9. представлена схема тарування датчика зношування. Дана схема застосовується, коли відсутні дані по тарировочному коефіцієнту. Він поєднує величини сигналу, що надходить, і зносу сполучення. Тарування датчиків зносу проводиться в діапазоні від 0 до 1мм з однаковими проміжками, наступним способом: на одній осі встановлюється мікрометричний гвинт (4) і індикатор годинника (1), так, щоб тензобалка була притиснута до тримача колодки. Зміна показань датчика зношування відбувається при створенні прогину тензобалки шляхом обертання гвинта. Комп'ютер зчитує сигнал із тензодатчика, а значення прогину балки вводиться вручну.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

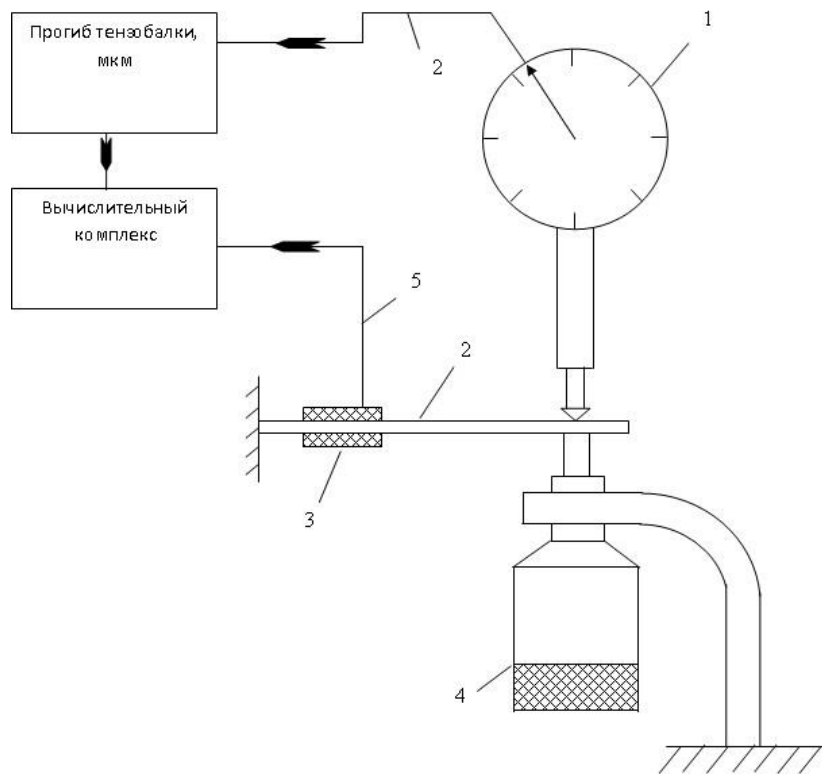


Рисунок 4.9 Схема тарування датчиків зносу

Для оцінки швидкості приробітку шкворневого вузла за допомогою профілактографа була виконана профілактограма поверхонь тертя (рисунок 4.10). Результати профілактичного дослідження поверхонь тертя втулок шкворневого вузла показують, що опрацювання триботехнічних сполучень відбудеться на третину швидше, ніж за технічними умовами на капітальний ремонт.

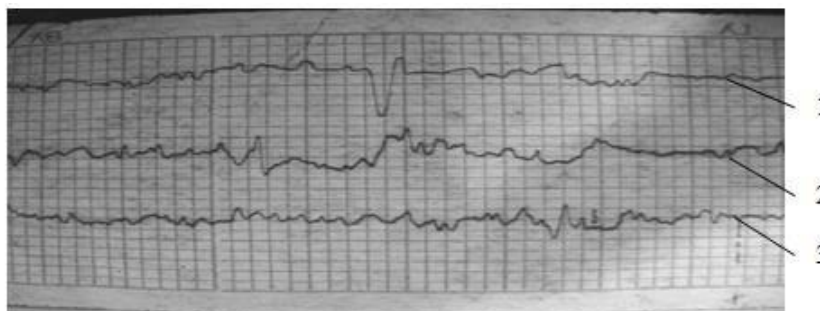


Рисунок 4.10 Профілограми вузлів тертя: 1-до опрацювання; 2-після приробітку по ТУ на КР; 3- після приробітку з використанням поліефіркетону на рекомендованих режимах

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

1. Здійснено аналіз стану питання відновлення шкворневих вузлів композиційними матеріалами.
2. Запропоновано математичну модель тертя рухомих сполучень вузлів ходової частини транспортних засобів із застосуванням поліефіркетону та доведено її адекватність.;
3. Розроблено технологічний процес відновлення вузлів тертя ходової частини транспортних засобів із застосуванням поліефіркетону;
4. Створено пристрій з урахуванням машини тертя мод. 2070 СМТ-1 для безперервного зняття показань зношування поверхонь випробуваних зразків.
5. На основі проведених досліджень коефіцієнт міцності зчеплення істотно вищий за базовий. За виконання розрахунків, що з довговічністю роботи вузла було виявлено, що у пробігу в 165 тис.к відбудеться прогнозований вихід із ладу даного вузла. Отриманий ресурс цієї пари співпадає з ремонтним циклом автомобілів Scania R серії та Volvo FH серії;
6. Розроблено методику підвищення довговічності шкворневих вузлів тертя, на підставі якої в процесі проведення експериментальних досліджень при встановленні поліефіркетонної втулки на марках вантажних автомобілів, що розглядаються, був виявлений ресурс сполучення більш ніж в 1,5 рази вище, ніж експлуатований шкворневий вузол на заводських втулках.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А.В. Чичинадзе, Е.Д. Браун, Н.А. Буше та ін. Основи трибології (Тертя, знос, мастило). М: Машинобудування, 2001. - 663 с.
2. Адаскін А. Матеріалознавство (металообробка)/ А.Адаскін, В.Зуєв. - : Вид-ий центр Академія, - 2013. - С. 52-62.
3. Акопов В.А., Строков В.Л. Процеси надійності автомобільних двигунів Ташкент, - 1990, -136 с.
4. Аксьонов А.Ф., Лозовський В. Зносостійкість зміцнених поверхонь, що труться. - : Машинобудування, 1987. - 304 с.
6. Московський державний технічний університет імені Н.Е. Баумана.
7. Баклі Д. Поверхневі явища при адгезії та фрикційній взаємодії / Пер. з англ. А.В. Білого, Н.К. Мишкіна; За ред. А.І. Свиріденко. - : Машинобудування, 1986. - 360 с.
8. Богодухів С.І. Курс матеріалознавства в питаннях і відповідях/ С.І.Богодухів, А.В.Синюхін, В.Ф.Гребенюк. - : Вид-во Машинобудування, – 2014. – С. 212-231.
9. Борнацький І.І. Основи фізичної хімії: підручник. - : Металургія, 1989. - 320 с.
10. Браун Е.Д., Євдокимов Ю.А., Чичинадзе А.В. Тертя та зношування в машинах. - : Машинобудування, 1982. - 190 с.
11. Буше Н.А. Тертя, знос та втома в машинах. Підручник для вишів. - : Транспорт, 1987. - 223 с.
12. Буше Н.А., Копитько В.В. Сумісність поверхонь, що труться. - : Наука, 1981. - 126 с.
13. Валітов А. Прилади та методи контролю товщини покриттів. , Машинобудування, - 1970, -120 с.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Васильєва Л.С. Автомобільні експлуатаційні матеріали: Навч. для вузів. Вид. 2-ге/Л.С. Васильєва - : Наука-Прес, 2004. - 421 с.
15. Власов В. Працездатність зміцнених поверхонь, що труться. - : Машинобудування, 1987. - 304 с.
16. Воронков Б.Д., Щадрін В.Г. Підвищення довговічності хімічного устаткування шляхом виборчого переносу при терті. – У кн.: Довговічність деталей машин, що труться. - М: Машинобудування, 1988, вип. 3, с.195 - 228.
17. Гайовик Д.Т. Підвищення працездатності рухливих пару автомобілів. : 2001. - 247 с.
18. Гаркунов Д. Довговічність деталей машин, що труться. : Машинобудування, - 1987, -304 с.
19. Гаркунов Д. Матеріали, що працюють у режимі виборчого перенесення. Загальні відомості. - У кн.: Підвищення зносостійкості на основі застосування виборчого перенесення. - : Машинобудування, 1977. - С.99 - 107.
20. Гаркунов Д. Триботехніка (знос і беззносність): Підручник. - 4-е вид., Перероб. та дод. - : «Видавництво МСГА», 2001. 616 с., іл. 280.
21. Гаркунов Д. Триботехніка. - : Машинобудування, 1985. - 424 с.
22. ГольдБ.В. Міцність і довговічність автомобіля. , Машинобудування, - 1974, -328 с.
23. Громаковський Д.Г., Куксєнова Л.І. Розробка засобів підвищення ефективності вибіркового перенесення у важконавантажених сполуках. – У кн.: Довговічність деталей машин, що труться. - М: Машинобудування, 1986, вип. 2, с.31 - 43.
24. Довговічність деталей машин, що труться: Зб. статей. Вип.2/За ред. Гаркунова Д. - : Машинобудування, 1987. - 304 с.
25. Дроздов та ін. Тертя та знос в екстремальних умовах: Довідник. –М: Машинобудування, 1986. - 224 с.
26. Дроздов Ю. Тертя та знос в екстремальних умовах., Машинобудування, - 1986, -224 с.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. Дякін С.І., Філатов Т.П. Деякі концепції застосування матеріалів у важконавантажених трибосполученнях. – У кн.: Довговічність деталей машин, що труться. - М: Машинобудування, 1986, вип. 2, с.19 - 31.
28. Євдокимов Ю.А. та ін. Планування та аналіз експериментів при вирішенні завдань тертя та зносу. - : Наука, 1980. - 228 с.
29. Заплатін В. Основи матеріалознавства/В. Заплатін, Ю.І. Шевців, А.В. Дубов-Изд-во: Академія,-2012.- 256 с.
30. Запольський Н.В. Знос та відновлення деталей судових двигунів внутрішнього згоряння. : "Транспорт", - 1965, -132 с.
31. Заславський Ю.С. Трибологія мастильних матеріалів. - : Хімія, 1991. - 240 с.
32. Виборче перенесення у важконавантажених вузлах тертя / За заг. ред. Д. Гаркунова. - : Машинобудування, 1982. - 207 с.: іл.
33. Камбалов В.С. Вплив шорсткості твердих тіл на тертя та знос. , "Наука", - 1974, -103 с.
34. Кащеєв В. Процеси у зоні фрикційного контакту металів. , Машинобудування, - 1978, -213 с.
35. Кіриченко Н.Б. Автомобільні експлуатаційні матеріали: навч. посібник для студ. установ середовищ. проф. освіта/Н.Б.Кириченко. - 8-е вид., Стер. - М: Видавничий центр «Академія», 2012. - 208 с.
36. Комбалов В.С. Методи та засоби випробувань на тертя та знос конструкційних та мастильних матеріалів: довідник / В.С. Комбалів; за ред. К.В. Фролова, Є.А. Марченко. - : Машинобудування, 2008. - 384 с.
37. Конструювання двигунів внутрішнього згоряння/За заг. ред. Чайнова Н.Д. - : Машинобудування, 2008. - 496 с., іл.
38. Костецький Б.І. Поверхнева міцність матеріалів при терті., монографія. – Київ: Техніка, 1976, 296 с.
39. Костецький Б.І. Структурно-енергетична пристосованість матеріалів під час тертя. // Тертя та знос, 1985, т.6, №2, с.201 - 212.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

40. Крагельський І.В. Молекулярно-механічна теорія тертя. Зб. доповідей другої Всесоюзної конференції з тертя та зношування в машинах. АН СРСР, 1949, т.3.
41. Крагельський І.В. Тертя та знос. М: Машинобудування. 1968. - 480 с.
42. Крагельський І.В., Міхін Н. Вузли тертя машин: Довідник. - : Машинобудування, 1984. - 280 с.
43. Масіно А. Організація відновлення автомобільних деталей. - : Транспорт, 1981. - 176 с.
44. Матвєєвський Р. Температурна стійкість граничних мастильних шарів та твердих мастильних покриттів при терті металів та сплавів. , Машинобудування, - 1971, -228 с.
45. Міхін Н. Зовнішнє тертя твердих тіл. , "Наука", - 1977, -223 с.
46. Міхін Н. Вибір навантаження під час моделювання зовнішнього тертя. - У сб.: Моделювання тертя та зносу / За заг. ред. А.В. Чичиндзе. : НДІМАШ, 1970. - С.19.
47. Міхін Н., Литвинов В., Крагельський І.В. Вплив нормальних напруг реалізацію виборчого переносу при терті. - АН СРСР, 1978, т.241, № 4, с.781 - 784.
48. Мішин І.А. Довговічність двигунів. Л., Машинобудування, - 1976, 228 с.
49. Назаркін В.Г. Методи підвищення довговічності триботехнічних сполучень/В.Г. Назаркін, Д.В. Романов//Докл. 68-й наук. конф. професорів, викладачів, науковців, інженерів та аспірантів університету СПбДАСУ. Ч.IV. - СПб.: СПбДАСУ, 2011. - С.161 - 163.
50. Офіційний сайт компанії Arco Turs Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://arkotours.ru/>, вільний – (03.11.2019)
51. Пічугін В.Ф. Виборче перенесення у вузлах тертя. - , 2005. - 121 с.

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

52. Пічугін В.Ф., Колесніков І. Вплив природи металу в мастильному матеріалі на процеси, що самоорганізуються при терті. – Тертя та знос, 1987, т.8, №4, з. 756 - 758.

53. Поляков О.О. Дисипативна структура вибіркового переносу. – У кн.: Довговічність деталей машин, що труться. - М: Машинобудування, 1986, вип. 2, с.97 - 106.

54. Прокопенко О.К. Методи підвищення зносостійкості елементів технологічного устаткування з урахуванням виборчого переносу. - У кн.: Довговічність деталей машин, що труться. М: Машинобудування, 1986, вип.2., С.126 - 131.

55. Nunez EE, Yeo SM, Polychronopoulou K, Polycarpou AA Tribological study of high bearing blended polymer-based coatings для air-conditioning and refrigeration compressors. Surf Coat Tech 205: 2994-3005 (2011).

56. Demas NG, Polycarpou A A. Tribological performance of PTFE-based coatings для air-conditioning compressors. Surf Coat Tech 203: 307-316 (2008).

57. ISO 4378-3:2009. Підшипники ковзання. Терміни, визначення, класифікація та символи. Частина 3. Змащування. – Замість ISO 4378-3:1983;

58. запроваджено 01.09.2009. - 40 с.

59. McCarthy DMC, Glavatskih S B. Assesment of polymer composites fo hydrodynamic journal-bearing applications. Lubr Sci 21: 331-341 (2009). Tribology of Interface

					ДРМТВА 22.190713.000. ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		