

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**На правах рукопису**

**НОВАК ГЕОРГІЙ ВАСИЛЬОВИЧ**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ПАР ТЕРТЯ  
ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ЗАСОБАМИ**

**Спеціальність 05.02.08 - Технологія машинобудування**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**дисертації на здобуття наукової ступені**  
**кандидата технічних наук**

**Одеса 1997**

Робота  
університеті.

політехнічному

Дисертація



00752386 (V)

На

професор

Линдзевский Павло Адамович

Офіційні опоненти - заслужений діяч науки і техніки,  
доктор технічних наук, професор  
Рижов Едуард Вячеславович;  
кандидат технічних наук  
Пупін Андрій Петрович

Провідна організація - НВФ "Кільце"

Захист дисертації відбудеться "\_\_\_" червня 1997 року в  
\_\_\_\_\_ годин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.06.06  
в Одеському державному політехнічному університеті за адресою:  
270044, м. Одеса, проспект Шевченка, 1, ОГПУ.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеського  
державного політехнічного університету.

Автореферат розісланий "\_\_\_" травня 1997 г.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради

Г. О. Оборський.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Підвищення довговічності машин, у тому числі і двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), є однією з найбільш важливих і актуальних проблем сучасного машинобудування. Основною причиною втрати дієздатного стану механічних систем є зношення поверхонь тертя. Ремонт деталей, що вийшли з ладу в зв'язку із зношенням, і виготовленням запасних частин зайняті чималі виробничі потужності. Вартість машин різноманітного призначення на час списання в 5-12 разів перевищує початкову.

У цей час проектні організації і промислові підприємства володіють різноманітними засобами підвищення терміну служби машин. До них відносяться: використання нових зносостійких матеріалів, опрацювання оптимальних технологічних процесів обробки поверхонь тертя, застосування засобів їх хімічного і термічного зміцнення, підвищення змащувальної ефективності масел, застосування зносостійких покриттів і т. д. Проте, незважаючи на наявність просторого теоретичного і експериментального матеріалу в даній науковій області, питання підвищення зносостійкості деталей ДВЗ не загубили своєї актуальності і вагомості. Це зумовлено цілим рядом характерних особливостей зносу деталей двигунів, до яких в першу чергу відносяться його велика абсолютна величина і чимала нерівномірність на різноманітних ділянках поверхонь тертя, що викликається істотними коливаннями силових і температурних впливів на процес зносу. В таких умовах ефективність більшості відомих засобів підвищення зносостійкості деталей двигунів стає надто обмеженою.

Серед технічних рішень, що застосовуються, спрямованих на підвищення зносостійкості пар тертя ДВЗ, особлива роль належить технологічним засобам обробки поверхонь тертя. Не змінюючи конструкції двигунів, застосовуючи одні і ті ж конструкційні матеріали і мастила, технологічними засобами обробки поверхонь тертя можна значно підвищити як загальну довговічність двигунів, так і міжремонтні терміни їх експлуатації. В зв'язку з висловленим пошук і застосування зазначених засобів, опрацювання і дослідження нових засобів їх реалізації стають актуальним науковим завданням, що має важливе народногосподарське значення.

**Метою роботи** є підвищення експлуатаційних характеристик пар тертя ДВЗ на основі розробки, дослідження і реалізації нових технологічних засобів, що керуються утворенням на поверхнях тертя частково регулярних мікрорельєсів (ЧРМР) двигунів, що зберігають високу маслоємність і зносостійкість на всьому протязі експлуатації, аж до їх повного зносу.

### **Основні завдання наукового дослідження:**

1. Розробити нові технологічні засоби утворення на поверхнях тертя коротких і глибоких мастильних карманів з використанням засобів лезової і абразивної обробки на основі застосування схем попутного вихр'явого різання.

2. Розробити моделі нових засобів і виконати теоретичні дослідження розмірних параметрів як самих мастильних карманів, так і різноманітних варіантів сітей їх розміщення.

3. На основі розроблених моделей установити вплив режимних чинників на розмірні параметри мастильних карманів і сітей їх розміщення з метою утворення передумов для управління процесом обробки.

4. Оптимізувати досвідним шляхом параметри площі, обсягу і розміщення мастильних карманів на поверхнях тертя.

5. Розробити найбільш універсальний варіант технологічного процесу механічної обробки поверхонь тертя, придатний для різноманітних умов експлуатації.

6. Розробити технологічний засіб вирівнювання темпу зносу на різноманітних ділянках поверхонь, що зношуються нерівномірно, оснований на зміні співвідношення площ мастильних карманів і всієї поверхні тертя.

7. Перевірити ефективність нового засобу технологічного управління темпом зносу швидкозношуваних ділянок деталей ДВЗ на реальних гільзах циліндрів в умовах стендових і польових випробувань.

### **Обґрунтування теоретичної і практичної цінності дослідження.**

Наведена робота розвиває актуальний науковий напрям підвищення експлуатаційних властивостей пар тертя шляхом утворення на робочих поверхнях деталей регулярних чи частково регулярних мікрорельєсів підвищеної маслоємності. Основна теоретична цінність роботи зумовлена застосуванням для формування ЧРМР технологічної схеми попутного вихр'явого різання, що на відміну від звичайних схем, що застосовуються, дозволяє одержувати мастильні кармани (МК) дуже малої довжини і великої глибини. Розроблені на основі цієї схеми нові засоби утворення МК на поверхнях тертя в поєднанні з математичним забезпеченням їх реалізації значно поширюють технологічні можливості зазначеного наукового напрямку.

Головна практична цінність роботи зумовлена збереженням високої маслоємності поверхонь тертя на всьому протязі експлуатації деталей. Мала довжина МК істотно поширює практичні можливості управління параметрами сітки ЧРМР.

*Наукова позиція.* В роботі вирішене наукове завдання по утворенню на поверхнях тертя деталей машин частково регулярного мікрорельєфа з заданими параметрами на основі вперше приміненої

для цих цілей технологічної схеми попутного вихр'явого різання. При цьому одержані наступні нові наукові результати:

1. Теоретично встановлена можливість формування МК глибиною 0.7 - 1.0 мм при їх довжині від 1 мм і вище.

2. Створені теоретичні передумови для опрацювання нових технологічних засобів лезового і абразивного нанесення коротких і глибоких МК на поверхні тертя з урахуванням різниці попутних швидкостей інструменту і деталі.

3. Для основного нового засобу попутного вихр'явого фрезерування МК розроблені моделі формування карманів на внутрішніх циліндричних, зовнішніх циліндричних і плоских поверхнях тертя.

4. Одержані аналітичні залежності, що дозволяють визначати:  
- параметри сітки ЧРМР (відстань між МК по деяким координатам);  
- форму і площу одиничного МК;  
- загальну площу МК на поверхні тертя;  
- одиничний і загальний обсяг МК.

5. Встановлені дискретно і неперервно змінні параметри процесу обробки, що дозволяють формувати в межах однієї деталі ЧРМР із змінною частотою МК.

**Практична цінність.** Комплекс розроблених засобів формування ЧРМР на поверхнях тертя і нова технологія обробки опорних дільниць поверхні між МК забезпечили рішення практичного завдання по підвищенню зносостійкості важконавантажених деталей ДВЗ.

Реалізація запропонованих засобів не вимагає великих капіталовкладень і досягається при незначній модернізації універсального устаткування і оснастки.

Формування сітей ЧРМР з перемінними параметрами дозволяє значно знижувати нерівномірність зносу різноманітних дільниць поверхонь тертя.

Нанесені на поверхні тертя МК великої глибини зберігають високу маслоємність до кінця терміну служби деталей навіть при наявності проміжних ремонтних обробок (наприклад, при ремонтному хонінгуванні гільз циліндрів).

**Рівень реалізації і впровадження наукових розробок.** Результати роботи запроваджені в окремих примірниках і партіях автомобілів, що випускаються підприємствами СНД (ЗІЛ, ГАЗ) і на ряді СТО України. Усереднений економічний ефект склав 600 гривень на 1 двигун в цінах 1997 року.

**Апробація роботи.** Основні положення роботи доповідалися на: всесоюзній науковій конференції "Знос в машинах і засоби захисту від нього", М., 1995; респ. конф. "Надтверді матеріали і інструменти в ресурсо-зберігаючих технологіях", К., 1989 р.; науково-технічній конф. "Ресурсо- і енергозберігаючі технології в машинобудуванні", Одеса, 1995 р.; міжнародній конф. "Високі технології в машинобудуванні",

Харків-Алушта, 1996 р.; науково-технічний конф. "Ресурсо- і енергозберігаючі технології в промисловості", Одеса, 1996 р.

В повному обсязі дисертація була докладена і схвалена на кафедрі "Технологія машинобудування" Одеського державного політехнічного університету при участі кафедр "Інструментальні системи автоматизованого виробництва", "Металорізальні верстати", "Автомобілі і автомобільне господарство".

**Публікації.** По темі дисертації опубліковано 17 друкованих робіт і одержано 7 авторських свідчень на винаходи.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, 5 розділів (глав), основних результатів і висновків, висловлених на \_\_\_\_\_ сторінках машинописного тексту, списку літератури з 121 найменування на 6 сторінках і додатків на 15 сторінках. В роботі 40 малюнків і 4 таблиці.

**Особовий внесок дисертанта в опрацювання наукових результатів.**

Автором установлені і розроблені:

- наукове положення можливості одержання на поверхнях тертя коротких і глибоких МК;

- нові засоби формування ЧРМР лезовим і абразивним інструментом;

- моделі формування МК на різноманітних типах поверхонь і аналітичні залежності, одержані на основі цих моделей;

- наукова гіпотеза про можливість управління темпом зносу різноманітних дільниць поверхні тертя шляхом ущільнення чи розрідження сітки МК;

- науково обгрунтовані рекомендації по технології обробки поверхонь тертя.

**Методологія і засоби досліджень.**

Теоретичні дослідження базувалися на наукових положеннях технології машинобудування, теорії різання металів, теорії тертя і зносу, кінематики металорізальних верстатів, теоретичної механіки, диференціального і інтегрального числення.

Експериментальні дослідження проводилися з використанням сучасних верстатів, пристроїв, випробувальних стендів, вимірювальних приладів. Оптимізація параметрів ЧРМР виконувалася сімплексним засобом.

**Основні результати дисертації і висновки, що слідують з наукового дослідження.**

1. Основним результатом роботи є комплексне рішення науково-практичного завдання підвищення зносостійкості важконавантажених пар тертя на основі опрацювання і практичної реалізації нових технологічних засобів обробки поверхонь тертя, що зберігають свою ефективність на всьому протязі експлуатації деталей.

2. Розроблений ряд нових технологічних засобів утворення на поверхнях тертя мастильних карманів лезовим і абразивним інструментом, в тому числі:

-засіб багатолезової обробки глибоких і коротких МК, оснований на застосуванні схеми попутного вихр'явого фрезерування:

-засіб формування МК абразивним інструментом з перервною ріжучою поверхнею;

-засіб формування маслосмного рельєфу абразивними планетарно рухомими ріжучими елементами із паралельними орбітальною і власною осями;

- засіб плоского шліфування дільниць поверхні між МК з формуванням рельєфу у вигляді рисок, що схрещуються, планетарно рухомими ріжучими елементами із перпендикулярними осями обертання.

3. Установлено, що найбільш перспективним, універсальним, технологічним, продуктивним і таким, що піддається управлінню, є засіб лезової обробки коротких і глибоких МК.

Порівняльні випробування показали, що цей засіб по показникам приробки і зносостійкості переважає всі інші відомі засоби формування МК.

4. Розроблена модель і одержані засоби управління рухом леза інструмента для засобу вихр'явого попутного фрезерування МК на внутрішніх циліндричних поверхнях тертя.

Аналогічні моделі розроблені також для зовнішніх циліндричних і плоских поверхонь тертя.

5. Одержані аналітичні залежності для розрахунку площі і об'єму одиничного мастильного кармана, режимів, що враховують обробку, конструктивні параметри деталі та інструменту, а також форму леза фрези.

6. Розроблені методика і математичне забезпечення для розрахунку режимів нанесення МК на поверхні тертя з заданими параметрами їх загальної площі, об'єму і сітки розміщення.

7. Запропонований засіб одержання сітей МК із змінними параметрами на основі накладення простих рельєфів.

8. Експериментально установлені області оптимальних значень відносно площі МК (32-42 %) і їх об'єму (40-50 мм<sup>3</sup> на 1000 мм<sup>2</sup> поверхні тертя).

9. Для обробки внутрішніх циліндричних поверхонь гільз ДВЗ розроблений новий технологічний процес, що включає звичайні види попередньої розточки, тонка розточка з утворенням глибоких рисок,

вихр'яве фрезерування МК і плосковершинне хонінгування. При цьому досягнуте загальне збільшення маслосмності поверхні тертя, що привело до поліпшення приробки деталей і зниження швидкості нормального зносу.

10. Розроблений новий засіб управління темпом зносу різноманітних дільниць поверхні тертя, оснований на зміні щільності сітки МК по дільницям з урахуванням експериментальних даних по нерівномірності їх зносу. Внаслідок застосування

запропонованого засобу нерівномірність зносу гільз ДВЗ як по висоті, так і по колу зменшилася практично в 4 рази.

11. Тривалі польові випробування ДВЗ, гільзи яких опрацьовувалися по запропонованій новій технології з утворенням нерівномірної сітки МК, показали наступні результати :

- скоротився на 25-30 % термін приробки ( обкатки) двигунів;

- на 10-15 % зросла їх ефективна потужність;

- на 20-25 % знизився видаток мастила;

- збільшилися міжремонтні терміни і загальний термін служби двигунів.

Загальний економічний ефект від впровадження технології в цінах 1997 р. склав 600 гривень на один двигун.

## СТИСЛИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

*У вступі* обгрунтована актуальність роботи, показані основні відміни обраного напрямку досліджень від існуючих і сформована її ціль.

*Перший розділ* присвячений аналізу сучасного стану питання, що дослідиться, і формуванню завдань, рішення яких необхідне для здобутку поставленої цілі дослідження.

На основі вивчення і критичного аналізу робіт провідних учених у галузі тертя і зносу, якості поверхні, стану поверхневого шару і його впливу на експлуатаційні властивості деталей машин, перспективних технологічних засобів забезпечення заданих параметрів якості поверхні, засобів підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей з урахуванням специфіки умов зносу пар тертя ДВЗ зроблені наступні висновки :

1. У специфічних умовах зносу деталей ДВЗ ефективність більшості відомих засобів підвищення їх зносостійкості надто обмежена.

2. З усіх пар тертя ДВЗ в найбільш важких умовах працюють деталі циліндро -поршневої групи і, зокрема, гільзи циліндрів, що терплять корозійно-механічний знос під дією підвищених і нерівномірних тисків, високих температур, водяного пара, сірчаної і вугільної кислот. Разом з тим, єдиним захистом поверхні стінок циліндрів від дії вологи і кислот служить тонкий шар мастильної плівки.

3. Головними особливостями зносу гільз циліндрів є чимала величина його нерівномірності уздовж утворюючої і дещо менша нерівномірність зносу уздовж кола. В окремих типах двигунів проблема вирівнювання темпу зносу гільз уздовж утворюючої вирішується конструктивними засобами шляхом настанови в верхній частині блоку циліндрів коротких гільз із зносостійкого чавуну. Проте, це ускладнює конструкцію циліндра, технологію його виготовлення і ремонту, але не знімає повністю проблему нерівномірного зносу. Даних про застосування технологічних засобів

вирівнювання темпу зносу уздовж осі гільз і уздовж кола в публікаціях на цей час нема. Нерівномірний знос гільз поки що не усувається ані конструктивними, ані технологічними засобами.

4. Основними недоліками традиційних засобів фінішної обробки поверхні тертя є :

- висока міра неоднорідності утворюваних мікрорельєфів і неблагосприятлива форма нерівностей;

- відносно мала несуща спроможність поверхонь і підвищений початковий знос;

- надмірно мала маслосмність поверхонь і обмежені можливості її управлінням.

5. Зазначені в п. 4 недоліки в чималій мірі усуваються утворенням на робочих поверхнях деталей регулярних чи частково регулярних мікрорельєфів з неперервними чи дискретними заглибленнями, що відіграють роль масляних карманів. В умовах підвищених тисків і температур переважними є замкнуті МК, що сприяють утриманню, а не вільному перетіканню мастила. Проте, довжина замкнутих МК при існуючих технологічних схемах реалізації відомих засобів їх формування виявляється надмірно великою. Це, в свою чергу, обмежує технологічні можливості управління співвідношенням площі МК і загальної площі поверхні тертя. Засобів одержання коротких замкнутих МК в цей час немає.

6. Найкращим технологічним засобом утворення ЧРМР вважається засіб вібраційної накатки поверхні, розроблений професором Ю. Г. Шнейдером. Проте глибина МК, що одержується цим засобом до 0.025 мм, і загальна маслосмність обробленої поверхні виявляються в більшості випадків недостатніми. Порівняння глибини рельєфу з величиною зносу гільз ДВЗ, що досягає 0.75 мм, призводить до висновку про зникнення початкового ефекту зниження темпу зносу деталей уже на терміні їх приробки.

7. Істотний вплив на зносостійкість деталей виявляє технологія їх обробки. Проте, практика різноманітних автомобільних фірм і тракторних заводів посвідчує про відсутність єдиного підходу до технології обробки однотипових поверхонь тертя. До цього часу залишаються недослідженими питання чіткої послідовності технологічних операцій, а також питання можливого суміщення лезової обробки глибоких і коротких МК з ефективними операціями так званої плосковершинної абразивної обробки.

Дані висновки склали основу завдань, що сформулювалися раніше дослідження.

*Другий розділ* присвячений опрацюванню нових технологічних засобів формування ЧРМР на поверхнях тертя лезовим і абразивним інструментом.

Суттєвість засобу лезової обробки глибоких і коротких МК викладена на прикладі їх фрезерування на внутрішній циліндричній поверхні деталі. Схема формування МК показана на рис.1. Зуб фрези

заглиблюється в метал деталі в крапці  $b_3$  і при подальшому, сумісному з деталлю, попутному повороті починає, знімаючи стружку, формувати одиничний МК. При повороті деталі на кут  $\alpha^2$ , а інструменту - на кут  $\beta$ , формування МК закінчується. Лінійна швидкість зубу фрези більше лінійної швидкості початкової крапки контакту на поверхні деталі, що опрацьовується, що досягається відповідним підбором кутових швидкостей фрези  $\omega_{фр}$  і деталі  $\omega_{дет}$ . Різниця цих швидкостей визначає одночасно швидкість різання, швидкість заглиблення зубу в метал (набір глибини) і швидкість кругової подачі. Наступний МК формується аналогічно черговим зубом інструменту.

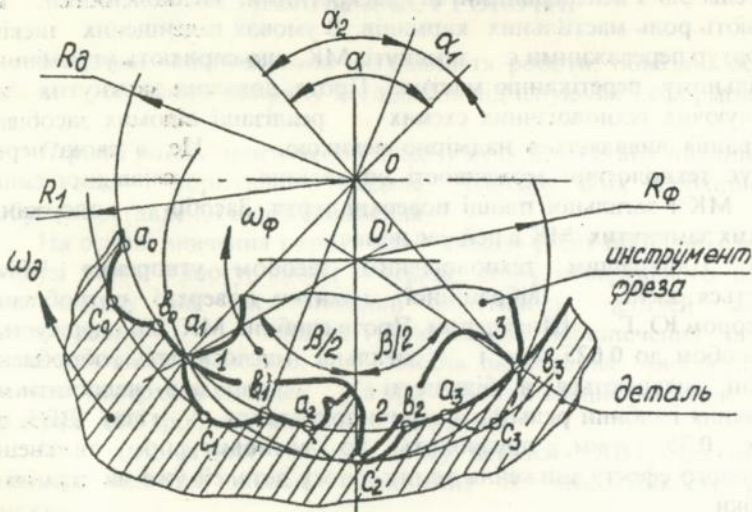


Рис. 1.

Форма і розміри МК, їх замкнутість і взаємне розміщення (сітка) забезпечуються конструкцією і геометрією інструменту (діаметр фрези, крок і форма зубів), розмірами деталі (діаметр і довжина отвору), налагодним розміром  $OO'$  між осями деталі і інструменту, а також режимними параметрами (співвідношення кутових швидкостей і швидкість осової подачі). Проведений на початковому етапі якісний аналіз схеми підтверджує можливість формування запропонованим засобом глибоких і коротких замкнутих МК на поверхнях тертя. Даний засіб дозволяє формувати МК і на деталях, що піддаються різноманітним тривким термообробкам. При цьому операція нанесення МК переноситься на етапи попередньої обробки.

Для деталей з матеріалів, що не піддаються лезовій обробці, запропонований ряд засобів утворення МК абразивним інструментом, у тому числі :

- засіб формування ЧРМР абразивним інструментом із переривчастою ріжучою поверхнею;
- засіб формування ЧРМР планетарно рухомими ріжучими елементами;
- засіб планетарного шліфування для формування шорсткості поверхні у вигляді перехрещених рисок та ін.

Схеми засобів з відповідними описами і розрахунками приведені в тексті роботи.

В третьому розділі розглянута кінематика основного розробленого засобу формування ЧРМР лезовим інструментом. На рис. 2, 3а) і 3б) приведені розрахункові схеми відповідно для внутрішніх циліндричних, зовнішніх циліндричних і плоских поверхонь.

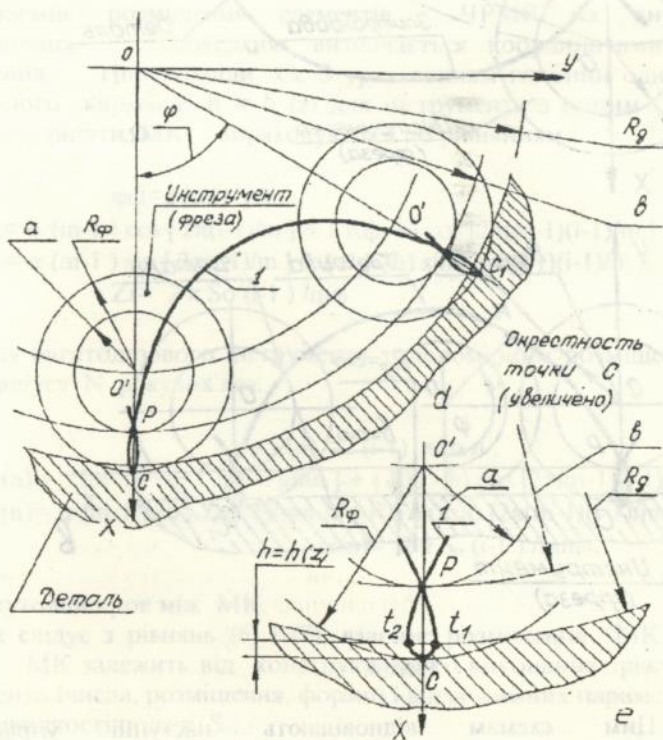


Рис. 2.



$$\begin{aligned} X &= \alpha (m-1) \cos \omega t + R_{\phi} \cos (m-1) \omega t, \\ Y &= \alpha (m-1) \sin \omega t - R_{\phi} \sin (m-1) \omega t \\ Z &= S_0 t; \end{aligned} \quad (1)$$

-для зовнішніх циліндричних поверхонь

$$\begin{aligned} X &= \alpha (m+1) \cos \omega t - R_{\phi} \cos (m+1) \omega t, \\ Y &= \alpha (m+1) \sin \omega t - R_{\phi} \sin (m+1) \omega t \\ Z &= S_0 t; \end{aligned} \quad (2)$$

-для плоских поверхонь

$$\begin{aligned} X &= a \omega t - R_{\phi} \sin \omega t, \\ Y &= a \omega t - R_{\phi} \cos \omega t, \end{aligned} \quad (3)$$

де  $t$  - час;  $m$  - безрозмірний параметр,  $m = \beta / \alpha$ ;  $\beta$  і  $\alpha$  - відповідно радіуси нерухомої і рухомої центроїд;  $\omega$  - орбітальна кутова швидкість інструмента;  $R_{\phi}$  - радіус фрези;  $S_0$  - швидкість осьової подачі уздовж осі  $Z$ .

В системі рівнянь (3) опущена координата  $Z$ , оскільки має місце дискретна реалізація подачі уздовж цієї координати.

Взаємне розміщення елементів ЧРМР на внутрішніх циліндричних поверхнях визначається координатами крапок повернення гіпотрохоїди  $C_i$ . З урахуванням глибини одиничного мастильного кармана  $h = h(z)$  для інструмента з одним ріжучим лезом координати МК вираховуються по рівнянням :

$$\varphi_{ci} = 2(i-1) \pi / m, \quad (4)$$

$$X_i = \alpha (m-1) \cos [2\pi(i-1)/m] + (R_{\phi} - h) \cos [2\pi(m-1)(i-1)/m]$$

$$Y_i = \alpha (m-1) \sin [2\pi(i-1)/m] \pm (R_{\phi} - h) \sin [2\pi(m-1)(i-1)/m] \quad (5)$$

$$Z_i = 2\pi S_0 (i-1) / m\omega$$

Для багатолезового інструмента з рівномірним розміщенням по колу і радіусу  $N$  ріжучих лез:

$$\varphi_{ci}(n) = 2(i-1) \pi / m n, \quad (6)$$

$$X_i(n) = \alpha (m-1) \cos [2\pi(i-1)/mn] + (R_{\phi} - h) \cos [2\pi(m-1)(i-1)/mn]$$

$$Y_i(n) = \alpha (m-1) \sin [2\pi(i-1)/mn] - (R_{\phi} - h) \sin [2\pi(m-1)(i-1)/mn] \quad (7)$$

$$Z_i(n) = 2\pi S_0 (i-1) / mn\omega,$$

де  $Y_{ci}$  -кутовий крок між МК.

Як слідує з рівнянь (6) і (7), взаємне розміщення МК (вигляд сітки МК залежить від конструктивного виконання ріжучих лез інструмента (числа, розміщення, форми) і від режимних параметрів :

- швидкості подачі  $S_0$ ;

- орбітальної  $\omega$ ; і власної  $\omega_c$  кутових швидкостей.

При цьому  $S_0$  визначає частоту МК в осьовому напрямі, а параметри  $m$  і  $n$  - в окружному.

Параметр  $n$  змінюється дискретно, а  $m = 1 + wc/w$  може змінюватися неперервно.

Якщо добуток  $mn$  - ціле позитивне число, то має місце сітка МК "коридорного" розміщення, тобто продовжні ряди МК не перекривають один одного в своїому напрямі. Якщо  $mn$  - дробове число, то спостерігається зміщення рядів МК в круговому напрямі (один з варіантів такого зміщення - "шахове" розміщення МК).

Зміна параметра  $m$  одночасно з частотою МК змінює і їх довжину.

$$L = 2R_d \arccos \left\{ \alpha(m-1) \cos \left\{ (1/m) \arccos \left\{ [R_d^2 - R_\phi^2 - \alpha^2(m-1)^2] / [2\alpha(m-1)R_\phi] \right\} \right\} \right\} + R_\phi \cos \left\{ [(m-1)/m] \arccos \left\{ [R_d^2 - R_\phi^2 - \alpha^2(m-1)^2] / [2\alpha(m-1)R_\phi] \right\} \right\} R_d, \quad (8)$$

тобто до зміни площі і маслоємності МК.

Змінюючи параметр  $S_0$ , можна зменшувати або збільшувати щільність МК в напрямі осі Z.

Далі в роботі виконаний аналіз впливу геометрії інструмента на форму МК і одержані рівняння для формоутворюючих поверхонь.

Площа поверхні одиничного МК визначається по формулі

$$S_n = \omega \iint (1/\sqrt{r^2 - z^2}) \{ r^2 [\alpha^2(m-1)^2 + R_\phi^2 - 2\alpha R_\phi(m-1) \cos m\omega t] - [\alpha(m-1)z/2]^2 [2 + \cos 2(m-2)\omega t - 3\cos 2m\omega t] \}^{1/2} dz dt, \quad (9)$$

де  $r$  - радіус заточки ріжучого леза;  $R_\phi$  - форма леза.

Загальна площа поверхні тертя, що займається мастильними карманами  $S_{ок}$ , одержується множенням площі одиничного МК ( $S_n$ ) на число МК ( $K_1$ ), що вираховується по формулі

$$K_1 = L\omega mn / 2\pi S_0, \quad (10)$$

де  $L$  - довжина поверхні, на якій формується ЧРМР.

Обсяг одиничного МК знаходиться з вислова

$$V = 2 \int_0^{z_1} S(z) dz, \quad (11)$$

де

$$S(z) = \alpha^2(m-1)^2 (\pi t - 0.5 \sin 2\pi t) - R_\phi^2 \pi(m-1)t + 0.5 R_\phi^2 \sin 2\pi(m-1)t + \alpha(m-1)R_\phi [\sin \pi(m-2)t - (1-2/m)\sin(\pi t/m)] \quad (12)$$

$Z_1$  - половина ширини леза інструмента.

Для розрахунку режимів нанесення сітки МК з заданими параметрами їх площі, обсягу і взаємного розміщення розроблені інженерна методика і її математичне забезпечення з урахуванням використання персональних ЕОМ.

В четвертому розділі приведені результати експериментального дослідження експлуатаційних властивостей пар тертя із частково регулярним мікрорельєфом робочих поверхонь. У структуру цього розділу ввійшла також загальна методика дослідження. Основною ціллю серії попередніх експериментів був вибір вигляду сітки МК. При цьому порівняльним випробуванням підлягали три види сітей:

I - ряди МК в напрямі відносного руху деталей в процесі тертя не дотикаються один до одного ("коридорне" розміщення рядів МК);

II - ряди МК дотикаються один до одного і мають осьове зміщення ("шахове" розміщення рядів МК);

III - ряди МК частково перекривають один одного ("шахове" розміщення з перекриттям рядів МК).

Результати досліджень показали, що наявність МК на поверхнях тертя навіть без оптимізації їх параметрів і при будь-якому вигляді сітки істотно підвищують зносостійкість деталей. Приробний знос зменшується до 3 разів, тривалість приробки скорочується в 1.5 - 2 рази. Кращі і приблизно однакові результати дають сіті МК II і III видів. В сітці I виду дещо ускладнені умови утворення суцільної мастильної плівки, що призводить до збільшення зносу деталей у порівнянні з сітками II і III видів. В загальній нагоді перевагу треба віддавати сітці МК II виду, що дозволить виконувати надто короткі МК, ніж сітці III виду.

Наступна серія експериментів була скерована на оптимізацію параметрів ЧРМР. За основні були обрані параметри відносної площі і маслоємності МК. Вони визначаються відношенням фактичних величин площі і обсягу карманів до площі стику поверхонь тертя. Відносна площа МК виражається в відсотках, а відносний обсяг - в  $\text{мм}^3$ , що припадає на  $1000 \text{ мм}^2$  площі тертя. Для визначення діапазонів оптимальних значень головних параметрів МК був застосований симплексний засіб оптимізації. У вигляді критеріїв оптимізації приймалися величина і темп приробного зносу. Додаткові експерименти, поставлені в умовах знайденого оптимума, а також результати зносу взірців після 20000 циклів тертя дозволили рекомендувати для практики у вигляді оптимальних параметрів МК такі їх значення:

- вид сітки II;

- відносна площа МК 30 - 40%;

- відносний об'єм МК 40-50  $\text{мм}^3$  на  $1000 \text{ мм}^2$  поверхні тертя.

Зазначеним значенням площі відповідають розрахункові величини довжини МК і відстані між ними в межах 3-4 мм.

Після обробки головних параметрів ЧРМР була проведена серія порівняльних випробувань ефективності різноманітних засобів обробки поверхонь тертя. Результати приведені в табл. I

На етапі приробки вихрьове фрезерування МК і вібронакатка поверхні дають практично однакові результати. Проте, при тривалих випробуваннях проявляються чималі привілеї засобу фрезерування глибоких МК.

Оскільки зносостійкість пар тертя залежить не тільки від наявності МК на робочих поверхнях, але і від якості опорної поверхні між МК, були проведені дослідження трьох варіантів технологічних процесів, що забезпечують різноманітні якості зазначених дільниць тертя на внутрішніх циліндричних поверхнях деталей:

- фінішне шліфування поверхні з наступним нанесенням на неї МК засобом вихр'явого фрезерування;
- хонінгування поверхні і аналогічне нанесення на неї МК;
- тонка розточка гострим різцем з утворенням глибоких рисок, фрезерування МК і плосковершинне хонінгування.

Маршрут попередньої обробки в усіх трьох варіантах технології був однаковим.

**Таблиця (1)**

Змачка-веретене м'ясо. Спосіб обробки	Тривалість приробки, хвили	Приробчий знос, мг	Знос після 20000 циклів ступня, мг
Відточне шліфування	29,7	16,4	483
Вібронакатання	15,3	4,7	168
Віхреве фрезерування	14,7	5,1	152
Шліфування МК переривчим крутом	21,2	9,3	307
Планетарне шліфування МК	18,5	7,9	273

Зазначені досліди проводилися на реальних гільзах ДВЗ по програмі стандартних стендових випробувань двигунів. Найкращі результати по часу початкової і повної приробки двигуна, а також по величині розмірного зносу гільзу були одержані на третьому варіанті технологічного процесу, що і рекомендовано для практичного застосування.

**П'ятий розділ** присвячений опрацюванню і дослідженню засобу технологічного управління темпом зносу різноманітних дільниць поверхні тертя.

Встановлені раніше зв'язки між відносною площею МК і зносостійкістю деталей дозволяють керувати темпом зносу на основі простого ущільнення чи розрідження сітки МК.

Суттєвість нового засобу укладається в наступному:

- на основі експериментальних даних влаштовується характер і темп зносу різноманітних дільниць поверхні тертя;
- влаштовуються емпіричні кордони дільниць з різноманітною величиною розмірного зносу;
- визначається відносний рівень нерівномірності зносу між різноманітними дільницями поверхні;

- з урахуванням нерівномірності зносу для різноманітних дільниць поверхні тертя назначаться різна величина відносної площі, що займається мастильними карманами (зміна площі допускається в межах від 0 до 45%);

- з метою збереження приблизно однакової і близької до оптимальної маслосмієності МК на дільницях з розміреною сіткою збільшується їх глибина;

- згідно з розробленою методикою вираховуються режими нанесення МК на різноманітні дільниці поверхні тертя;

- шляхом накладення сітей МК на робочу поверхню деталі наноситься нерівномірний рельєф, що враховує особливості характеру описаного засобу перевірки на реальних гільзах ДВЗ.

З урахуванням нерівномірного характеру їх зносу як по довжині, так і по колу була розроблена експериментальна сітка МК із змінною відносною їх площею по двом координатним напрямкам.

Для повної зіставленості результатів в один блок циліндрів з почерговим розміщенням по формі сітей МК були зібрані гільзи з рівномірною і нерівномірною сіткою. Після зборки двигун пройшов стандартний цикл випробувань і приробки, а після цього - польові випробування до 100 тис. км пробігу. Одержані після цього результати розмірного зносу гільз показали, що при перемінних параметрах сітки МК нерівномірність зносу гільз по довжині і по колу зменшилася майже в 4 рази.

В лабораторних умовах деякі види сітей зі змінними параметрами МК зменшували нерівномірність зносу в 7-10 разів. Треба визначити, що вирівнювання темпу зносу різноманітних дільниць поверхні тертя підвищує загальну зносостійкість і довговічність деталей машин.

*Основні положення дисертації опубліковані в наступних роботах:*

1. Новак Г.В., Якимов А.В., Буюкли И.М. Влияние регулярного рельефа сформированного на внутренних поверхностях гильз фрезерованием на мощностно-экономические показатели дизеля Д-240 //Сборник статей Всесоюз. науч. конф. "Износ в машинах и методы защиты от него", М., 1985 /.

2. Новак Г.В. Технологическое обеспечение формирования регулярного рельефа на поверхностях деталей алмазными резцами //Тезисы докладов респ. конф."Сверхтвердые материалы и инструменты в ресурсосберегающих технологиях", К., 1989, с. 3-5/.

3. Новак Г.В., Якимов А.В., Буюкли И.М. А.с.1329921 кл. В24В 7/02, 1986 г. Способ обработки поверхностей с регулярным рельефом. Автором предложен способ. Оpubл. 15.08.87 г., бюл. : N30.

4. Якимов А.В., Буюкли И.М., Новак Г.В., Бобык С.В. А.с. 1415593 МКИ В24В 1/00 Способ плоского шлифования. Автором предложен способ. Оpubл. 15.04.88 бюл. N14.

5. Якимов А.В., Буюкли И.М., Новак Г.В. А.с. 1401782 СССР, МКИ<sup>3</sup> В24В 1/00. Способ шлифования. Оpubл. 11.05.86., бюл. N22.

6. Буюкли И.М., Якимов А.В., Новак Г.В. А.с. 1726223 СССР, МКИ<sup>3</sup> В24Д 5/14. Способ прерывистого шлифования. Оpubл. 15.04.92., бюл. N14.
7. Буюкли И.М., Бирюков Б.Н., Новак Г.В., Гранкин П.И. А.с. 1556881 СССР, МКИ<sup>3</sup> В24В 33/02, 33/08. Устройство для хонингования. Оpubл. 15.04.90., бюл. N14 \$ 2.1 (Буюкли) литература.
8. Буюкли И.М., Якимов А.В., Новак Г.В., Лукьяненко Г.В., Зинченко Н.М., Кремнев Г.П. А.с. 1439888 СССР, МКИ<sup>3</sup> В24В 33/02. Способ хонингования. Оpubл. 09.06.86, бюл. N16.
9. Буюкли И.М., Якимов А.В., Бирюков Б.Н., Новак Г.В. А.с. 1305014 СССР, МКИ<sup>3</sup> В24Д 17/00. Абразивный инструмент. Оpubл. 23.04.87., бюл. N15.
10. Новак Г.В., Буюкли И.М., Хайловский Н.Т. Технология нанесения масляных карманов на поверхности трения деталей машин //Тез. докл. конф. "Ресурсо- и энергосберегающие технологии в машиностроении." - Одесса - 5 - 7 сентября 1995, с. 119-121.
11. Линчевский П.А., Новак Г.В., Буюкли И.М. Технологическое управление темпом износа быстроизнашивающихся участков деталей двигателей внутреннего сгорания. //Тез. докл. конф. "Ресурсо- и энергосберегающие технологии в машиностроении". - Одесса - 5 - 7 сентября 1995, с. 121-122.
12. Линчевский П.А., Новак Г.В., Хайловский Н.Т. Оптимизация параметров частично регулярного микрорельефа деталей двигателей внутреннего сгорания. //Тез. докл. конф. "Ресурсо- и энергосберегающие технологии в машиностроении" - Одесса -5-7 сентября 1995, с. 123-124.
13. Новак Г.В. Повышение износостойкости деталей машин технологическими методами. /тез. докл. конф. "Ресурсо- и энергосберегающие технологии в машиностроении" - Одесса -5-7 сентября 1995, с. 124-126.
14. Новак Г.В. Новые способы формирования частично регулярного микрорельефа. //Тез.междун.конф. "Высокі технології в машинобудуванні". Харків - Алушта 30 вересня - 4 жовтня 1996, с. 102.
15. Линчевский П.А., Новак Г.В., Хайловский Н.Т. Износостойкость поверхностей трения с ЧРМР //Тез. докл. конф. "Ресурсо- и энергосберегающие технологии в промышленности" Одесса 4-5 сентября 1996, с. 1 п.л.
16. Новак Г.В. Способ формирования ЧРМР на внутренних цилиндрических поверхностях // Тез. докл. конф. "Ресурсо- и энергосберегающие технологии в промышленности" Одесса 4-5 сентября 1996, с. 1 п.л.
17. Линчевский П.А., Новак Г.В., Буюкли И.М. Разработка новых технологических способов формирования ЧРМР на поверхностях пар трения. "Ресурсо- и энергосберегающие технологии в промышленности" Одесса 4-5 сентября 1996, с. 1 п.л.

## SUMMARY

**Novak G.V.** A magnification of the maintenance descriptions of the frictions pains of the internal combustion engines by means of the technological methods.

A dissertation for the technical sciences doctor's degree on the specialization 05.02.08 - the mechanical engineering technology, the Odessa State Polytechnic University, Odessa, 1997.

The new technological methods of cretion on the friction surfaces of the short and deep oil pockets using the blade and abrasive methods of grinding based on using schemes of the simultaneous and vortex cutting. The main accusatory specialities of the friction surface, ground by indicated methods are its magnificated oil capacity and depreciation stability, which are kept till the end of the details' maintenance term.

A subject to defend is also a new method of the technological guidance by the depreciation rates of different fields of the friction surfaces, based on the compression or thinning of the oilpockets' net, frequently decreasing the depreciation's unevenness and increasing the total depreciation stability and the durability of the machine's details.

## АННОТАЦІЯ

**НОВАК Г. В.** Підвищення експлуатаційних характеристик партертя двигунів внутрішнього згорання технологічними засобами.

Дисертація на здобуття наукової ступені кандидата технічних наук по спеціальності 05.02.08 технологія машинобудування. Одеський державний політехнічний університет, Одеса, 1997.

Захищаються нові технологічні засоби утворення на поверхнях тертя коротких і глибоких мастильних карманів з використанням засобів лезової і абразивної обробки на основі застосування схем попутного вихрьового різання. Основними відмінними особливостями поверхонь тертя, оброблених зазначеними засобами є їх підвищена маслоємність і зносостійкість, що зберігаються до кінця терміну експлуатації деталей.

Об'єктом захисту також є новий засіб технологічного управління темпом зносу різноманітних ділянок поверхонь тертя, оснований на ущільненні чи розріженні сітки мастильних карманів, що багаторазово зменшує нерівномірність зносу і що підвищує загальну зносостійкість і довговічність деталей машин.

Ключові слова: зносостійкість, частково регулярний мікрорельєф, мастильні кармани.

**АВ 37.755**

Подписано в печать 29.04.97 г. Формат 60x84/16.  
Тираж 100 экз. Заказ №261

---

Отпечатано с готового оригинал-макета в АО БАХВА,  
270009, Украина, г.Одесса, ул.Черняховского, 6