

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

КРАВЧЕНКО СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.436.001-52

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕСУРСУ ДВЗ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ
ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНОГО ЗМІЦНЕННЯ
РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ**

Спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Галузь знань 14 – електрична інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

С.А. Кравченко

Науковий консультант – Марченко Андрій Петрович, доктор технічних
наук, професор



*Звернувшись до місця
наших примірників
дисертації, завідувач
Відділу секретар
відділу редакції
№ 64.050.13
Ред'єв О. М.
07.02.2018р.*

Харків – 2018

АНОТАЦІЯ

Кравченко С.О. «Забезпечення ресурсу ДВЗ шляхом застосування дискретно–континуального зміцнення робочих поверхонь». – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки». – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2018.

У дисертаційній роботі розглянуто аналіз тенденції розвитку та умов експлуатації двигунів внутрішнього згорання, їх напрацювання до капітального ремонту та причини виходу з ладу. При аналізі матеріалів технічної літератури зроблено висновок, що незважаючи на дотримання умов експлуатації виходи з ладу високонавантажених деталей КШМ та циліндро-поршневої групи відбуваються в наслідок різних видів руйнування: - корозії, ерозії, кавітації, старіння матеріалу і так далі, але найпоширенішою причиною поломок є зношування робочих поверхонь пар тертя. Проведено аналіз відомих інженерних рішень підвищення надійності роботи високонавантажених деталей, зроблено висновок, що ресурс ДВЗ істотно залежить від якості отримання робочих поверхонь деталей, в тому числі і пари «колінчастий вал-вкладиш». Відомо, що для підвищення ресурсу роботи високонавантажених пар тертя використовується багато інженерних рішень, таких, як удосконалення конструкції вузла тертя, вибір матеріалу, спосіб виготовлення заготовки, порядок виконання операцій механічної обробки, а також, спосіб зміцнення робочих поверхонь. Розглянуто існуючі методи інженерії робочої поверхні високонавантажених пар тертя і методи підвищення їх надійності та ресурсу. В ході дослідження визначено, що існуючі технології зміцнення робочих поверхонь деталей мають ряд суттєвих недоліків, які не можна вирішити через особливості їх технологічних процесів. Поряд з великими енергетичними витратами, традиційні технології зміцнення не забезпечують необхідного рівня зносостійкості та втомної міцності деталей одночасно. В основному, всі ці технологічні процеси

зміцнення пов'язані з нагріванням металу деталі. Це призводить до знеміцнення серцевини металу деталі, деформації та утворення тріщин.

Дотримання вимог, які пред'являються до ресурсу роботи сучасних високофорсованих двигунів внутрішнього згорання при покращенні їх експлуатаційних характеристик, виникла необхідність в удосконаленні та розробці нових технологій зміцнення, які є менш енергоємними, екологічними та суттєво підвищують ресурс напрацювання деталей КШМ. Вирішенню цієї проблеми і присвячена ця дисертаційна робота, де розглянуто методологію (концепцію) створення нових та підвищення якості існуючих технологій зміцнення пар тертя деталей ДВЗ, що мають велике термомеханічне навантаження, поліпшення їх трибомеханічних характеристик, що в кінцевому підсумку сприяє підвищенню надійності та ресурсу роботи ДВЗ і забезпечує можливість їх подальшого форсування за потужністю.

Для досягнення зазначеної мети поставлені теоретичні й практичні завдання, які включають:

- розробку, формулювання та систематизування комплексу методів дослідження для удосконалення існуючих технологій зміцнення поверхонь тертя навантажених деталей ДВЗ;

- розробку комплексу математичних моделей фізико-механічних процесів зміцнення;

- проведення комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану, тертя і зношування зміцнених поверхонь деталей;

- здійснення аналізу фізико-хімічної сутності процесу дискретного зміцнення, удосконалення технологічного обладнання та покращення механічних властивостей зміцнених поверхонь;

- на базі проведених досліджень запропонувати і обґрунтувати новий комплексний метод обробки робочих поверхонь високонавантажених деталей ДВЗ, одна з яких зміцнена методом дискретного зміцнення, інша –

континуального зміцнення, та запропонувати нову пару тертя на базі цих методів зміцнення;

– здійснити стендові експериментальні дослідження із використанням у парах тертя комбінованого застосування запропонованих технологій зміцнення робочих поверхонь в вузлах тертя;

– узагальнити отримані результати та на цій базі запропонувати для машинобудівної галузі конкретні підходи до моделювання і дослідження процесів і станів деталей ДВЗ при їх проектуванні та виготовленні, а також, запропонувати нові технологічні рішення із удосконалення існуючих та розробки нових технологій зміцнення.

Об'єктом дослідження є фізико-механічні процеси, які протікають у парах тертя високонавантажених деталей двигунів внутрішнього згорання. В дисертаційній роботі виконано дослідження техніко-економічних характеристик і фізико-механічних процесів дизельного двигуна: гідравлічні і механічні процеси кривошипно–шатунного механізму, режими технологічних процесів зміцнення та їх вплив на надійність роботи високонавантажених деталей кривошипно-шатунного механізму, трибомеханічні властивості та напружено-деформований стан зміцнених деталей ДВЗ та запропоновані шляхи вдосконалення існуючих технологій електроіскрового легування з напрямком на зміцнення оброблюваних поверхонь та наданням їм нових триботехнічних якостей. Проведені розрахункові і металографічні дослідження взаємодії двох зміцнених поверхонь, одна з яких зміцнена методом дискретного зміцнення, а інша – методом мікродугового оксидування, дозволили зробити висновок про те, що їх комбіноване використання у вузлі тертя суттєво поліпшує умови приробітку робочих поверхонь деталей, сприяє їх задиро– та зносостійкості. Для виконання теоретичних досліджень були розроблені фізичні та математичні моделі фізико-механічних процесів контактної взаємодії зміцнених деталей КШМ. Для вирішення поставленої задачі застосовано методскінченних елементів, який на цей час досяг достатньої глибини теоретичного

обґрунтування. Він реалізований у вигляді сучасних програмних пакетів (ANSYS, NASTRAN), які мають широкі функціональні можливості для побудови скінченно-елементних моделей при моделюванні різних фізико-механічних процесів. У дисертаційній роботі врахована основна ідея розширеного параметричного підходу, яка полягає в тому, що реалізований у системах CAD/CAM/CAE звичайний параметричний підхід при використанні спеціалізованих модулів може бути розширений. Крім того, засоби скінченно-елементного моделювання інтегруються в системи автоматизованого проектування (Pro/ENGINEER (Creo), CATIA, SolidWorks). Це дає змогу розв'язувати не тільки задачі аналізу НДС, а й окремі задачі синтезу. Такий підхід дозволяє розглядати одночасно декілька варіантів досліджуваних об'єктів.

Розглянуто числовий аналіз напружено-деформованого стану елементів взаємодії шийки колінчастого валу ДВЗ та сталевалюмінієвого вкладиша. При розрахунках враховувалася схема розміщення дискретно зміцнених зон на шийці колінчастого валу, їх характеристики (діаметр, глибина зміцнення, коефіцієнт дискретності). Для отримання осесиметричної картини напружено-деформованого стану у зоні дискретного зміцнення була побудована скінченно-елементна модель з 1,5 млн. вузлів та 403 тис. елементів. З отриманих результатів видно, що профіль деформованої поверхні сприятливий для роботи у процесі контактної взаємодії, оскільки при цьому контактний тиск перерозподіляється, збільшуючись в області легованого матеріалу та зменшуючись при віддаленні від нього. Цей ефект в дисертації названий « Δ -ефект». Чим більший тиск, тим більше деформується тіло деталі, тим більший ефект перерозподілу зусиль контактної взаємодії в бік найбільш міцної ділянки спряження. Таким чином, « Δ -ефект» характеризує перерозподіл навантаження між зонами зміцнення та основним металом. Розрахунковим шляхом отримано та інтегрально підтверджено при виконанні експериментальних робіт на лабораторних машинах тертя 2070 СМТ-1 « σ -ефект», який полягає в тому, що при сумісному деформуванні

розплавленого металу в дискретно зміцненій зоні (ДЗЗ) при застиганні створюється залишковий напружений стан, який при суперпозиції з напруженим станом від дії тиску дає ефект зменшення рівня результуючих напружень. Ці фактори створюють позитивні тенденції в усьому діапазоні трибомеханічних характеристик у зоні контактної взаємодії деталей, одна з яких модифікована методом дискретного зміцнення, а інша – методом мікродугового оксидування (корундуванням поверхневого шару деталі). З аналізу отриманих результатів видно, що в області дискретного зміцнення спостерігається більш високий рівень контактного тиску, ніж в області контакту з основним матеріалом деталі. Це і підтвердилося Δ і σ ефектами. У дисертаційній роботі розглянуто питання фізико-хімічної сутності процесу дискретного зміцнення високонавантажених поверхонь шийок колінчастого валу двигунів внутрішнього згорання та вплив цієї технології на їх механічні властивості. Досліджено чинники, які впливають на процес дискретного зміцнення. Розглянутий у дисертаційній роботі спосіб дискретного зміцнення відрізняється від відомих тим, що електророзряд здійснюється при зіткненні анода з поверхнею деталі, іншими словами процес включає елементи точкового зварювання. У результаті зміцнюється робоча поверхня деталі та відбувається покращення триботехнічних характеристик пари тертя. При цьому були удосконалені режими і технологічні пристосування технології дискретного зміцнення, розглянуті питання вибору електродних матеріалів, від чого залежать характеристики зміцненого шару, його мікроструктура та хімічний склад. На підставі виконаних досліджень технічної літератури і, використовуючи результати робіт інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, був встановлений порядок фазового переходу елементів катода на поверхню анода (деталі). Згідно величини ерозії хімічні елементи розташовуються в такому порядку Sn – Cd – Pb – Zn – Al – Ag – Cu – Ni – Co – Fe – Mo – W. Таке розташування елементів діє і при використанні електродів іншого хімічного складу.

Розроблені в дисертаційній роботі підходи, концепція, методи та моделі є методологічною базою для вирішення практичних проблем при створенні, модернізації та форсуванні сучасних ДВЗ із підвищеними технічними характеристиками надійності, ресурсу роботи та трибомеханічними характеристиками.

За участю фахівців ДП «Завод ім. В.О. Малишева» та ПНДВК фірми «ТАВІ» доопрацьовано технологічне обладнання, за основу якого була взята установка «Дискрет-04», розроблена в інституті проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України та впроваджено у виробництво (при виготовленні і ремонті) ДВЗ методику зміцнення робочих поверхонь шийок колінчастих валів (зокрема, дискретне зміцнення на базі розвитку технології електроіскрового легування), що порівняно із традиційними технологіями дало змогу підвищити ресурс колінчастих валів тепловозних дизелів у 2-3 рази.

Результати наукових досліджень узагальнені та на їх базі розроблено рекомендації щодо впровадження результатів роботи у практику науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у ДП «ХКБД» (м. Харків) та у виробництво при виготовленні дизелів на ДП «Завод ім. В.О. Малишева», а також використовуються при проведенні наукових досліджень та підготовці фахівців на кафедрі двигуни внутрішнього згорання НТУ «ХП».

Ключові слова: Комбіноване застосування технологій континуального та дискретного континуального зміцнення, пари тертя, дискретне зміцнення корінних та шатунних шийок колінчастих валів, зміцнення антифрикційного шару сталевалюмінієвих вкладишів із алюмінієвого сплаву АМ01-20 методом мікродугового оксидування.

Список публікацій здобувача за темою дисертації .

1. Континуальная и дискретно-континуальная модификация поверхностей деталей: монография / [Ткачук Н.А., Дьяченко С.С., Посвятенко Э.К., Кравченко С.А., Гончаров В.Г., Шпаковский В.В., Белов

Н.Л., Шейко А.И., Олейник А.К., Пономаренко И.В.] – Х.: «Щедра садиба плюс», 2015. – 259 с.

2. Кравченко С.А. Обоснование выбора двигателей новых маневровых тепловозов / В.Н. Зайончковский, С.А. Кравченко, Г.В. Кривякин // Вісник Східноукраїнського національного університету. – 2001. – №7[41]. – С. 172 – 175.

3. Кравченко С.А. Результаты сравнительных реостатных испытаний тепловозов 2ТЭ116 с дизелями 1Д80Б и 5Д49 / В.Н. Зайончковский, Э.Д. Тартаковский, С.А. Кравченко // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. 2001. – №26. – С. 38 – 40.

4. Кравченко С.А. Влияние величины механических потерь в газовом двигателе на процесс возникновения детонации / А.А. Прохоренко, В.А. Пылёв, С.А. Кравченко, В.В. Шпаковский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – №2. – С. 91 – 93.

5. Кравченко С.А. Повышение надёжности деталей двигателей методом дискретного упрочнения / С.А. Кравченко, В.Г. Гончаров // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. – №1. – С. 97 – 99.

6. Кравченко С.О. Наукові основи зміцнення поверхонь високонавантажених елементів двигунів / В.Г. Гончаров, М.А. Ткачук, С.С. Д'яченко, С.О. Кравченко, В.М. Шеремет // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2009. – №28. – С. 20-28.

7. Кравченко С.О. Поліпшення надійності важких транспортних машин технологічними методами / Е.К. Посвятенко, С.О. Кравченко, Н.І. Посвятенко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – НВП ІІІ «Технологічний центр». – 2010. – №3/3(45). – С. 63–66.

8. Кравченко С.А. Числове обґрунтування параметрів дискретного зміцнення високонавантажених деталей машин./ Е.К. Посвятенко, С.С. Д'яченко, В.Г. Гончаров, М.А. Ткачук, В.М. Шеремет, О.В. Кохановська,

С.О. Кравченко // Вісник національного технічного університету „ХПІ”. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – №51. – С. 111–136.

9. Кравченко С.А. Научное обоснование параметров дискретного упрочнения высоконагруженных деталей транспортных энергетических установок / И.В. Парсаданов, С.А. Кравченко, Н.А. Ткачук, В.Н. Шеремет // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон: ХМДА. – 2012. – №1(6). – С. 298–309.

10. Кравченко С.А. Снижение коэффициента трения пары коленчатый вал-вкладыш двигателей магистральных тепловозов применением дискретного упрочнения и гальваноплазменной обработки / В.В. Шпаковский, С.А. Кравченко, А.К. Олейник // Двигатели внутреннего сгорания. – 2013. – №1. – С. 98 – 101.

11. Кравченко С.А. Повышение прочностных и трибомеханических характеристик элементов машиностроительных конструкций на основе комбинированных методов упрочнения приповерхностных слоёв / Н.А. Ткачук, О.В. Веретельник, А.В. Грабовский, С.А. Кравченко, С.Ю. Белик // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – №1. – С. 54 – 62.

12. Кравченко С.А. Численное моделирование контактного взаимодействия деталей ДВС изготовленных с применением комбинированных технологий / Н. А. Ткачук, О. В. Веретельник, А. В. Грабовский, С. А. Кравченко, С. Ю. Белик // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – №2. – С. 63 – 67.

13. Кравченко С.О. Методи, засоби та технології дискретно-континуального зміцнення поверхневих шарів деталей машин / М.А. Ткачук, М.Л. Бєлов, О.І. Шейко, Е.К. Посвятенко, С.О. Кравченко, В.В. Шпаковський, С.С. Дяченко, В.Г. Гончаров, І.В. Пономаренко, В.М. Шеремет // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 31 (1140). – С. 100–110.

14. Кравченко С.А. Применение комбинированных технологий упрочнения трущихся поверхностей двигателей внутреннего сгорания и

численное моделирование их контактного взаимодействия / А.П. Марченко, С.А. Кравченко, Н.А. Ткачук, Е.В. Белоусов, В.В. Шпаковский // *Механіка та машинобудування*. –Харків: НТУ «ХПІ», НПКП «Механіка». – 2015. – № 1. – С. 142 – 148.

15. Кравченко С.А. Разработка конструкции «лёгкого» поршня для дизелей типа Д100 / А.В. Белогуб, Нгуен Ван Зионг, О.Ю. Линьков, С.А. Кравченко *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2016. – №1. – С. 50-55.

16. Кравченко С.О. Технологія дискретного та комбінованого зміцнення для збільшення ресурсу елементів конструкцій військової та цивільної мобільної техніки: визначення параметрів на основі комп'ютерного моделювання / А.П. Марченко, М.А. Ткачук, С.О. Кравченко, О.В. Веретельник, В.Г. Гончаров, О.В. Кохановська, І.Я. Храмцова, А.М. Головін, В.В. Шаманська // *Транспортне машинобудування*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. –№ 14(1236). – С. 161 – 174.

17. Кравченко С.О. Покращення теплонапруженого стану днища головки циліндрів середньообертового дизеля / О.Ю.Ліньков, С.А. Кравченко, В.В. Пильов, Д.В. Бенін // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2017. –№2. – С. 44-47.

18. Кравченко С.А. Влияние микродугового оксидирования на характеристики трения и износа материалов сопряжения коленчатый вал-вкладыш двигателей типа Д100 и Д80 / В.В. Белозёров, И.Б. Казак, А.К. Олейник, С.А. Кравченко // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2017. – №2. – С. 47–51.

19. Кравченко С.А. Комбинированные технологии повышения износостойкости высоконагруженных пар трения / С.А. Кравченко, Э.К. Посвятенко, Н.А. Ткачук, О.В. Веретельник // *System sandmean sofmotor transport*. –Politechnika rzeszowska. – 2014. – №5. – Р. 269 – 280.

20. Деклараційний патент. 51915 А Україна, F02B67/04, F16F15/26. Двигун внутрішнього згорання / Кравченко С.О.,Тернопол В.П., Зайончковський В.М., Будьоний М.М., Золотов Ю.М., Малакей А.М.,

Макаров В.М.; заявник та власник патенту Тернопол В.П. – № 2001085876; заявл. 21.08. 2001; опубл. 16.12.2002, Бюл. №12.

21. Деклараційний патент. 1629 Україна, F02B67/04. Двигун внутрішнього згоряння/ Кравченко С.О.,Зайончковський В.М., Будьоний М.М., Тернопол В.П., Тараканов С.І., Золотов Ю.М., Макаров В.М., Дорош С.І.; заявник та власник патенту Державне підприємство «Завод імені В.О. Малишева». – № 2002032199; заявл. 19.03. 2002; опубл. 17.02.2003, Бюл. №2.

22. Деклараційний патент. 55034 А Україна, F02B67/04, F02B77/14, F16H1/04. Двигун внутрішнього згоряння / Кравченко С.О. Зайончковський В.М., Будьоний М.М., Тернопол В.П., Столбовой А.С., Тараканов С.І., Журавель О.Д., Заславський Ю.Г., Макаров В.М.; заявники та власники патенту Зайончковський В.М., Будьоний М.М., Тернопол В.П., Столбовой А.С., Тараканов С.І., Журавель О.Д., Заславський Ю.Г., Кравченко С.О. Макаров В.М. – № 2002064976; заявл. 17.06.2002; опубл. 17.03. 2003, Бюл. №3.

23. Деклараційний патент. 1667 Україна, F02B75/06, F02B67/04. Двигун внутрішнього згоряння/ Кравченко С.О.,Зайончковський В.М., Будьоний М.М., Миргородський Ю.Я., Тернопол В.П., Столбовой А.С., Тараканов С.І.,Дорош С.І., Макаров В.М.; заявник та власник патенту Державне підприємство «Завод імені В.О. Малишева». – № 2002043580; заявл. 29.04. 2002; опубл. 17.03.2003, Бюл. №3.

24. Деклараційний патент. 56728 А Україна, F02B67/0,4, F01L1/34. Двигун внутрішнього згоряння / Кравченко С.О.,Зайончковський В.М., Будьоний М.М., Тернопол В.П., Столбовой А.С., Тараканов С.І., Журавель О.Д., Заславський Ю.Г., Дорош С.І.; заявники та власники патенту Зайончковський В.М., Будьоний М.М., Тернопол В.П., Столбовой А.С., Тараканов С.І., Журавель О.Д., Заславський Ю.Г., Кравченко С.О. Дорош С.І. – № 2002086956; заявл. 23.08. 2002; опубл. 15.05.2003, Бюл. №5.

25. Деклараційний патент. 2095 Україна, F02B63/06. Блок модуль бурового насоса з дизельним приводом/ Кравченко С.О.,Момт Д.І., Чернов

В.В.; заявник та власник патенту Приватне підприємство «Поліус». – № 20032120; заявл. 18.02.2003; опубл. 15.10.2003, Бюл. №10.

26. Деклараційний патент. 66510 А Україна, F16D3/26. Механічна передача/ Кравченко С.О., Тернопол В.П., Зайончковський В.М., Будьоний М.М., Миргородський Ю.Я., Столбовой А.С., Золотов Ю.М., Заславський Ю.Г., Тараканов С.І., Рузов В.О. Заявник та власник патенту Тернопол В.П. – № 2003076118; заявл. 01.07.2003; опубл. 17.05.2004, Бюл. №5.

27. Деклараційний патент. 72071 А Україна, F02D33/02, F02B39/08, F02B23/10. Силова установка / Кравченко С.О., Зайончковський В.М., Будьоний М.М., Миргородський Ю.Я., Тернопол В.П., Заславський Ю. Г., Столбовой А.С., Рузов В.О., Тараканов С.І.; заявники та власники патенту Зайончковський В.М., Будьоний М.М., Миргородський Ю.Я., Тернопол В.П., Заславський Ю. Г., Столбовой А.С., Кравченко С.О., Рузов В.О., Тараканов С.І.; – № 20021210800; заявл. 29.12.2002; опубл. 17.01. 2005, Бюл. №1.

28. Пат. 77194 України, F02B67/04, F02B75/06, F16F15/22. Двигун внутрішнього згорання / Кравченко С.О., Тернопол В.П., Зайончковський В.М., Гриценко Г.Д., Миргородський Ю.Я., Бобов Є.Ф., Столбовой А.С., Седнєвець С.В., Білоусова В.С., Дорош С.І., Золотов Ю.М.; заявники та власники патенту Тернопол В.П., Зайончковський В.М., Гриценко Г.Д., Миргородський Ю.Я., Бобов Є.Ф., Столбовой А.С., Седнєвець С.В., Білоусова В.С., Дорош С.І., Кравченко С.О., Золотов Ю.М. – № 2004021102; заявл. 16.02.2004; опубл. 15.09.2005, Бюл. № 9.

29. Пат. 69125U України, F02M 3/00, F02M 7/00. Спосіб роботи газового двигуна внутрішнього згорання / Кравченко С.О., Дяченко В.Г. Заявник та власник патенту Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» – № u 201110232; заявл. 22.08.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. №8.

30. Кравченко С.А. Повышение надёжности чугунных коленчатых валов двигателей транспортных средств методом дискретного упрочнения / С.А. Кравченко, В.Г. Гончаров// Сучасні проблеми двигунобудування: стан,

ідеї, рішення. 21-22 травня 2009 р.:III Всеукр.науково-техніч. конф.,21-22 трав. 2009 р.: тези доп. – Первомайськ, 2009. – С. 95-98.

31. Кравченко С.А.Технологія дискретного зміцнення поверхонь деталей машин: переваги, обґрунтування, параметрів та режимів технології / В.М. Шеремет, С.О. Кравченко, М.А. Ткачук, Т.О. Васильєва // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XVIII міжнар.науково-практич. конф., 12 – 14 трав. 2010 р.: тези доп. – Харків, 2010. – Ч. 1. – С. 261.

32. Кравченко С.А. Повышение надёжности транспортных энергетических установок путём применения новых технологий / И.В. Парсаданов, С.А. Кравченко, В.Г. Гончаров, И.Н. Карягин// Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування: всеукр.науково-практич. конф., 12-14 Жовтня 2011 р.: тези доп. –Херсон, 2011. – С. 140-144.

33. Кравченко С.А. Повышение надёжности работы двигателей производства ГП «Завод им. В.А. Малышева» для магистральных тепловозов. / В.В. Шпаковский, С.А. Кравченко, А.К. Олейник, И.Н. Карягин // Сучасні проблеми двигунобудування: стан, ідеї, рішення: V Всеукр.науково-техніч. конф., 22-23 трав. 2013 р.: тези доп. – Первомайськ, 2013. – С. 265-271.

34. Кравченко С.А. Повышение надёжности работы пары коленчатый вал – вкладыш двигателей типа Д100 путём применения новых технологий / В.В. Шпаковский, С.А. Кравченко, А.К.Олейник, И.Н. Карягин // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування: 4-та всеукр. науково-практич. конф., 9-11 жовт. 2013 р.: тези доп. –Херсон, 2013. – С. 168-171.

35. Кравченко С.А. Разработка вкладышей двигателей типа Д100 с применением комбинированных технологий упрочнения трущихся поверхностей / С.А. Кравченко, А.К. Олейник // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування: 5-та

всеукр. науково-практич. конф., 01-03 жовт. 2014 р.: тези доп. – Херсон, 2014. – С. 72-76.

36. Кравченко С.А. Дискретно-континуальные методы упрочнения поверхностных слоёв тяжело нагруженных элементов машин / В.В. Шпаковский, С.О. Кравченко, В.Н. Шеремет, Э.К. Посвятенко, Н.А. Ткачук // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXII Міжнар.науково-практич. конф., 15 – 17 жовт., 2014 р.: тези доп. – Харків, 2014. – Ч. 1. – С. 248.

37. Кравченко С.О. Дискретно-континуальні методи зміцнення деталей двигунів і агрегатів для спеціальної техніки / М.А. Ткачук, С.О. Кравченко, В.В. Шпаковский, Е.К. Посвятенко, О.І. Шейко// Инженерия поверхности и реновация изделий: XV междунар. науч.-техн. конф., 01 – 05 июн., 2015 г.: тезисы докл. – Одесская обл., Затока, 2015. – С. 183-186.

38. Кравченко С.О. Нові методи дискретно-континуального зміцнення високонавантажених деталей машин / С.О. Кравченко, В.М. Шеремет, М.А. Ткачук, О.В. Веретельник, О.І. Шейко, М.Л. Белов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : XXV міжнар. науково-практич. конф. MicroCAD-2017, 17 – 19 трав. 2017 р.: тези доп. – Харків: НТУ «ХП». – Ч.І. – С. 190.

39. Кравченко С.А. Повышение надёжности и влияние микродугового окисления на пару трения коленчатый вал-вкладыш двигателей типа Д100 и Д80 / А.П. Марченко, С.А. Кравченко, И.Н. Карягин// Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування: 8 міжнар. науково-практич. конф., 28-29 верес. 2017 р.: тезидоп. – Херсон, 2017. – С. 271-273.

ABSTRACT

Kravchenko S.A. **"Ensuring the resource of the DWR by applying discrete-continual technologies for strengthening the working surfaces"** - Manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.05.03 - Engines and power plants. - National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, 2018.

In dissertation work the analysis of tendencies of development and conditions of operation of internal combustion engines, their work up to overhaul and reasons of failure are considered. In the analysis of materials of technical literature, it was concluded that despite the observance of operating conditions, failures of high-loaded parts of the KSHM and cylinder-piston group occur in the investigation of various types of destruction: - corrosion, erosion, cavitation, aging of the material, and so on, but the most common cause of failure is wearing of working surfaces of friction pairs. The analysis of known engineering solutions for increasing the reliability of work of high-loaded parts has been made, it is concluded that the life of the internal combustion engine depends essentially on the quality of obtaining the working surfaces of the parts, including the pair of "crankshaft". It is known that in order to increase the work life of highly loaded friction pairs, many engineering solutions are used, such as improving the design of the friction unit, the choice of material, the method of manufacturing the workpiece, the procedure for performing machining operations, and the way to strengthen the working surfaces. The existing methods of engineering of the working surface of highly loaded friction pairs and methods of increasing their reliability and resource are considered. In the course of the study, it was determined that existing technologies for strengthening working surfaces of parts have a number of significant drawbacks, which can not be solved due to the peculiarities of their technological processes. Along with high energy costs, traditional hardening technologies do not provide the required level of wear

resistance and wear resistance of parts at the same time. Basically, all these technological processes of strengthening are associated with the heating of metal parts. This leads to a deterioration of the core metal details, deformation and formation of cracks. Responding to the requirements imposed on the resource of modern high-speed internal combustion engines. There was a need for improvement and development of new technologies of strengthening which are less energy intensive, ecological and significantly increase the resource of working out of parts of the CS. This dissertation is devoted to this problem and discusses the methodology (concept) of creating new and improving the quality of existing technologies for strengthening the friction pairs of parts of the ICE, which have a large thermomechanical load, improve their tribomechanical ones, which ultimately contribute to the increase of the reliability and life of the work of the ICE and provides the opportunity their subsequent jerking on power. To achieve this goal, the following theoretical and practical tasks have been set, which include: - development, formulation and systematization of a set of research methods to improve the existing methods of strengthening the surfaces of friction of loaded parts of the ICE; - development of a complex of mathematical models of physical and mechanical processes of strengthening; - computer simulation of the stress-strain state, friction and wear of reinforced surfaces of parts; - to carry out the analysis of the physical and chemical nature of the process of discrete strengthening, technological equipment and mechanical properties of reinforced surfaces; on the basis of the performed researches, to propose and substantiate a new complex method of processing the working surfaces of high-loaded parts of the ICE, one of which is strengthened by the method of discrete strengthening, the other - continual strengthening, and to offer a new friction pair based on these methods of strengthening; - to carry out bench experimental research using friction pairs of combined technologies for strengthening working surfaces in friction units; - to summarize the obtained results and on this basis to offer for the machine-building industry specific approaches to modeling and researching the processes and conditions of the parts of the ICE in their design and

manufacturing. To propose new technological solutions for improving existing and developing new technologies of strengthening.

The object of research is the physical and mechanical processes that occur in the friction pairs of high-loaded parts of internal combustion engines. In the dissertation work the research of technical and economic characteristics and physical-mechanical processes of a diesel engine was performed: hydraulic and mechanical processes of the crank mechanism, modes of technological processes of strengthening and their influence on the reliability of work of high-loaded parts of the crank mechanism, tribomechanical properties and stressed-deformed state of the strengthened parts of the ICE and proposed ways to improve the existing technology of electrospray doping with a focus on strengthening the surfaces to be treated and providing them with new tribotechnical qualities. Computational and metallographic studies of the interaction of two reinforced surfaces, one of which were strengthened by the method of discrete strengthening, and the other by the method of microarc oxidation, allowed to conclude that their combined use in the friction unit significantly improves the conditions of elasticity of the working surfaces of the parts, promotes their close-up and wear resistance. To perform theoretical studies, physical and mathematical models of physical and mechanical processes of contact interaction of hardened parts of the CM were developed. To solve the problem, a finite element method has been applied, which at this time has reached a sufficient depth of the theoretical substantiation. It is implemented in the form of modern software packages (ANSYS, NASTRAN), which have wide functional capabilities for the construction of finite element models in the simulation of various physical and mechanical processes. In the dissertation work the basic idea of the expanded parametric approach is taken into account, that the usual parametric approach implemented in CAD / CAM / CAE systems with the use of specialized modules can be expanded. In addition, finite element modeling tools integrate into automated design systems (Pro / ENGINEER (Creo), CATIA, SolidWorks). This allows us to solve not only the problems of the analysis of the SSS, but also individual synthesis problems. This approach allows to consider

simultaneously several variants of investigated objects. The numerical analysis of the stress-strain state of the elements of interaction between the neck of the crankshaft DSI and the steel-aluminum insert is considered in the following. In calculations the scheme of placement of discretely strengthened zones on the neck of the crankshaft, their characteristics (diameter, depth of hardening, coefficient of discreteness) was taken into account. To obtain an axisymmetric picture of a stress-strain state in the discrete hardening zone, a finite-element model with 1.5 million nodes and 403 thousand elements was constructed. From the obtained results it can be seen that the profile of the deformed surface is favorable for work in the process of contact interaction, since the contact pressure is redistributed, increasing in the area of the doped material and decreasing in the distance from it. This effect in the dissertation is called " Δ -effect". The greater the pressure, the more deformed the body parts, the greater the effect of redistribution of the efforts of contact interaction towards the strongest linking area. Thus, the " Δ -effect" characterizes the redistribution of the load between the reinforcing zones and the base metal. The calculation is obtained and integrally confirmed during the experimental work on laboratory friction machines 2070 SMT-1, " σ -effect", which consists in the fact that with the joint deformation of the molten material of the remote-sensing device at the cooling, a residual stressed state is created, which, when superposition with a stressed state from the action of pressure gives the effect of reducing the level of resulting stresses. These factors create positive tendencies in the whole complex of tribomechanical characteristics in the area of contact interaction of parts, one of which was modified by the method of discrete hardening, and the other by the method of microarc oxidation (corundum of the surface layer of the part). From the analysis of the obtained results it can be seen that in the field of discrete strengthening there is a higher level of contact pressure than in the field of contact with the main material of the part. This was confirmed by Δ and σ effects. In the dissertation work the questions of physical and chemical essence of the process of discrete strengthening of high-loaded surfaces of crankshaft necks of internal combustion engines and the influence of this technology on their mechanical

properties are considered. The factors influencing the discrete strengthening process are investigated. In the dissertation paper, the method of discrete hardening differs from that known by the fact that the discharge is carried out when anode collides with the surface of a part, in other words, the process includes elements of spot welding. As a result, the working surface of the parts is strengthened and the triboration characteristics of the friction pair are improved. At the same time, the modes and technological adaptations of the discrete strengthening technology were improved, the issues of the choice of electrode materials were considered. On this depends the characteristics of the strengthened layer of its microstructure and chemical composition. On the basis of performed researches of technical literature and using the results of the Institute of Problems of Materials Science. IM Frantsevich of the National Academy of Sciences of Ukraine, the order of the phase transition of the cathode elements to the surface of the anode (details) was established. According to the size of the erosion, the chemical elements are arranged in such order Sn - Cd - Pb - Zn - Al - Ag - Cu - Ni - Co - Fe - Mo - W. Such arrangement of the elements also works with the use of electrodes of another chemical composition. The approaches, concepts, methods and models developed in the dissertation are a methodological basis for solving practical problems in the creation, modernization and modernization of modern ICEs with increased technical characteristics of reliability, work life and tribomechanical characteristics. With the participation of specialists of SE "Plant them. VO Malyshev "and the PNDVK of" TAVI "company have refined the technological equipment, based on which the installation" Diskret-04 "was developed at the Institute of Problems of Strength. G.S. Pisarenko The National Academy of Sciences of Ukraine and introduced into the production (at manufacturing and repair) of ICE a method of strengthening the working surfaces of crankshaft necks (in particular, discrete strengthening on the basis of the development of technology of electrosurgical alloying), which, in comparison with traditional technologies, made it possible to increase the life of the crankshafts of diesel diesel engines in 2 - 3 times.

The results of scientific research are generalized and on the basis of them are developed recommendations for the implementation of the results of the work in the practice of research and development work in the State Enterprise "HKBD" (Kharkiv) and in the manufacture of diesel engines at the State Enterprise "Zavod im. VO Malyshev "(Kharkiv), and also used for scientific research and training of specialists with higher education at the department of internal combustion engines NTU "KhPI".

Keywords: Combined application of technologies of the continual and discrete continual strengthening, friction pairs, discrete strengthening of the radical and connecting crankshaft of the crankshafts, strengthening of the antifriction layer of steel aluminum inserts from the aluminum alloy AMO1-20 by the method of microarc oxidation.

List of publisher publications

1. Continuous and discrete-continuum modification of details surfaces: monograph / [Tkachuk N.A., Dyachenko SS, Posvyatenko EK, Kravchenko SA, Goncharov VG, Shpakovsky VV, Belov NL, Shaiko AI, Oleynik AK, Ponomarenko IV] - X .: "Generous Estate Plus", 2015. - 259 p.

2. Kravchenko S.A. Justification of the choice of engines for new shunting diesel locomotives / VN Zayonchkovsky, SA Kravchenko, G.V. Krivyakin // Bulletin of the East Ukrainian National University. -2001 - No. 7 [41]. - P. 172 - 175.

3. Kravchenko S.A. Results of comparative rheostat tests of locomotives 2ТЭ116 with diesel engines 1Д80Б and 5Д49 / B.H. Zayonchkovsky, E.D. Tartakovsky, S.A. Kravchenko // Bulletin of the National Technical University "KhPI". 2001. - №26. - P. 38 - 40.

4. Kravchenko S.A. Influence of the amount of mechanical losses in a gas engine on the process of detonation occurrence / AA Prokhorenko V.A. Pylyov, SA Kravchenko, VV Shpakovsky // Engines of internal combustion. - 2007. - №2. - P. 91 - 93.

5. Kravchenko S.A. Increasing the reliability of engine parts by discrete hardening / S.A. Kravchenko V.G. Goncharov // Internal combustion engines. - 2009. - No. 1. - P. 97 - 99.

6. Kravchenko S.O. Scientific bases of strengthening of surfaces of high loaded elements of engines / VG Goncharov, MA Tkachuk, SS Dyachenko, S.O. Kravchenko, V.M. Sheremet // Bulletin of the National Technical University "KhPI". - Kharkiv: NTU "KhPI". - 2009. - №28. - P. 20-28.

7. Kravchenko S.O. Improvement of reliability of heavy transport vehicles by technological methods / E.K. Posvyatenko, S.O. Kravchenko, N.I. Posvyatenko // East European Journal of Advanced Technology. - NVP PP "Technological Center". - 2010. - №3 / 3 (45). - P. 63-66.

8. Kravchenko S.A. Numerical substantiation of parameters of discrete strengthening of high-loaded parts of machines. / E.K. Posvyatenko, SS Diachenko V.G. Goncharov, MA Tkachuk, VM Sheremet, O.V. Kokhanovskaya, S.O. Kravchenko // The Bulletin of the National Technical University "KhPI". -Harkov: NTU "KhPI". - 2011. - №51. - P. 111-136.

9. Kravchenko S.A. Scientific substantiation of parameters of discrete hardening of high-loaded parts of transport power plants / IV Parsadanov, SA Kravchenko, N.A. Tkachuk, VN Sheremet // Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy. - Kherson: XMДA. - 2012. - No. 1 (6). - P. 298-309.

10. Kravchenko S.A. Reduction of the coefficient of friction of a pair of crankshaft shaft-insert of engines of main locomotives by the use of discrete hardening and galvanoplasmic processing / VV Shpakovsky, SA Kravchenko, AK Oleinik // Internal combustion engines. - 2013. - №1. - P. 98 - 101.

11. Kravchenko S.A. Increase of strength and tribomechanical characteristics of elements of machine-building constructions on the basis of combined methods of hardening of near-surface layers / N.A.Tkachuk, O.V. Veretelnik, AV Grabovsky, SA Kravchenko, S.Yu. Belik // Engines of internal combustion. - 2014 - 1. - P. 54 - 62.

12. Kravchenko S.A. Numerical modeling of contact interaction of parts of ICE made using combined technologies / N. A. Tkachuk, A. V. Veretelnik, A. V. Grabovsky, S. A. Kravchenko, S. Yu. Belik // Internal combustion engines. - 2014 - # 2. - P. 63 - 67.

13. Kravchenko S.O. Methods, means and technologies of discrete-continental strengthening of surface layers of machine parts / M.A.Tkachuk, M.L. Belov, A.I.Shayko, E.K.Posvyatenko, S.O. Kravchenko, V.V.Shpakovsky, SSDyachenko, V.G.Goncharov, I.V.Ponomarenko, V.M. Sheremet // Bulletin of the National Technical University "KhPI". - Kharkiv: NTU "KhPI". - 2015. - No. 31 (1140). - P. 100-110.

14. Kravchenko SA Application of combined technologies of hardening of friction surfaces of internal combustion engines and numerical simulation of their contact interaction / AP Marchenko, S.A. Kravchenko, N.A. Tkachuk, E.V. Belousov, VV Shpakovsky // Mechanics and machine building. -Kharkiv: NTU "KhPI", NPKP "Mechanics". - 2015. - No. 1. - p. 142 - 148.

15. Kravchenko S.A. Design of the "light" piston design for D100 / AV type diesels. Belogub, Nguyen Van Ziong, O.Yu. Linkov, SA Kravchenko Internal combustion engines. - 2016 - №1. - P. 50-55.

16. Kravchenko S.O. The technology of discrete and combined strengthening to increase the resource of military and civilian mobile engineering elements: the determination of parameters on the basis of computer simulation / AP Marchenko, MA Tkachuk, S.O. Kravchenko, O.V. Veretelnik, VG Goncharov, O.V. Kokhanovskaya, I.Ya. Khramtsova, AM Golovin, V.V. Shamans // Transport engineering. - Kharkiv: NTU "KhPI". - 2017, No. 14 (1236). - P. 161 - 174.

17. Kravchenko S.O. Improvement of the heat-stressed state of the head of cylinders of a medium-rotor diesel / O.Yu. Linkov, SA Kravchenko, VV Pylov, D.V. Benin // Internal combustion engines. - 2017.-№2. - P. 44-47.

18. Kravchenko S.A. Influence of micro-arc oxidation on the characteristics of friction and wear of coupling materials crankshaft shaft-insert of engines of type

D100 and D80 / VV. Belozyrov, I.B. Kazak, AK Oleynik, S.A. Kravchenko // Internal combustion engines. - 2017 - №2. - P. 47-51.

19. Kravchenko S.A. Combined technologies of increasing wear resistance of high loaded friction pairs / S.A. Kravchenko, E.K. Posvyatenko, N.A. Tkachuk, O.V. Veretelnik // Systems and means of motor transport. -Politechnika rzeszowska. - 2014 - # 5. - P. 269-280.

20. Declarative patent. 51915 A Ukraine, F02B67 / 04, F16F15 / 26. Internal combustion engine / Kravchenko SO, Ternopol VP, Zayonchkovsky VM, Budion MM, Zolotov Yu.M., Malakey AM, Makarov V.M. ; Applicant and patent owner Ternopol VP - No. 2001085876; stated. 21.08 2001; has published 12.12.2002, Byul. No. 12.

21. Declaration Patent. 1629 Ukraine, F02B67 / 04. Internal combustion engine / Kravchenko SO, Zayonchkovsky VM, Budion MM, Ternopol VP, Tarakanov SI, Zolotov Yu.M., Makarov VM, Dorosh SI. ; Applicant and patent holder State Enterprise "Plant named after V.O. Malyshev ". - No. 2002032199; stated. 19.03. 2002; has published February 17, 2003, Bul. No. 2

22. Declarative patent. 55034 A Ukraine, F02V67 / 04, F02V77 / 14, F16N1 / 04. Internal combustion engine / Kravchenko S.O. Zayonchkovsky VM, Budionii MM, Ternopol VP, Stolbova A.C., Tarakanov SI, Zhuravel O.D., Zaslavsky Yu.G., Makarov V.M. ; Applicants and patent holders Zayonchkovsky VM, Budyonii MM, Ternopol VP, Stolbova AS, Tarakanov SI, Zhuravel O.D., Zaslavsky Yu.G., Kravchenko S.O. . Makarov V.M. - No. 2002064976; stated. June 17, 2002; has published 17.03. 2003, Bull. No. 3.

23. Declaration Patent. 1667 Ukraine, F02B75 / 06, F02V67 / 04. Internal combustion engine / Kravchenko SO, Zayonchkovsky VM, Budiony MM, Mirgorodsky Yu.Ya., Ternopol VP, Stolbova AS, Tarakanov SI, Dorosh SI ., Makarov V.M. ; Applicant and patent holder State Enterprise "Plant named after V.O. Malyshev ". - No. 2002043580; stated. 29.04 2002; has published March 17, 2003, Bul. No. 3.

24. Declarative patent. 56728 A Ukraine, F02B67 / 0,4, F01L1 / 34. Internal combustion engine / Kravchenko SO, Zayonchkovsky VM, Budion MM, Ternopol VP, Stolbova AS, Tarakanov SI, Zhuravel O.D., Zaslavsky Yu.G. Dorosh SI .; Applicants and patent holders Zayonchkovsky VM, Budyonii MM, Ternopol VP, Stolbova AS, Tarakanov SI, Zhuravel O.D., Zaslavsky Yu.G., Kravchenko S.O. . Dorosh SI - No. 2002086956; stated. 23.08 2002; has published May 15, 2003, Bul. №5.

25. Declarative patent. 2095 Ukraine, F02B63 / 06. Block module of a drill pump with a diesel drive / Kravchenko S.O., Momt D.I., Chernov V.V .; Applicant and patent holder Private Enterprise Polyus. - No. 20032120; stated. Feb 18, 2003; has published October 15, 2003, Bul. No. 10.

26. Declaration Patent. 66510 A Ukraine, F16D3 / 26. Mechanical transmission / Kravchenko SO, Ternopol VP, Zayonchkovsky VM, Budiony MM, Mirgorodsky Yu.Ya., Stolbova AS, Zolotov Yu.M., Zaslavsky Yu.G. , Tarakanov SI, Ruzov V. Applicant and patent owner Terno-pol V.P. - No. 2003076118; stated. Jul 01, 2003; has published May 17, 2004, Bul. №5

27. Declarative Patent. 72071 A Ukraine, F02D33 / 02, F02V39 / 08, F02B23 / 10. Power plant / Kravchenko SO, Zayonchkovsky VM, Budion MM, Mirgorodsky Yu.Ya., Ternopol VP, Zaslavsky Yu.G., Stolbova A.C., Ruozov VO , Tarakanov SI; Applicants and patent holders Zayonchkovsky VM, Budiony MM, Mirgorodsky Yu.Ya., Ternopol VP, Zaslavsky Yu.G., Stolbova AS, Kravchenko SO, Ruuzov VO ., Tarakanov SI .; - No. 20021210800; stated. December 29, 2002; has published 17.01. 2005, Bull. №1.

28. Pat. 77194 Ukraine, F02V67 / 04, F02V75 / 06, F16F15 / 22. Internal combustion engine / Kravchenko S.O., Ternopol VP, Zayonchkovsky V.M., Gritsenko G.D., Mirgorodsky Yu.Ya., Bobov E.F., Stolbova A.C., Sednevets S.V. Bilousova VS, Dorosh SI, Zolotov Yu.M .; Applicants and holders of the patent Ternopol VP, Zayonchkovsky VM, Gritsenko GD, Mirgorodskii Yu.Ya., Bobov Ye.F., Stolbova AS, Sednevets SV, Bilousova VS, Dorosh SI, Kravchenko SO,

Zolotov Yu.M. - No. 2004021102; stated. February 16, 2004; has published September 15, 2005, Bull. No. 9.

29. Pat. 69125U of Ukraine, F02M 3/00, F02M 7/00. Method of operation of gas internal combustion engine / Kravchenko SO, Dyachenko V. Applicant and patent holder National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" - № u 201110232; stated. 22.08.2011; has published 04/25/2012, Byul. No. 8.

30. Kravchenko S.A. Improvement of reliability of cast-iron crankshafts of motor vehicles by the method of discrete hardening / S.A. Kravchenko V.G. Goncharov // Modern problems of engine construction: state, ideas, solutions. May 21-22, 2009: III. Allukr. Scientific-technical. Conf., May 21-22. 2009: theses of additional. - Pervomaisk, 2009. - P. 95-98.

31. Kravchenko SA Technology of discrete strengthening of surfaces of machine parts: advantages, justification, parameters and modes of technology / V.M. Sheremet, S.O. Kravchenko, MA Tkachuk, T.O. Vasiliev / Information technology: science, technology, technology, education, health: XVIII international scientific and practical. Conf., 12 - 14 May. 2010: Theses Add. - Kharkiv, 2010. - Ch.1 - P. 261.

32. Kravchenko S.A. Increasing the reliability of transport power plants through the use of new technologies / IV Parsadanov, SA Kravchenko, V.G. Goncharov, I.N. Karyagin // Modern energy installations on transport and technologies and equipment for their maintenance: allukr.nauchko-practical. Conf., October 12-14, 2011: theses of additional. -Herson, 2011. - P. 140-144.

33. Kravchenko S.A. Improving the reliability of the engines production of the State Enterprise "Zavod im. VA Malyshev "for main locomotives. / VV Shpakovsky, SA Kravchenko, AK Oleynik, I.N. Karyagin // Modern problems of engine construction: the state, ideas, solution: V Allukr.nauchno-tehnich. Conf., 22-23 May. 2013: Theses Add. - Pervomaysk, 2013. - pp. 265-271.

34. Kravchenko S.A. Increasing the reliability of the work of a pair of crankshaft - insert of engines of type D100 by the application of new technologies / VV Shpakovsky, SA Kravchenko, AK Oleynik, I.N. Karyagin // Modern energy

installations on transport and technologies and equipment for their servicing: 4th allukr. scientific and practical. Conf., Oct. 9-11. 2013: Theses Add. -Herson, 2013. - P. 168-171.

35. Kravchenko S.A. Development of inserts of engines of type D100 with application of combined technologies of hardening of rubbing surfaces / S.A. Kravchenko, AK Oleinik // Modern energy facilities in transport and technology and equipment for their servicing: 5th allukr. scientific and practical. Conf., October 01-03. 2014: Theses Add. - Kherson, 2014. - P. 72-76.

36. Kravchenko SA Discrete-continual methods of hardening of surface layers of heavy-loaded elements of machines / VV Shpakovsky, S.O. Kravchenko, VN Sheremet, E.K. Posvyatenko, N.A.Tkachuk // Information technologies: science, technology, technology, education, health: XIII International scientific and practical. Conf., 15 - 17 October, 2014: theses of additional. - Kharkiv, 2014. - Ch.1 - P. 248.

37. Kravchenko S.O. Discrete-Continual Methods for Strengthening Parts of Engines and Units for Special Equipment / M.A.Tkachuk, S.O.Kravchenko, V.V.Shpakovsky, E.K.Posvyatenko, O.I.Sheyko // Engineering Surface and Renovation Products: XV Intern. . scientific and technical Conf., 01 - 05 June 2015: Thesaurus. - Odesa region, Zatoka, 2015. - P. 183-186.

38. Kravchenko S.O. New methods of discrete-continual strengthening of high-loaded parts of machines / S.O. Kravchenko, V.M. Sheremet, MA Tkachuk, O.V. Veretelnik, OI Sheiko, M.L. Belov // Information Technologies: science, technology, technology, education, health: XHV Intern. scientific and practical. conf. MicroCAD-2017, May 17 - 19. 2017: theses of additional. - Kharkiv: NTU "KhPI". -ch.I. - P. 190.

39. Kravchenko S.A. Increase of reliability and influence of microarc oxidation on the friction pair the crankshaft of engine type D100 and D80 / AP. Marchenko, S.A. Kravchenko, I.N. Karyagin // Сучасніенергетичні installations on transportіітехнологіітаобладнаннядляїхобслуговування: 8 міжнар. science and practice. Conf., 28-29 verus. 2017 r .: Thesis add. - Kherson, 2017. - P. 271-273.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОТИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ.....	20
1.1 Тенденція розвитку ДВЗ і задачі забезпечення підвищення трибомеханічних характеристик зміцнених поверхонь деталей.....	21
1.2 Аналіз застосовуваних методів зміцнення високонавантажених поверхонь деталей ДВЗ.....	27
1.3 Інженерія поверхні деталей машин як базовий напрямок підвищення зносостійкості і вибору способу зміцнення поверхонь високонавантажених деталей ДВЗ.....	37
1.4 Метод дискретного зміцнення поверхонь тертя чавунних і сталевих деталей ДВЗ.....	41
1.5 Застосування технології мікродугового оксидування при зміцненні робочих поверхонь алюмінієвих деталей ДВЗ.....	48
1.6 Структура дисертаційного дослідження, мета і основні завдання	52
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗМІЦНЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ДВЗ.....	59
2.1 Шляхи вирішення проблеми структурної і параметричної оптимізації конструкторсько-технологічних рішень зміцнення робочих поверхонь деталей ДВЗ.....	60
2.2 Загальна фізична і математична модель фізико-механічних процесів у сполученнях деталей ДВЗ.....	71
2.3 Розробка параметричних моделей для опису конструкторсько-технологічних рішень зміцнення робочих поверхонь деталей ДВЗ.....	77
2.4 Розробка загальної структури програмного комплексу для аналізу фізико-механічних процесів, що відбуваються.....	85

2.5 Чисельне моделювання напружено-деформованого стану контактуючих зміцнених поверхонь деталей ДВЗ методом скінченних елементів.....	91
2.6 Створення мета-моделей для аналізу модельованих процесів і синтезу конструкторсько-технологічних параметрів зміцнених поверхонь деталей ДВЗ.....	102
Висновки до розділу 2.....	104
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТЕРТЯ І ЗНОШУВАННЯ ЗМІЦНЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ДВЗ.....	106
3.1 Чисельні дослідження пари тертя при комбінованом використанні технологій зміцнення.....	106
3.2 Локальний напружено-деформований стан та зміна геометричної форми робочих поверхонь внаслідок зношування у сполученні при комбінованом застосуванні технологій дискретного зміцнення і мікродугового оксидування при виготовлені деталей ДВЗ.....	111
3.3 Спеціалізована база даних за результатами багатофакторних досліджень напружено-деформованого стану, тертя і зношування зміцнених поверхонь деталей ДВЗ.....	123
Висновки до розділу 3.....	124
РОЗДІЛ 4 ФІЗИКО-ХІМІЧНА СУТНІСТЬ ПРОЦЕСУ ДИСКРЕТНОГО ЗМІЦНЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗМІЦНЕНИХ ПОВЕРХОНЬ.....	126
4.1 Чинники, що впливають на процес та науково-технічне обґрунтування способу дискретного зміцнення.....	128
4.2 Технологічне обладнання, матеріали та структура металу в зоні дискретного зміцнення	133
4.3 Вплив сили струму і дискретності на зносостійкість та коефіцієнт тертя при дискретному зміцненні чавунних і сталевих зразків.....	150

4.4 Комбіноване застосування в парах тертя технологій зміцнення робочих поверхонь деталей ДВЗ.....	165
Висновки до розділу 4.....	168
РОЗДІЛ 5 ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТОРСЬКО–ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ДВЗ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ФІЗИЧНОГО І КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПІДГОТОВКА ЕКСПЕРИМЕНТУ НА МАШИНАХ ТЕРТЯ.....	170
5.1 Аналіз залежності критеріальних величин напружено-деформованого стану від варіюємих конструкторсько–технологічних параметрів зміцнених поверхонь деталей ДВЗ.....	170
5.2 Формування областей в параметричному просторі, що забезпечують необхідні технічні характеристики за рахунок зміцнення поверхонь деталей ДВЗ.....	181
5.3. Аналіз процесів у сполученні поверхнево зміцнених деталей ДВЗ, параметри яких обгрунтовано за результатами комп'ютерного моделювання.....	183
5.4 Матеріально–технічне забезпечення досліджень пари тертя з використанням комбінованих технологій континуального та дискретно-континуального зміцнення.....	188
5.5 Механічні втрати в сполученні робочих поверхонь зміцнених деталей ДВЗ при комбінованому застосуванні технологій дискретного зміцнення і мікродугового оксидування.....	193
Висновки до розділу 5.....	198
РОЗДІЛ 6 РЕЗУЛЬТАТИ СТЕНДОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДВЗ З ВИКОРИСТАННЯМ У ПАРАХ ТЕРТЯ КОМБІНОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ	200
6.1 Методика випробувань ДВЗ з комбінованим підбором пар тертя.....	202

6.2 Результати стендових випробувань ДВЗ з комбінованим підбором пар тертя.....	208
6.3 Узагальнення і впровадження результатів досліджень у виробництво та аналіз економічного ефекту.....	215
Висновки до розділу 6.....	223
ВИСНОВКИ.....	226
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	229
ДОДАТОК А Розрахункові діаграми максимальних значень еквивалентних напружень елементів моделі.....	259
ДОДАТОК Б Розрахункові діаграми максимальних значень еквивалентних напружень елементів моделі побудовані за двома шляхами.....	263
ДОДАТОК В Розрахункові діаграми максимальних значень еквивалентних напружень елементів моделі що мають відмінності за фізико-механічними властивостями.....	265
ДОДАТОК Д Розрахункові діаграми максимальних значень еквивалентних напружень елементів двох моделей які відрізняються фізико–механічними властивостями матеріалів.....	267
ДОДАТОК Є Розрахункові діаграми максимальних значень еквивалентних напружень елементів моделі, переміщення та повні переміщення по шляхам 1 і 2.....	273
ДОДАТОК Ж Розрахункові діаграми максимальних значень еквивалентних напружень елементів моделі другого етапу.....	278
ДОДАТОК З Програма робіт по визначенню зносостійкості, задиростійкості і приробітку корінних та шатунних вкладишів дизеля 4ЧН12/14.....	297
ДОДАТОК І Акт оцінки енергоефективності технології дискретного зміцнення на етапі виготовлення.....	304

ДОДАТОК К Акт впровадження результатів дисертаційної роботи на ДП «Завод ім. В.О. Малишева».....	305
ДОДАТОК Л Акт впровадження результатів дисертаційної роботи на ДП «ХКБД».....	306
ДОДАТОК М Акт впровадження результатів дисертаційної роботи на кафедрі «ДВЗ» НТУ «ХПІ».....	307
ДОДАТОК ОСписок публікацій здобувача за темою дисертації.....	309