

ВІЙСЬКОВІ ТА ЦИВІЛЬНІ МАШИНИ НА ОСНОВІ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ДВИГУНІВ ТА АГРЕГАТІВ

Характеристика роботи

Вступ. Забезпечення високих тактико-технічних і технічних характеристик (ТТіТХ) об'єктів військової та цивільної техніки постала перед Україною як актуальна, важлива та невідкладна для вирішення проблема, зважаючи на кричущі виклики військово-політичної та соціально-економічної ситуації. Враховуючи високу вартість і тривалість традиційних розробок нової техніки, як ефективну та дієву альтернативу у роботі запропоновано принципово новий підхід до вирішення назрілих проблем. Він полягає у тому, що задля досягнення підвищених ТТіТХ об'єктів військової та цивільної техніки основна увага зосереджується на їхніх основних елементах - двигунах та агрегатах, що є визначальними для досягнення ключових характеристик. Беручи до уваги, що наразі конструкторські заходи поліпшення характеристик цих двигунів та агрегатів себе значною мірою вичерпали, то раціональним є створення нових проектно-технологічних рішень, які дають приріст окремих показників не на одиниці, а на десятки відсотків та в рази. Для цього, у свою чергу, потрібно задіяти механізми, що проявляються на макро-рівні, працюють - на мікрорівні, а ефект, ними породжуваний, - на нанорівні.

Отже, виникає ланцюг "об'єкт - агрегат - технологія", що може бути об'єднаним у єдине ціле та активованим тільки на основі створення нового наукового системного підходу до теоретичних досліджень, який природним чином може охопити макро-, мікро- та наномасштаби, а також, що є надзвичайно важливим, - призвести до нових результативних високотехнологічних рішень. І, нарешті, усі розробки необхідно збалансувати із можливостями вітчизняної промисловості, а також умовами подальших етапів життєвого циклу - експлуатації, модернізації та відновлення.

До сьогодні завершеного вирішення окресленої проблеми в усіх перелічених розрізах не існувало. Так, наприклад, вітчизняні важкі бойові броньовані машини типу танка Т-64 у процесі модернізації до рівня бойової машини "Булат" потребують суттєвого підвищення потужності двигуна типу 5ТДФ. Це, у свою чергу, спричиняє підвищені навантажувальні режими роботи окремих вузлів та деталей, особливо тих, що перебувають у рухомому силовому контакті. Отже, забезпечивши нові проектно-технологічні рішення щодо найбільш навантажених елементів двигуна, отримуємо бойову машину із сучасним рівнем ТТХ, причому в умовах вітчизняних підприємств, без надмірних капітальних вкладень та у стислі терміни. Без таких підходів вирішення подібного класу проблем - неефективне.

Таким чином, поставлена проблема зводиться до створення нових технологій, що не здійснюють високого температурного впливу на зміцнювану деталь, дають підвищення потужності, зносостійкості та ресурсу двигунів і агрегатів військової та цивільної техніки. Це створить можливість підвищити конкурентоспроможність української машинобудівної продукції на світовому ринку, а також рівень національної безпеки країни.

Метою роботи є створення нового покоління машин військового та цивільного призначення з підвищеними тактико-технічними і технічними характеристиками шляхом розробки та серійного виробництва для комплектування цієї техніки перспективних двигунів та агрегатів на основі розроблення та впровадження гами високих прогресивних технологій зміцнення робочих поверхонь контактуючих деталей.

Задля досягнення поставленої мети вирішувалися такі **завдання**: 1) виконати аналіз

науково-технічної інформації щодо підвищення ресурсу високонавантажених деталей з використанням існуючих способів зміцнення; 2) запропонувати нові методи формування твердих зносостійких поверхонь деталей (дискретне зміцнення, поверхневе пластичне деформування, іонне бомбардування та комплексні об'єднуючі технології) як альтернативу стандартним технологіям поверхневого зміцнення методом напилювання зносостійких покриттів поверхонь і технологіям зміцнення поверхонь чавунних і сталевих деталей методом азотування, СВЧ тощо; 3) провести теоретичні дослідження ефективності використання розроблених технологій при виготовленні та модернізації двигунів і агрегатів військової та цивільної техніки; 4) проаналізувати зміну структури і властивостей приповерхневих шарів матеріалів при зміцненні поверхні і оптимізувати їх режими для отримання необхідних експлуатаційних характеристик об'єктів; 5) дослідити процеси і стани в парі взаємодіючих тіл, оброблених за пропонуваними технологіями; 6) розробити і виготовити устаткування і оснащення для реалізації запропонованих проектно-технологічних рішень, а також впровадити у виробництво машин військового та цивільного призначення.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що в ній на основі теоретико-множинного підходу запропоновані нові концепції та методи підвищення тактико-технічних і технічних характеристик машин військового та цивільного призначення шляхом забезпечення потужності, міцності та ресурсу серії двигунів і агрегатів військової та цивільної техніки на базі нових технологій зміцнення поверхонь тертя деталей, а також у вирішенні таких фундаментальних і прикладних завдань.

1. Розроблено концепцію узагальненого параметричного моделювання складних механічних систем, методи аналізу фізико-механічних процесів і синтезу конструктивних параметрів та нових технологій зміцнення для забезпечення підвищеного ресурсу двигунів і агрегатів військової та цивільної техніки.

2. Розроблено метод синтезу раціональних конструктивних параметрів і нових технологій для зміцнення приповерхневих шарів високонавантажених об'єктів при нечітких множинних критеріях, обмеженнях і умовах експлуатації.

3. Розроблено метод розрахунково-експериментального обґрунтування параметрів зон дискретного зміцнення високонавантажених поверхонь чавунних і сталевих деталей на основі результатів лабораторних досліджень мікроструктури металу, мікротвердості, жорсткості, триботехнічних параметрів і втомної міцності.

4. Установлені нові фізичні ефекти впливу на макрооб'єкти - високонавантажені деталі військової та цивільної техніки - зміни мікроструктури, яка спричиняє наноефекти, що у свою чергу позитивно впливають на технічні характеристики елементів машин. Завдяки цьому досягається зростання тактико-технічних і технічних характеристик цих машин.

5. Запропоновано і обґрунтовано новий комплексний метод обробки поверхонь тертя високонавантажених деталей, одна з яких зміцнюється методом дискретного зміцнення, інша – континуального зміцнення. Таке поєднання призводить до збільшення ресурсу вузла тертя в цілому.

6. Запропоновані і обґрунтовані нові методи зміцнення на основі високоінтенсивного пластичного деформування поверхневих шарів матеріалу.

7. Розроблені нові методи зміцнення шляхом іонного бомбардування поверхні деталей та створення на поверхні композиції із наноструктурними елементами.

8. Науково обґрунтовані матеріали, режими і параметри технологій зміцнення, які

лягли в основу прийняття проектно-технологічних рішень при виробництві, модернізації та відновленні серії двигунів і агрегатів для військової та цивільної техніки (танкові двигуни, танкові трансмісії, автомобільні двигуни для військової техніки, стволи танкових гармат, енергоагрегати для установок автономного енергоживлення стратегічних об'єктів, тепловозні двигуни, колісні пари рухомого складу залізничного транспорту, верстати, валки прокатних станів тощо) з високими тактико-технічними і технічними характеристиками.

Практична цінність роботи полягає в розробці принципово нових технічних рішень щодо забезпечення високих ТТіТХ військової та цивільної техніки за рахунок високої надійності та ресурсу деталей високонавантажених пар двигунів і агрегатів машин, зміцнених за допомогою створених технологій нового покоління, а на цій основі:

1. Розроблена та впроваджена у виробництво (виготовлення й ремонт) військової та цивільної техніки гама високотехнологічних методів зміцнення (зокрема, дискретне зміцнення на базі розвитку електроіскрового легування, холодне пластичне деформування, іонне бомбардування зі створенням мікронаноструктурних композицій, а також комплексні технології, що поєднують окремі види із перелічених); вони, порівняно із традиційними, суттєво (у 2-3 рази) підвищують ресурс, міцність та довговічність, знижують в 1,5-2 рази втрати на тертя і зношування. Крім того, вони позбавлені недоліків існуючих технологій зміцнення (розтріскування, ослаблення серцевини, залишкові деформації тощо).

2. Запропоновано спосіб посилення дії кожного з перелічених методів шляхом їх комбінації, що дає набагато більший ефект, ніж кожний з них окремо.

3. Запропоновані технології відрізняються від відомих способами і режимами перетворення поверхні. У результаті це дає ефект одночасного поліпшення трибомеханічних характеристик пар тертя, зокрема, порівняно із традиційними, збільшується не тільки твердість, але і втомна міцність матеріалу деталей.

4. Застосування запропонованої технології дискретного зміцнення, наприклад, для колінчастих валів форсованих двигунів, підвищує їх ресурс на 40% з одночасним зменшенням витрат на їх виробництво до 70%. Рівень конструктивної міцності виробів зі зміцнених іонним бомбардуванням деталей машин дає приріст механічних характеристик до 40 %. Подібний ефект спостерігається також і для інших видів військової і цивільної техніки.

5. Обґрунтовано оптимальні технологічні режими зміцнення робочих поверхонь відповідальних деталей, а також розроблене та виготовлене обладнання і технологічне оснащення. На цій основі створено й освоєно виробництво низки двигунів для військової та цивільної техніки із підвищеними ТТіТХ, у т.ч. – при модернізації: серій 5ТДФМ для важких бойових машин "Булат"; 10Д100, Д80, 5Д49 та інших - для створення агрегатів автономного живлення стратегічних об'єктів та для магістральних тепловозів; а також агрегатів, вузлів та систем: елементи танкових трансмісій, автомобільні двигуни для військової техніки, стволи танкових гармат, верстати, валки прокатних станів тощо. Економічний ефект від роботи складає 970,0 млн. грн. на рік.

Ступінь впровадження результатів роботи. Робота пройшла всі необхідні етапи: теоретичне обґрунтування, експериментальне лабораторне дослідження, розробку та виготовлення дослідно-промислових зразків, виробниче впровадження на підприємствах України. Виготовлені із застосуванням цих технологій двигуни і агрегати війсь-

кової та цивільної техніки протягом десятків років показали надійну роботу. Зокрема, зарекомендували себе у ході реальних бойових дій бойові машини "Булат", бронетранспортери, військові автомобілі. Стратегічне значення для промисловості мають ремоторизовані магістральні та маневрові тепловози. Розроблені технології зміцнення поверхонь тертя високонавантажених пар впроваджені на ДП "Завод ім. В.О. Малишева" (ДП "ЗіМ") і на дослідному підприємстві НТУ "ХП" при виробництві двигунів і агрегатів військової та цивільної техніки, а також на 10 підприємствах України.

Обґрунтування і підтвердження отриманих результатів забезпечено використанням строгого наукового підходу, апробованих методів дослідження, потужного програмно-апаратного забезпечення, сучасного лабораторного обладнання та підтверджено достатньою кількістю експериментальних досліджень і практикою успішної багаторічної експлуатації двигунів і агрегатів військової та цивільної техніки. Отримано понад 10 актів впровадження і близько 20 позитивних відгуків від підприємств та організацій України.

Інноваційна привабливість роботи полягає в тому, що на основі об'єднання отриманих авторами нових знань про природу контактної взаємодії та фізико-механічних властивостей зміцнених приповерхневих шарів матеріалів розроблено принципово нові промислові технології зміцнення поверхонь тертя деталей високонавантажених пар, що створює можливості для вирішення актуальних і важливих науково-технічних завдань. При цьому відкриваються нові масштабні перспективи як з точки зору розвитку наукових досліджень, так і з точки зору комерційного впровадження.

Кількість публікацій, патентів, дисертацій, НДР. За результатами циклу робіт опубліковано понад 230 наукових праць (20 – міжнародних), у т.ч. - понад 10 монографій та підручників, отримано 39 авторських свідоцтв та патентів. Захищено 35 кандидатських і докторських дисертацій. Інформація про роботу зі створення, освоєння серійного виробництва та впровадження високоефективних конкурентоспроможних виробів міститься у 160 виступах на конференціях, в 10 публікаціях у газетах і журналах та у 7-ми показах по телебаченню. Виконано 12 НДР, а також 27 господарських договорів та міжнародних грантів.

Основний зміст роботи

До об'єктів військової та цивільної техніки, які розглядаються в цій роботі, відносяться танки, бронемашини, тягачі, автомобілі, тепловози різного призначення, автономні установки енергозабезпечення стратегічних об'єктів, а також різноманітні двигуни, агрегати і силові елементи цих конструкцій. Основними вимогами до них є надійність та безвідмовність у роботі. Так, двигуни танків, бронетранспортерів та інших бойових машин працюють у важких умовах, піддаються впливу високих теплових і механічних навантажень, особливо за високих та низьких температур навколишнього середовища. Це сприяє зростанню навантажень на деталі високонавантажених пар, що збільшує їх зношування. Захисні елементи підлягають дії ударно-імпульсних навантажень. Це істотно підвищує вимоги до властивостей матеріалу, якості і стану робочих поверхонь деталей.

Зазвичай для деталей, що працюють в умовах підвищених навантажень, тертя і зношування, застосовують комплексну термічну обробку – спочатку виконують об'ємне зміцнення, яке знімає залишкові напруження і забезпечує властивості серцевини, потім – поверхневе зміцнення для досягнення високої зносостійкості. Матеріал таких деталей

в серцевині повинен мати високу міцність, а також і в'язкість, певний запас пластичності. Наприклад, для сталевих і чавунних колінчастих валів найчастіше такий комплекс властивостей досягається нормалізацією. Зміцнення робочих поверхонь шийок таких валів забезпечують застосуванням різних технологій, у тому числі азотуванням або азотуванням з використанням СВЧ. Ці методи не є оптимальними. Азотування є дуже тривалим процесом (більше 70 годин) і призводить до істотної втрати міцності серцевини та, як наслідок, до великої залишкової деформації вала в кінцевому результаті. Поверхневе зміцнення знижує втомну міцність, що неприпустимо, оскільки, як правило, зношування поверхонь тертя відбувається при багатocyкловому навантаженні.

Для підвищення зносостійкості поверхонь тертя також застосовують нанесення різного роду покриттів. Цей спосіб найчастіше застосовують при ремонті деталей. Але нанесення покриттів вимагає збільшення припусків на механічну обробку для усунення деформації деталі. До того ж не завжди забезпечується якісне зчеплення покриття з основою деталі. Серцевина деталі може перегрітися, що викличе втрату її міцності. При цьому у зв'язку із різними теплопровідністю і коефіцієнтом теплового розширення основного металу і матеріалу покриття на поверхні деталі можуть виникнути тріщини і відколи покриття. Також можуть утворитися технологічні концентратори напружень, які знижують втомну міцність деталі. Внаслідок зазначених обставин ресурс двигунів у реальних умовах експлуатації є нижче нормативного.

У роботі проблема підвищення ресурсу та надійності роботи двигунів і агрегатів військової та цивільної техніки досягається за рахунок розробки і застосування технологій дискретного зміцнення робочих поверхонь чавунних і сталевих деталей, холодного пластичного деформування та іонного бомбардування, а також комплексного застосування декількох технологій у одному вузлі тертя.

Розглянемо технологію дискретного зміцнення робочих поверхонь чавунних і сталевих деталей (рис. 1). В основі технології електроіскрового зміцнення лежить метод, запропонований більше 70 років тому радянськими вченими Лазаренко. Він базується на використанні електророзрядів для керованого руйнування матеріалу деталі з отриманням необхідних форм і розмірів. Застосовувався для зміцнення дрібних деталей та інструменту. Проте проблемним є отримання стабільного шару суцільного покриття поверхні. У цій роботі замість суцільного пропонується дискретне покриття, що усуває проблему.

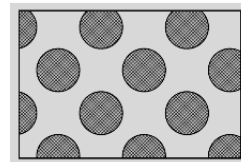


Рис. 1. Дискретне зміцнення елементів двигунів і агрегатів спеціальної техніки

При розробці нових технологій однією з основних проблем є пошук рішення при нечітко вираженому і варійованому просторі даних, при нечітких критеріях, обмеженнях і невизначених характеристиках самого технологічного процесу. Це стосується, в першу чергу, науково-технічної проблеми розробки ефективних технологій поверхневого зміцнення високонавантажених елементів машин, які знаходяться в рухомому контакті. Як вже було зазначено, традиційні технології при вирішенні цієї проблеми мають ряд принципових недоліків. Важливо те, що традиційні технології можуть вдосконалюватися, в основному, тільки за рахунок компромісних, а не оптимізаційних рішень. Вихід з цієї ситуації – відмова від жорсткої регламентації даних, пошук принципово нових фізико-механічних процесів та оптимізація їх впливу на комплекс критеріїв, які визначають характеристики поверхневого зміцнення елементів машин. При цьому, для реалізації даного підходу необхідно, по-перше, розробити теоретичну основу, математичну модель для багатоваріантного дослідження та оптимізації характе-

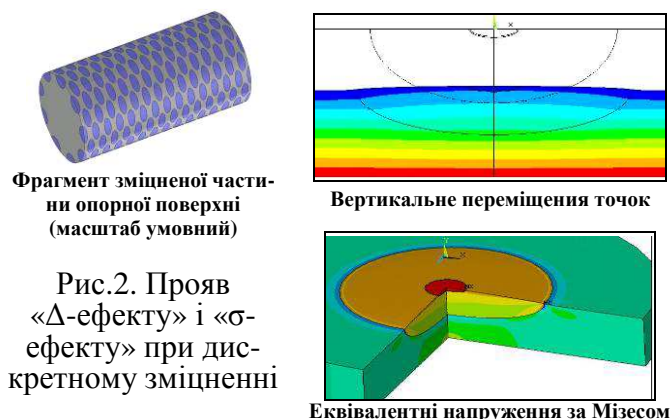
ристик стану поверхневого шару у поєднанні зі станом матеріалу у глибині, по-друге, провести із застосуванням розроблених підходів дослідження та синтез схем і параметрів нової технології. З цією метою в роботі вирішені нові наукові проблеми та прикладні **завдання**: 1) розробка нових теоретико-множинних підходів до генерації математичних, числових і фізичних моделей досліджуваних і створюваних технологій та станів зміцнених елементів машин; 2) реалізація розробленого підходу в комплексній математичній моделі дослідження напружено-деформованого стану (НДС) елементів машин в контакті, а також у вигляді спеціалізованого програмно-модельного комплексу із застосуванням методу скінченних елементів; 3) формування потужного програмно-апаратного комплексу на основі кластерних комп'ютерних технологій; 4) аналіз НДС елементів досліджуваних машин, поверхні яких оброблені із застосуванням нових технологій зміцнення; 5) розробка науково обґрунтованих технологічних режимів та підвищення ТХ і ТТХ спеціальної техніки.

Оскільки перелічені наукові проблеми і завдання є новими, актуальними і важливими, що стоять на сьогодні перед механікою, технологією машинобудування та машинознавства, то для їх вирішення були задіяні найбільш передові теоретичні, комп'ютерно-інформаційні та апаратні розробки, системи та засоби.

Аналіз та узагальнення отриманих результатів дало можливість встановити два типи ефектів впливу на НДС, що виникають при виконанні дискретно-континуальної зміцнення: "Δ-ефект" і "σ-ефект". Перший полягає в тому, що легована область дискретного зміцнення при дії нормального тиску в деформованому стані дещо виступає над незміцненою областю (на величину Δ). Поверхня деталі під навантаженням стає нанопагорбистою. Числовою характеристикою цього ефекту при цьому є відношення Δ до діючого тиску p, розрахункова величина якого може досягати 0,1 мкм/МПа і більше. Таким чином, ця виступаюча область поверхні приймає на себе більшу частину сил контактного тиску у сполученні з іншою деталлю. Завдяки більш високій якості поверхні дискретної зони зменшується сила тертя при відносному русі контактуючих деталей. Крім того, матеріал матриці зношується в першу чергу, цим створюються на поверхні лабіринти для проходження мастила. Найбільший "Δ-ефект" досягається при відносній площі зміцнення 60...80%.

Інший ("σ-ефект") з'являється із-за характерного розподілу напружень в зоні дискретного зміцнення: напруження великі в цій зоні навіть при рівномірному прикладанні тиску на поверхню, в результаті цього еквівалентні напруження більші на 10...15% порівняно з зоною основного матеріалу зміцненого елемента машини. Разом із тим механічні властивості в зоні зміцнення значно (до 50%) вищі, ніж основного матеріалу в цілому. Тому загальна міцність зростає. Найбільших значень "σ-ефект" досягає при відносній площі зміцнення 65...75%.

Зіставлення інтервалів найбільшого позитивного прояву "Δ-ефекту" і "σ-ефекту" дає можливість визначити рекомендований інтервал зони дискретності в області 60...75% (рис. 2). На цій підставі можна стверджувати, що інтегральне вплив запропо-



нованої технології на НДС зміцнених тіл в приповерхневому шарі дуже сприятливий як для його загальної міцності та твердості, так і для стійкості проти зношування.

Металографічний аналіз зразків після дискретного зміцнення показав, що у приповерхневому шарі досліджуваних зразків чітко проявляється зона, яка різко відрізняється від основного матеріалу. Вона має вигляд світлої блискучої точки. Умовно цю зону можна назвати "білим" шаром, мікротвердість якого перевищує мікротвердість основного матеріалу і знаходиться в межах 500...1000 МПа. Результати фазового, мікрорентгеноспектрального і спектрального аналізу та металографії показали, що "білим" шаром є твердий розплав із суміші матеріалів електрода і зразка, які перемішалися в момент електричного розряду (в полум'ї дуги), а потім кристалізуються при охолодженні з великою швидкістю. Безпосередньо під "білим" шаром розташовується зона змінного хімічного складу і мікротвердості (рис. 3).

Експлуатаційними випробуваннями встановлено, що дискретне зміцнення чавунних колінвалів забезпечує підвищення їх зносостійкості у 8...10 разів порівняно зі станом пі-

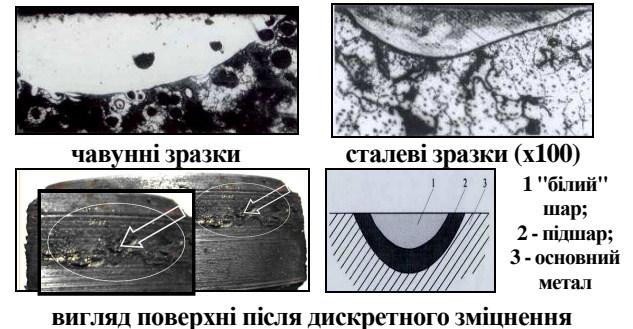


Рис. 3. Зміцнені зони

сля нормалізації та в 1,3...1,5 разів – порівняно із гартуванням СВЧ. Для сталевих колінвалів зносостійкість збільшується в 1,6...3,5 рази порівняно із азотуванням. Одночасно з цим як у сталевих, так і у чавунних колінчастих валів поліпшується припрацьовуваність і збільшується зносостійкість валу та вкладиша.

У результаті на базі розробок і багаторічного досвіду із адаптації та впровадження у виробництво дискретного зміцнення Національним технічним університетом "ХПІ", ДП "Завод імені Малишева", Харківським конструкторським бюро з машинобудування, приватною науково-дослідною виробничо-комерційною фірмою "ТАВІ", Національним транспортним університетом, Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом була вирішена комплексна цілісна проблема розробки способів зміцнення поверхні високонавантажених деталей, що виключає недоліки традиційних технологій зміцнення. Так, спосіб формування зносостійких поверхонь металевих виробів (дискретне зміцнення) за отриманими фізико-механічними і триботехнічними характеристиками не поступається кращим світовим аналогам: низькотемпературного ціанування ("Хонда", Японія); газового азотування (Росія, Великобританія та ін.); електродугової металізації (CRP Industry, США). Більш того, цей метод є кращим, оскільки не має недоліків, властивих кожному з вище названих способів зміцнення. Дискретне зміцнення деталей виконується на додатково обладнаних станках. При виборі матеріалу електрода і розробці технології дискретного зміцнення критеріями оптимізації були: висока зносостійкість поверхні шийок колінчастих валів; підвищення втомної міцності деталі; підвищення термостійкості поверхні тертя; задиростійкість; оптимальне перекриття зміцнених зон (плям), тобто площі зміцнення; доступна ціна матеріалу електрода.

При впровадженні технології дискретного зміцнення на ДП "Завод імені Малишева" для визначення впливу масштабного чинника на властивості колінчатих валів двигунів типу Д80, зміцнених методом дискретного зміцнення (високоміцний легований чавун з кульовим графітом), проведено натурні випробування на втомнісну міцність. Випробування були проведені на двох кривошипях колінчастого вала дизеля Д80.

Аналіз проведених випробувань показав, що масштабний фактор впливає несуттєво. Одночасно підтверджено, що дискретне зміцнення не призводить до зниження втомної міцності виробу. Такий же результат отриманий і для сталевих колінчастих валів. На підставі отриманих експериментальних даних дискретне зміцнення рекомендовано для корінних і шатунних шийок колінчастих валів високофорсованих двигунів та інших силових агрегатів, деталі яких виготовлені з чавуну і сталі. Двигун був підданий експлуатаційним випробуванням в депо "Основа" ДП "Укрзалізниця", де в умовах експлуатації підтвердив отримані результати.

З метою визначення ефективності використання технології дискретного зміцнення для колінчастих валів танкових двигунів також були проведені дослідницькі роботи по зміцненню шийок колінвалів, виготовлених з різних легованих сталей, які використовуються для двигунів типу 5ТДФМ (танки "Булат"), а також 10Д100, Д80, 5Д49 (установки для автономного енергоживлення стратегічних об'єктів, тепловози тощо). У результаті, наприклад, пробіг тепловозів зростає до 4-х разів, військових автомобілів – у 1,5-2,0 рази. Дана технологія виготовлення та ремонту колінчастих валів використовується на Ізюмському тепловозоремонтному заводі при ремонті та модернізації магістральних тепловозів серії 2ТЕ10 та 2ТЕ116 (рис. 4). Крім того, технологія дискретного зміцнення при ремонті колінчастих валів використана для двигунів бронетранспортерів та військових автомобілів (рис. 5) на підприємствах Міністерства оборони України "ХАРЗ 110" (в/ч А1144). Для забезпечення автономного живлення стратегічних об'єктів розроблено установки на основі модернізованого двигуна Д80 із зміцненими елементами (ДП "Завод ім. Малишева") (рис. 6).

Крім проведених вище випробувань, в період з 2001 року до теперішнього дня були здійснені експлуатаційні випробування дискретно зміцнених деталей двигунів автомобілів КраЗ та інших транспортних засобів. Доцільність застосування технології дискретного зміцнення була також підтверджена на ВАТ "Краматорський завод важких верстатів" при виробництві деталей шпиндельної групи верстатів моделей 9А350Ф1, 9А340. Ця технологія апробована також на Криворізькому меткомбінаті при обробці декількох комплектів прокатних валків, що забезпечило випуск додаткової продукції на 15 млн. грн.

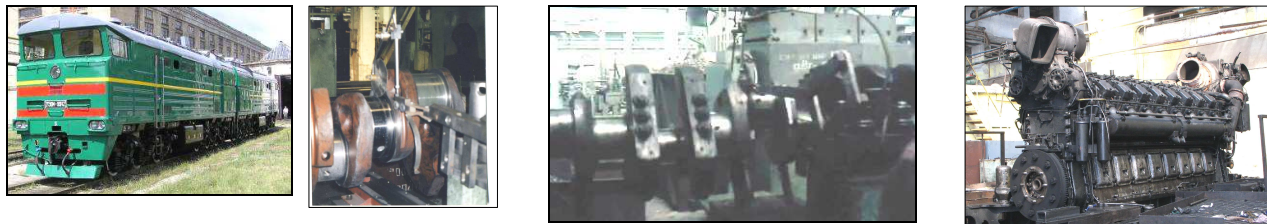


Рис. 4. Магістральний тепловоз 2ТЕ10М з модернізованим двигуном зі зміцненим валом



Рис. 5. Дискретно зміцнений колінчастий вал двигуна для встановлення на шасі установки "Град"



Рис. 6. Форсовані двигуни для установок автономного енергоживлення спеціальних об'єктів на базі модернізованих двигунів Д80

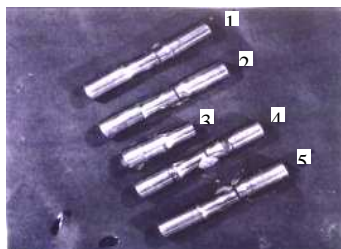
Досліджено та рекомендовано дискретне зміцнення робочих поверхонь деталей танкових трансмісій, зміцнення елементів бронетранспортерів БТР-70, 80, БТР-94Б (ДП "Завод ім. Малишева"). Розроблені та впроваджені технології зміцнення елементів танкових двигунів серії 5ТДФМ для модернізації танків "Булат" (рис. 7), що дає змогу досягти сучасного рівня тактико-технічних характеристик та успішно протистояти сучасним бойовим машинам противника у ході реальних бойових дій. Також запропоновані технології модифікації поверхонь боєприпасів з метою підвищення ефективності їх використання.

Також розроблено новий метод зміцнення за допомогою іонного бомбардування (рис. 8). Підвищення механічних характеристик – на рівні до 40%. Воно досягається за рахунок створення на поверхні деталей субмікроструктури із нанoeлементами.

Запропоновані також комплексні технології, які поєднують дискретне та континуальне зміцнення відповідно однієї та іншої поверхні спряжених пар контактуючих пар деталей (рис. 9). Таке поєднання дає набагато вищий результат, ніж сумарний від дії окремих технологій.



Рис.7. Форсовані двигуни 5ТДФ для модернізації бойових машин "Булат"



Крива "зусилля - подовження" для шатунних болтів

1 - незміцнені болти
2 - болти, зміцнені іонним бомбардуванням

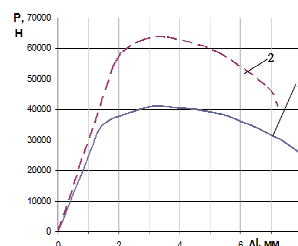


Рис.8. Зміцнені іонним бомбардуванням та випробувані шатунні болти транспортних двигунів

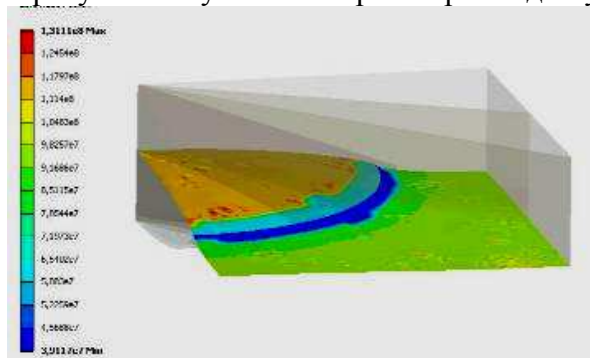
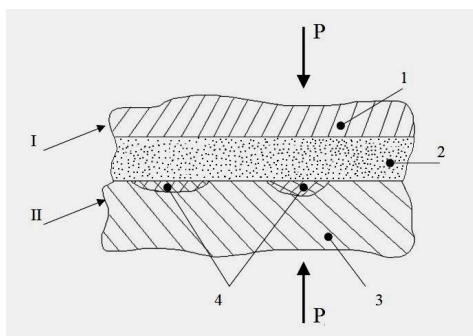


Рис.9. Комплексна технологія, що поєднує дискретне та континуальне зміцнення, та контактний тиск: *I* – континуально зміцнена деталь зі сплаву АКЧ (1) та поверхневий шар (2), *II* – деталь (основний матеріал – сталь, чавун (3)), оброблена методом дискретного зміцнення (зміцнена зона (4))

Науково-технічне та соціальне значення даної роботи полягає в тому, що вона спрямована на суттєве збільшення терміну експлуатації, потужності, надійності двигунів внутрішнього згоряння та агрегатів для танків, бронетранспортерів, тепловозів, автотранспорту, важких токарних верстатів, турбін, валків прокатних станів та інших об'єктів військової та цивільної техніки. Завдяки цьому різко підвищені тактико-технічні та технічні характеристики об'єктів військової та цивільної техніки, причому ремотори-

зачія є основою модернізації машин вітчизняного виробництва задля досягнення сучасного світового рівня ТТіТХ. Це підтверджено при громадському обговоренні в НТУ "ХП" і на ДП "Завод імені Малишева". Отримано позитивні відгуки від виробничих і науково-дослідних організацій.

Висновки

На основі проведених фундаментальних і прикладних досліджень вперше науково обґрунтована та експериментально підтверджена можливість підвищення міцності, твердості, зносостійкості та довговічності високонавантажених деталей двигунів і агрегатів військової та цивільної техніки методами дискретного та дискретно-континуального зміцнення деталей, інтенсивного холодного пластичного деформування та іонного бомбардування. Це є базою при проектно-технологічному забезпеченні тактико-технічних і технічних характеристик військових та цивільних машин вітчизняного виробництва.

Ці методи забезпечують більш високий, порівняно з відомими способами зміцнення, рівень зносостійкості і міцності з одночасним підвищенням задиростійкості та зниженням зношування.

Запропоновані технології здійснюють мінімальний вплив на навколишнє середовище. При цьому в 5...8 разів зменшується час і вартість технологічних операцій з дискретного зміцнення. Границя між зміцненим шаром і основним металом не є технологічним концентратором напружень і не знижує втомну міцність деталі.

Організоване серійне виробництво, модернізація та реконструкція серії двигунів 5ТДФМ, 10Д100, Д80, Д49, а також агрегатів військової та цивільної техніки: танкові трансмісії, автомобільні двигуни для військової техніки, стволи танкових гармат, тепловозні двигуни, колісні пари рухомого складу залізничного транспорту, верстати, вальки прокатних станів, агрегати автономного живлення для стратегічних об'єктів тощо. Завдяки застосуванню нових проектно-технологічних рішень забезпечені високі ТТіТХ бойових машин "Булат", установок для автономного енергопостачання стратегічних об'єктів, військових автомобілів та шасі, магістральних тепловозів 2ТЕ10 та 2ТЕ16 тощо. Досягнуто економічний ефект 970 млн. грн.

Впровадження результатів проведених дослідних робіт в серійне виробництво дало можливість підвищити до світового рівня тактико-технічні і технічні характеристики танків, військових машин, автомобільної техніки, технологічного обладнання та устаткування, а також скоротити закупівлю дорогих імпорتنних запасних частин до двигунів та інших агрегатів військової та цивільної техніки.

Автори:

_____	М.А. Ткачук	_____	О.Ю. Фрід
_____	С.О. Кравченко	_____	С.С. Д'яченко
_____	М.Л. Белов	_____	Е.К. Посвятенко
_____	О.І. Шейко	_____	В.Г. Гончаров