

Ткачук М.А., д-р техн. наук; Кравченко С.О., канд. техн. наук; Литвин Б.Я.,
Посвятенко Е.К., д-р техн. наук; Шейко О.І., Д'яченко С.С., д-р техн. наук;
Шеремет В.М., Гончаров В.Г., канд. техн. наук

РОЗВИТОК НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ОСНОВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИСОКОНАДІЙНИХ ФОРСОВАНИХ ДВИГУНІВ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Вступ. Проблема створення високонадійної військової техніки і забезпечення її високих тактико-технічних характеристик при використанні найменш затратних, енергоєфективних та екологічно безпечних методів виготовлення і обробки, безумовно, є дуже важливою для України. Як відомо, об'єкти військової техніки (ОВТ) працюють у важких умовах одночасної дії багатьох факторів – високих та неоднорідно розподілених напружень, циклічних навантажень, що викликають втому матеріалу виробу, підвищені та високі температури, наявність тертя, результатом якого є зношування контактуючих поверхонь, вплив агресивного середовища тощо. Крім того, для об'єктів військової техніки характерні періоди інтенсивних режимів, наприклад, при виконанні бойових завдань. Тому при виготовленні ОВТ необхідний пошук таких технологій, які дали б змогу задовольнити якщо не усі, то принаймні найважливіші вимоги до характеристик матеріалу. Зокрема, гостро стоїть питання підвищення ресурсу військової транспортної техніки, яке у першу чергу упирається у збільшення довговічності двигунів та інших визначальних елементів їх конструкцій. Ця проблема має велике значення взагалі для народного господарства України, в тому числі для транспортних засобів цивільних галузей. Наприклад, на даний час на залізницях України експлуатується близько 2500 одиниць тепловозів. Значна частина з них вичерпала нормативний термін експлуатації. Подовжити можливість їх експлуатації можна при виконанні капітального ремонту з використанням нових технологій, які забезпечують підвищення триботехнічних і механічних характеристик деталей, вузлів та агрегатів, а також максимальний залишковий ресурс важконавантажених деталей двигунів. Ті самі аргументи справедливі для військової техніки: шасі для пускових установок некерованих реактивних снарядів «Град», бронетранспортери, танки тощо. Такі ж технології доцільно було б застосувати не тільки під час ремонту, але й при виготовленні виробів, тобто з самого початку їхнього життєвого циклу.

За статистикою [1-14] двигуни транспортних засобів мають досить обмежений термін служби, що призводить до величезних збитків. Однією з основних причин їх недостатньої довговічності є, наприклад, зношування шийок колінчастих валів. Матеріальні втрати внаслідок тертя і зношування в машинобудуванні розвинених держав досягають 4-5 % національного доходу. Згідно з відомими даними, опір тертю поглинає у всьому світі 30-40 % енергії, що виробляється протягом року. Витрати на ремонт та технічне обслуговування машин інколи у декілька разів перевищують їх вартість. Двигуни транспортної техніки за весь термін служби ремонтують до 5 разів. Ресурс двигуна після ремонту порівняно з ресурсом нового двигуна складає 30-50 %, хоча за технічними умовами має бути не нижче 80 %. Як показує практика, близько 75 % деталей після розбирання агрегатів, що надійшли до капітального ремонту, мають великий залишковий ресурс і можуть бути використані повторно після відновлення з витратами, що не перевищують 40-60 % вартості нових деталей. Отже, проблема підвищення зносостійкості деталей транспортних засобів і трибосистем в цілому є актуальною і вимагає всебічного підходу та вивчення. При цьому технологічний процес виготовлення, ремо-

нту і відновлення деталі (агрегату) передбачає не лише досягнення необхідних геометричних параметрів, але й, головним чином, усунення або уповільнення руйнівних процесів, які природно протікають на поверхні деталі. Тому при чималій кількості способів актуальною проблемою дотепер є пошук нових ефективних технологій, що забезпечують підвищення ресурсу робочих поверхонь. Зокрема, цьому питанню присвячені роботи [1-14]. Проте вони не вичерпують усіх проблемних задач.

Розв'язання означеної проблеми дозволить значно *підвищити надійність та технічні характеристики* форсованих двигунів, військової і цивільної техніки та взагалі забезпечити *конкурентоспроможність* машинобудівної продукції України на *світовому ринку*. Це визначає важливість даної проблеми для України як з точки зору забезпечення *обороздатності*, так і з точки зору *національної безпеки* (транспорт, автономне енергопостачання), а також *зовнішньоекономічної діяльності*.

Метою даної роботи є розвиток науково-технічних основ підвищення ресурсу та забезпечення високої надійності, довговічності, технічних і тактико-технічних характеристик форсованих двигунів, військової і цивільної техніки за рахунок дискретного та інших способів зміцнення, а також впровадження у виробництво нових енергозберігаючих і економічних способів збільшення конструктивної міцності важконавантажених елементів машин.

Постановка задач досліджень. До об'єктів військової техніки, які розглядаються у даній роботі, належать форсовані двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) мобільних транспортних засобів (автомобілів, тягачів, бронемашин), автономні установки енергозабезпечення, захисні елементи конструкції. Основною вимогою до них є постійна бойова готовність та надійність і довговічність. Такі об'єкти знаходяться в режимі очікування і мають бути безвідмовними. В той же час вони працюють у дуже важких умовах. Так, двигуни бойових броньованих машин піддаються високим тепловим і механічним напруженням, особливо при експлуатації у гірській місцевості, при високій температурі оточувального середовища, що спричиняє, наприклад, підвищений знос пар тертя. Захисні елементи витримують високі циклічні ударно-імпульсні навантаження. Це, як відмічалось раніше, висуває виключно жорсткі вимоги до властивостей матеріалу, механічної обробки, якості і стану поверхонь виробів.

Зазвичай для деталей, працюючих в умовах тертя і зношування, особливо для важконавантажених, використовують комплексну термічну обробку – спочатку виконують об'ємне зміцнення, яке забезпечує властивості серцевини виробу, потім – поверхневе для досягнення високої зносостійкості. Матеріал таких деталей у серцевині повинен мати високу міцність, у тому числі втомну, тріщиностійкість (в'язкість руйнування), певний запас пластичності. Наприклад, для сталевих валів частіше за все такий комплекс властивостей досягається при покращенні. Для дуже великих валів гартування замінюють нормалізацією, що зменшує рівень властивостей серцевини. Зміцнення шийок здійснюють або азотуванням, або поверхневим гартуванням з використанням СВЧ. Обидва методи не є оптимальними. Азотування є дуже тривалим процесом (понад 70 годин) і призводить до суттєвого знеміцнення серцевини і, як наслідок, до великої залишкової деформації вала у вихідному стані, що потребує правки, яка не завжди є ефективною. Поверхневе гартування знижує опір втомі, що неприпустимо, оскільки, як правило, знос поверхонь тертя відбувається за рахунок втомного і абразивного зношування при багатоциклового навантаженні.

Для підвищення зносостійкості поверхонь тертя також використовують нанесення різного роду покриттів. Цей спосіб частіше за все застосовують при ремонті. Але нанесення покриттів потребує збільшених припусків під механічну обробку для усу-

нення деформації деталі. До того ж не завжди забезпечується якісне зчеплення покриття з основою (деталлю), а серцевина виробу може перегрітися, що викличе її знеміцнення. При цьому через різні теплопровідність і коефіцієнт теплового розширення основного матеріалу і покриття градієнт температур по перерізу виробу може спричинити виникнення тріщин і руйнування покриття. Також створюються технологічні концентратори напружень, що знижує опір втомі. Внаслідок всього сказаного ресурс двигунів в реальних умовах експлуатації виявляється істотно нижчим нормативного.

У даній роботі проблема підвищення ресурсу та надійності вирішується застосуванням *дискретного зміцнення поверхні*. Воно полягає у перенесенні з анода електроіскровим методом на зовнішню поверхню виробу (катода) легувальних матеріалів у вигляді розташованих на певній відстані один від одного острівців різної конфігурації. Потім поверхню піддають шліфуванню, внаслідок якого зменшується шорсткість поверхні, видаляються макро- і мікро дефекти у зоні дискретного розряду, що унеможливорює появу концентраторів напружень.

Крім того, запропоновані наступні способи забезпечення міцності: **II** - вставка з натягом елементів із матеріалом з високими фізико-механічними властивостями; **III** - конструктивне підсилення з використанням більш доступних матеріалів (рис. 1).

Методологія і результати досліджень. При розробці принципово нових технологій однією з основних проблем є пошук *оптимального* розв'язку у *нечітко визначеному та варійованому* просторі чинників, при нечітких критеріях, обмеженнях та власне при невизначених характеристиках самого технологічного процесу. Це стосується в першу чергу науково-технічної проблеми розробки ефективних технологій поверхневого зміцнення високонавантажених елементів машин, що перебувають у рухомому контакті.

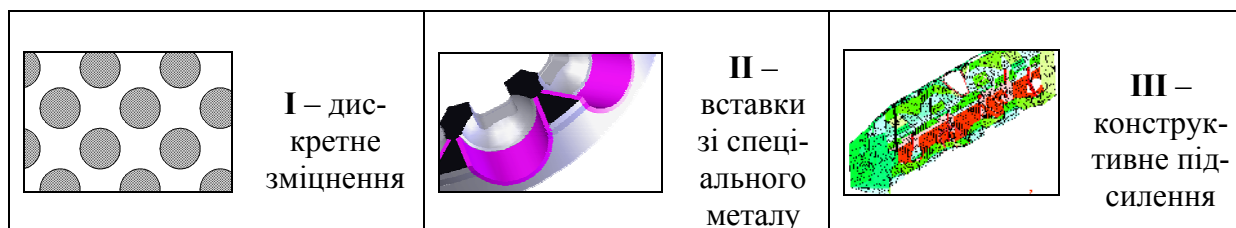


Рис. 1. Схеми варіантів зміцнення елементів військової і цивільної техніки

Як відмічалось, традиційні технології розв'язання даної проблеми мають цілу низку принципових недоліків. Важливо і те, що традиційні технології можуть поліпшуватися в основному тільки за рахунок компромісних, а не оптимізаційних процедур. Вихід з цієї ситуації – відмова від жорсткої регламентації чинників, пошук принципово нових фізико-механічних процесів та оптимізація їх впливу на комплекс критеріїв, що визначають характеристики поверхневого зміцнення елементів машин. Проте для реалізації даного підходу потрібно, по-перше, розробити теоретичну основу, математичний апарат для багатоваріантного дослідження та оптимізації характеристик стану поверхневого шару в поєднанні зі станом матеріалу на глибині, а, по-друге, провести із застосуванням розроблених підходів процес досліджень та синтезу схеми і параметрів нової технології. З цією метою в роботі розв'язані нові наукові проблеми, а також прикладні задачі:

1. Розробка нових *теоретико-множинних підходів* до генерації математичних, числових та фізичних моделей досліджуваних та створюваних технологій і станів зміцнюваних елементів машин;

2. Реалізація розробленого підходу у комплексній математичній моделі дослідження напружено-деформованого стану елементів машин у контакті, а також у вигляді спеціалізованого програмно-модельного комплексу із залученням методу скінченних елементів;

3. Формування потужного програмно-апаратного комплексу на основі кластерних комп'ютерних технологій;

4. Аналіз напружено-деформованого стану елементів досліджуваних машин, поверхні яких оброблені за новою запропонованою технологією зміцнення, та розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо її технологічних режимів.

Оскільки перелічені наукові проблеми і задачі є новими, актуальними і важливими, які на даний час стоять перед механікою, технологією машинобудування та машинознавством, то для їх розв'язання були залучені найбільш передові теоретичні, комп'ютерно-інформаційні та апаратні розробки, системи та засоби.

У ході комплексу досліджень для варіанту I (дискретне зміцнення, див. рис. 1) визначався характер напружено-деформованого стану в області окремої дискретної зони зміцнення (локально) та у глобальному масштабі (у всій конструкції). Аналіз та узагальнення одержаних результатів дало змогу встановити два типи ефектів впливу на напружено-деформований стан, що виникають при здійсненні дискретно-континуального зміцнення: « Δ -ефект» та « σ -ефект».

Перший полягає в тому, що легована область дискретного зміцнення при дії нормального тиску у деформованому стані дещо виступає над незміцненою областю (на величину Δ). Числовою характеристикою при цьому є відношення Δ до діючого тиску p , розрахункова величина якого може сягати 0,1 мкм/МПа і більше. Таким чином, ця підійнята частина поверхні перебирає на себе більшу частину контактного тиску у спряженні з іншою деталлю. Завдяки вищій якості поверхні дискретної зони зменшується сила тертя при відносному русі контактуючих деталей. Крім того, матеріал матриці зношується в першу чергу, чим створюються поверхневі лабіринти для змащування. Найбільший « Δ -ефект» досягається при відносній площі зміцнення 60-80 %.

Другий - « σ -ефект» - проявляється у характерному розподілі напружень в зоні дискретного зміцнення: напруження більші у цій зоні навіть при рівномірному прикладанні тиску на поверхню, в результаті чого і еквівалентні напруження вищі на 10-15 % порівняно із зоною основного матеріалу зміцнюваного елемента машини. Оскільки внаслідок термохімічних процесів відбувається змішування електродного і основного матеріалів та розчинення вуглецю в аустеніті, механічні властивості зони зміцнення значно (до 50 %) вищі, ніж основного матеріалу, що викликає зростання запасу міцності для отриманої системи матеріалів в цілому. Найбільш значний « σ -ефект» досягається при відносній площі зміцнення 65-75 %. Співставлення інтервалів найбільшого позитивного прояву « Δ -ефекту» та « σ -ефекту» дає змогу визначити рекомендований інтервал дискретності покриття в області 60-75% (рис. 2). На цій підставі можна стверджувати,

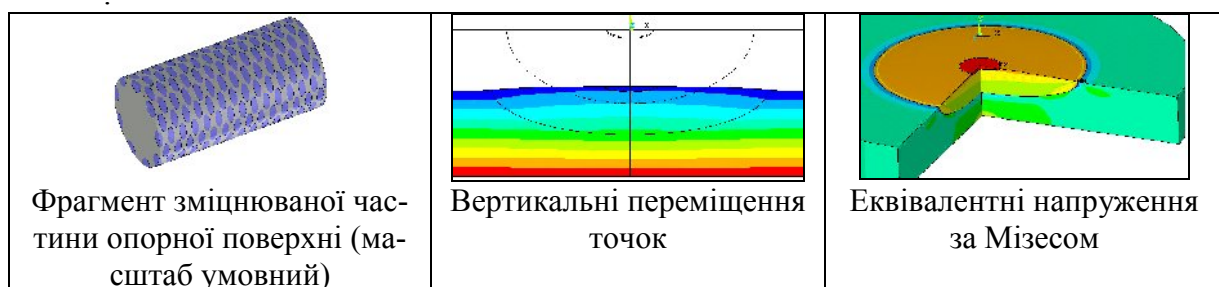


Рис. 2. Прояви « Δ -ефекту» та « σ -ефекту» при дискретному зміцненні

що інтегральний вплив запропонованої технології на напружено-деформований стан зміцнюваних тіл у поверхневому шарі дуже сприятливий як для його загальної міцності, так і для стійкості проти зношування

Металографічний аналіз зразків після дискретного зміцнення показав, що в поверхневому шарі дослідних зразків чітко виявляється зона, яка різко відрізняється від основного матеріалу. Вона має вигляд світлої блискучої плями. Умовно цю зону названо «білим» шаром, мікротвердість якого перевищує мікротвердість основного металу і коливається в межах 500 – 1000 МПа. Дані фазового, мікрорентгеноспектрального та спектрального аналізів і металографії показали, що «білим» шаром є тверді розчини із суміші матеріалів електрода і зразка, які перемішалися у момент розряду (у полум'ї дуги), а потім закристалізувалися при охолодженні з великою швидкістю. Безпосередньо під «білим» шаром розташована зона змінного хімічного складу і мікротвердості (рис. 3).

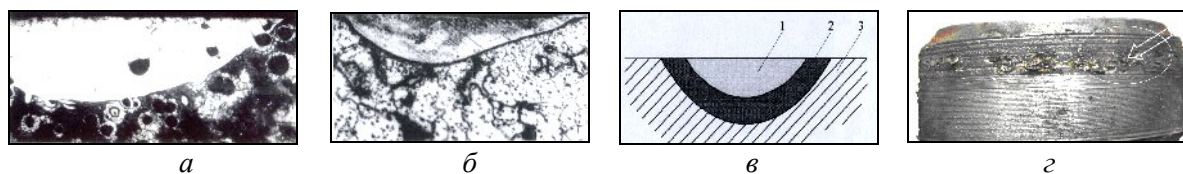


Рис. 3. Зміцнені зони:

а – чавунні зразки; *б* – сталеві зразки (х 100); *в* – схема розташування шарів: 1 – «білий» шар; 2 – підшар; 3 – основний метал; *г* – вигляд поверхні після дискретного зміцнення (до шліфування)

Експлуатаційними випробуваннями встановлено, що дискретне зміцнення чавунних валів забезпечує підвищення їх зносостійкості у 8-10 разів порівняно зі станом після нормалізації і в 1,3-1,5 разів порівняно з гартуванням СВЧ. Для сталевих валів зносостійкість зростає у 1,6-3,5 рази порівняно з азотуванням. Одночасно з цим як у сталі, так і у чавуні покращується припрацьовуваність і зменшується зношувальна здатність, тобто зношування вкладиша.

Впровадження розробок у виробництво. На базі розробок і багаторічного досвіду по адаптації і впровадженню у виробництво дискретного зміцнення Національним технічним університетом «ХПІ», заводом ім. В. О. Малишева, Приватною науково-дослідною виробничо-комерційною фірмою «ТАВІ», Харківським вагоноремонтним заводом, і за результатами науково-дослідних робіт, проведених Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом та Національним транспортним університетом, була вирішена **комплексна цілісна проблема** створення способу зміцнення поверхонь високонавантажених деталей, що виключає недоліки традиційних технологій зміцнення. Спосіб формування зносостійких поверхонь металевих виробів (дискретне зміцнення) за отримуваними фізико-механічними і триботехнічними характеристиками не поступається кращим світовим аналогам: низькотемпературному ціануванню («Хонда», Японія); газовому азотуванню (Росія, Великобританія та інші країни); електродуговій металізації («CRP Industry», США). Більш того, він є *кращим* за них, оскільки не супроводжується недоліками, притаманними кожному з названих способів, на що вказувалося вище.

Дискретне зміцнення деталей виконується на додатково обладнаних верстатах. При виборі матеріалу електрода і розробці технології дискретного зміцнення критеріями оптимізації були: висока зносостійкість поверхні шийок; необхідний опір втомі виробу; підвищення теплостійкості поверхні тертя; оптимальне перекриття зміцнених зон (плям), тобто площі зміцнення; доступна ціна матеріалу електрода.

При впровадженні технології дискретного зміцнення на ДП «Завод ім. В. О. Малишева» для визначення впливу масштабного чинника на властивості при дискретному зміцненні колінчастих валів дизелів типа Д80 (високоміцний легований чавун з кулястим графітом) проведені *натурні випробування* на втомну міцність. Випробування були проведені на двох відсіках колінчастого вала дизеля Д80. Аналіз виконаних робіт показав, що масштабний чинник не є суттєвим. Одночасно підтверджено, що дискретне зміцнення не призводить до зниження втомної міцності виробу. Такий же результат отриманий і для сталевих валів. На підставі одержаних експериментальних результатів дискретне зміцнення рекомендовано для корінних і шатунних шийок важконавантажених колінчастих валів форсованих двигунів силових агрегатів, виготовлених як з чавуну, так і зі сталі, а також для інших виробів.

Для проведення *експлуатаційних досліджень* впливу дискретного зміцнення був вибраний двигун 1Д80Б №1, який після збирання піддали повномасштабним заводським випробуванням за 100-годинною програмою із визначенням рівня вібрації і амплітуд крутильних коливань валопроводу дизель-генератора в робочому діапазоні обертів. Вимір амплітуди вібрації у вертикальному і осьовому напрямках при роботі двигуна під навантаженням на режимах тепловозної характеристики показав їх зниження на 5-7 % порівняно зі штатними двигунами. Заводські випробування дизель-генератора 1Д80Б №1, оснащеного колінчастим валом з дискретним зміцненням, підтвердили його повну відповідність технічним вимогам на експлуатацію даного двигуна. Після завершення заводських випробувань в 1998 р. дизель-генератор 1Д80Б №1 був встановлений на тепловоз і направлений у депо «Основа» ДП Укрзалізниця, де підтвердив ефективність способу зміцнення в умовах експлуатації та дослідно-промислових випробувань.

З метою *розширення застосування* технології дискретного зміцнення для колінчастих валів інших двигунів були проведені дослідницькі роботи по зміцненню колінчастих валів легованих сталей, які використовуються для двигунів типу 5Д49 (тепловози) і КамАЗ-740 (шасі установок «Град», бронетранспортери тощо).

Наприклад, пробіг тепловозів після обробки колінчастого вала на даний час складає 270-780 тис. км, і всі вони знаходяться в експлуатації, хоча гарантійний пробіг після ремонту колінчастого вала - 240 тис. км. Дана технологія використовується в Ізюмському тепловозоремонтному заводі при ремонті та модернізації магістральних тепловозів серій 2ТЕ10 та 2ТЕ116 (рис. 4). Крім того, технологія дискретного зміцнення при ремонті колінчастих валів апробована для двигунів КамАЗ-740 (рис. 5) та інших машин («Мустанг» КамАЗ-4350, КамАЗ-5350; БАЗ-6950 «Основа 1», БАЗ 69501 «Лавина» тощо) на ДП МОУ «ХАРЗ 110».

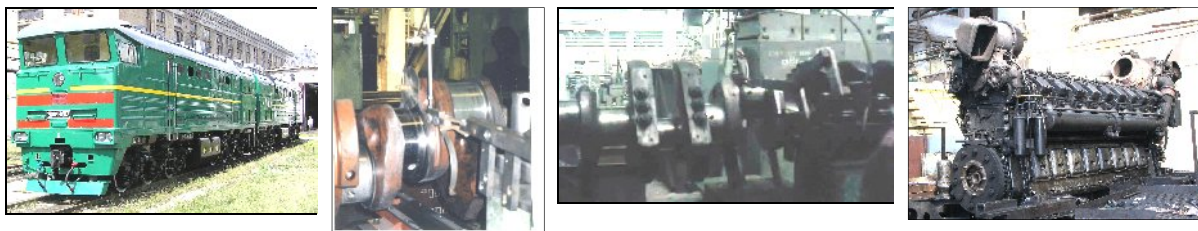


Рис. 4. Магістральний тепловоз 2ТЕ10М з модернізованим двигуном з дискретно зміцненим валом

Окрім наведених вище випробувань, в період з 2001 року дотепер були виконані виробничі випробування дискретно зміцнених деталей двигунів автомобілів КамАЗ, КрАЗ та інших транспортних засобів на ВАТ «Харківський завод тракторних самохідних шасі» і ОП «Добропільська автобаза».



Рис. 5. Дискретно зміцнений колінчастий вал двигуна КамАЗ-740 для оснащення двигуна шасі установки «Град»

Доцільність використання дискретного зміцнення була також підтверджена на ВАТ «Краматорський завод важких верстатів» при виготовленні деталей шпиндельної групи верстатів моделей 9А350Ф1 і 9А340. Дискретне зміцнення було апробоване на Криворізькому металургійному комбінаті при обробці двох комплектів прокатних валків. Це забезпечило випуск додаткової продукції на 15 млн. грн. Для потреб Збройних сил використовуються технології зміцнення елементів двигунів для шасі установок «Град», бронетранспортерів БТР-80. Також досліджено та рекомендовано зміцнення елементів гідропередач для танкових трансмісій (КП «ХКБМ ім. О.О. Морозова») шляхом застосування вставок із спеціальних матеріалів та конструктивних способів зміцнення корпусів бронетранспортерів БТР-70, 80, БТР-94 (КП «ХКБМ ім. О.О. Морозова», ДП «Завод ім. Малишева»). Також запропоновані технології модифікації поверхонь боєприпасів з метою підвищення ефективності їх застосування.

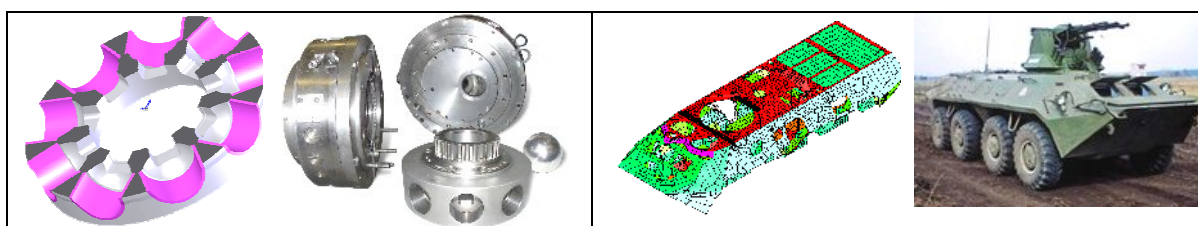


Рис. 6. Варіанти зміцнення елементів ОБТ застосуванням вставок та конструктивним підсиленням

Наведені приклади свідчать, що успішне використання дискретного зміцнення та інших технологій впродовж 10 років дає можливість українським виробникам підсилити свої позиції на *внутрішньому і зовнішньому* ринках за рахунок збільшення *конкурентоспроможності* виробів. *Економічний ефект* від їх впровадження забезпечується зниженням виробничих витрат при виготовленні і ремонті деталей двигунів та силових елементів, а також високими механічними і триботехнічними характеристиками, що збільшує *ресурс та міцність* елементів машин.

Наприклад, на даний час ДП Укрзалізниця експлуатує більше 750 дизелів типу Д49. Згідно з технічними вимогами, раз на чотири роки проводиться ремонт або заміна колінчастого вала двигуна на новий, вартість якого на 2011 рік складала 1,4 млн. грн. При цьому вартість відновлення таких колінчастих валів із застосуванням технології дискретного зміцнення – близько 200 тис. грн.

Висновки. На підставі проведених *фундаментальних та прикладних* досліджень уперше науково обґрунтована та експериментально підтверджена можливість підвищення ресурсу важконавантажених елементів форсованих двигунів та інших деталей військової та цивільної техніки методами дискретного зміцнення, спеціальних вставок та конструктивного підсилення. Способи забезпечують *більш високий*, порівняно з ві-

домими способами зміцнення, рівень зносостійкості та міцності з одночасним збільшенням задиростійкості та зменшенням зношуваності при екологічності процесу. При цьому у 5-8 разів зменшується час та вартість технологічних операцій зміцнення. Границя між зміцненим шаром та основним металом не є технологічним концентратом напружень і не знижує втомну міцність.

Впровадження результатів проведених дослідницьких робіт в серійне виробництво дало можливість скоротити закупівлю дорогих імпортних запасних частин до силових агрегатів, об'єктів військової техніки, тепловозів, верстатів та інших машин і зменшити капітальні витрати на створення спеціалізованих ділянок для зміцнення деталей, а, отже, значно скоротити споживання енергоресурсів.

Це сприяє підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних виробів машинобудівної галузі, в першу чергу виробництва і відновлення двигунів внутрішнього згоряння, об'єктів військової техніки, металургійного устаткування та інших машин. Створюється можливість виконання зовнішньоекономічних контрактів.

Забезпечено підвищення ресурсу машин та їх елементів мінімум на 40 %.

У подальших роботах планується розвинути методологію досліджень, спрямованих на підвищення технічних характеристик важко навантажених деталей ДВЗ, військової та цивільної техніки за рахунок оптимізації режимів їх обробки методом дискретного зміцнення.

Литература: 1. Ткачук М.А. Проблеми та методи моделювання фізико-механічних процесів у складних та надскладних механічних системах / М. Ткачук, В. Шеремет, О. Литвиненко // Дев'ятий Міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові . Праці. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2009. – С.9-10. 2. Гончаров В.Г. Наукові основи зміцнення поверхонь високонавантажених елементів двигунів / В.Г. Гончаров, М.А. Ткачук, С.С. Д'яченко, С.О. Кравченко, В.М. Шеремет // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – 2009. – №28. – С.20-30. 3. Ткачук М.А. Дослідження напружено-деформованого стану деталей машин з дискретним зміцненням / М.А. Ткачук, В.М. Шеремет, Т.О. Васильєва // Вісник НТУ «ХПІ». Тем.вип.: Машинознавство та САПР. – 2010. – №12. – с. 93-99. 4. Грабовский А.В. Расчетно-экспериментальное определение сил ударного взаимодействия в виброударных системах // А.В. Грабовский, Н.А. Ткачук, Ю.В. Костенко, Е.А. Суздальцева // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. вип.: Машинознавство та САПР. –2010. – №19. – С. 51-62. 5. Шеремет В.М. Дослідження напружено-деформованого стану деталей машин з дискретним зміцненням // В.М. Шеремет, М.А. Ткачук, Т.О. Васильєва // Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний випуск Машинознавство та САПР». №19.– Харків. 2010. С.150-155. 6. Ткачук Н.А. Повышение ресурса тяжело нагруженных элементов ДВС путем дискретного упрочнения деталей. Моделирование напряженно-деформированного состояния // В.Н. Шеремет, Н.А. Ткачук, В.Г. Гончаров // Двигатели внутреннего сгорания. №2. – Харьков. 2010. С. 118-123. 7. Ткачук М.А. Напружено-деформований стан елементів машин при дискретному зміцненні поверхневого шару // М.А. Ткачук, В.М. Шеремет, Д.О. Шляхов, Т.О. Васильєва // Международная научно-техническая конференция «Университетская наука-2010». Сб.тезисов докладов в 3-х томах. – Мариуполь: ПГТУ, 2010 – Том 2. – С. 76. 8. Шеремет В.М. 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: Тези доповідей XVIII міжн. наук.-практ. конф., Ч. I (12-14 травня 2010 р., Харків) – Харків: НТУ «ХПІ». – С.261. 9. Ткачук М.А. Нові технології дискретного зміцнювання високонавантажених елементів машин: напружено-деформований стан приповерхневих шарів / М.А. Ткачук, В.М. Сапожников, В.М. Шеремет, Т.О. Васильєва, А.В. Грабовський // Механіка та машинобудування. – 2010. – №1. –С. 61–65. 10. Посвятенко Е.К. Підвищення ресурсу тепловозів на базі технології дискретного зміцнення деталей форсованих дизелів / Е.К. Посвятенко, В.Г. Гончаров, С.С. Д'яченко, М.А. Ткачук // Сучасні технології в машинобудуванні. Зб. наукових праць. – Харків: НТУ «ХПІ». Вип. №5. – 2010. С. 60–75.

11. Посвятенко Е.К. 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 НТУ "ХПІ". Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – 2011. – № 51. – 2011. – №51. – С. 111–136. 12. Посвятенко Е.К. Поліпшення надійності форсованих двигунів транспортної техніки дискретним зміцненням поверхні деталей / Е.К. Посвятенко, М.А. Ткачук, В.М. Шеремет // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №3/10(57). – С. 23–26. 13. Веретельник О.В. Контактное взаимодействие поршня с гальвано-плазменной обработкой боковой поверхности со стенками цилиндра ДВС / О.В. Веретельник, Н.А. Ткачук, С.Ю. Белик // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – 2012. – №22. – С. 32–39. 14. Парсаданов И.В. 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: Науковий журнал. – Херсон: Видавництво ХДМА, 2012. – № 1(6). – С. 298–310.

Bibliography (transliterated): 1. Tkachuk M.A. Problemi ta metodi modeljuvannja fiziko-mehanichnih procesiv u skladnih ta nadskladnih mehanichnih sistemah / M. Tkachuk, V. Sheremet, O. Litvinenko // Dev'jatij Mizhnarodnij simpozium ukraїns'kih inzheneriv-mehanikiv u L'vovi . Praci. – L'viv: KINPATRI LTD, 2009. – S.9-10. 2. Goncharov V.G. Naukovi osnovi zmichennja poverhon' visokonavantazhenih elementiv dviguniv / V.G. Goncharov, M.A. Tkachuk, S.S. D'jachenko, S.O. Kravchenko, V.M. Sheremet // Visnik NTU "HPI". Tem. vip.: Mashinoznavstvo ta SAPR. – 2009. – №28. – S.20-30. 3. Tkachuk M.A. Doslidzhennja napruzhenno-deformovanogo stanu detalej mashin z diskretnim zmichennjam / M.A. Tkachuk, V.M. Sheremet, T.O. Vasil'eva // Visnik NTU „HPI”. Tem.vip.: Mashinoznavstvo ta SAPR. – 2010. – №12. – s. 93-99. 4. Grabovskij A.V. Raschetno-eksperimental'noe opredelenie sil udarnogo vzaimodejstvija v vibroudarnyh sistemah // A.V. Grabovskij, N.A. Tkachuk, Ju.V. Kostenko, E.A. Suzdal'ceva // Visnik NTU «HPI». Tem. vip.: Mashinoznavstvo ta SAPR. –2010. – №19. – S. 51-62. 5. Sheremet V.M. Doslidzhennja napruzhenno-deformovanogo stanu detalej mashin z diskretnim zmichennjam // V.M. Sheremet, M.A. Tkachuk, T.O. Vasil'eva // Visnik NTU «HPI». Tematicnij vipusk Mashinoznavstvo ta SAPR». №19.– Harkiv. 2010. S.150-155. 6. Tkachuk N.A. Povyshenie resursa tjazhelonagruzhennyh jelementov DVS putem diskretnogo uprochnenija detalej. Modelirovanie naprjazhenno-deformirovannogo so-stojanija // V.N. Sheremet, N.A. Tkachuk, V.G. Goncharov // Dvigateli vnutrennego sgora-nija. №2. – Har'kov. 2010. S. 118-123. 7. Tkachuk M.A. Napruzhenno-deformovnij stan elementiv mashin pri diskretnomu zmichenni poverhneвого шару // M.A. Tkachuk , V.M. Sheremet, D.O. Shljahov, T.O. Vasil'eva // Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Universitetskaja nauka-2010». Sb.tezisev dokladov v 3-h tomah. – Ma-riupol': PGTU, 2010 – Tom 2. – S. 76. 8. Sheremet V.M Tehnologija diskretnogo zmichennja poverhon' detalej mashin: perevagi, obruntuvannja parametriv ta rezhimiv tehnologij // V.M. Sheremet, S.O. Kravchenko, M.A. Tkachuk, T.O. Vasil'eva. // Informacijni tehnologij: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: Tezi dopovidej XVIII mizhn. nauk.-prakt. konf., Ch. I (12-14 travnja 2010 r., Harkiv) – Harkiv: NTU «HPI». – С.261. 9. Tkachuk M.A. Novi tehnologij diskretnogo zmichnuvannja visokonavantazhenih elementiv mashin: napruzhenno-deformovnij stan pripoverhnevih shariv / M.A. Tkachuk, V.M. Sapozhnikov, V.M. Sheremet, T.O. Vasil'eva, A.V. Grabovs'kij // Mehanika ta mashinobuduвання. – 2010. – №1. –S. 61–65. 10. Posvjatenko E.K. Pidvishhennja resursu teplovoziv na bazi tehnologij diskretnogo zmichennja detalej forsovanih dizeliv / E.K. Posvjatenko, V.G. Goncharov, S.S. D'jachenko, M.A. Tkachuk // Suchasni tehnologij v ma-shinobuduванні. Zb. naukovih prac'. – Harkiv: NTU «HPI». Vip. №5. – 2010. S. 60–75. 11. Posvjatenko E.K. Chislove obruntuvannja parametriv diskretnogo zmichennja visokonavantazhenih detalej mashin / E.K. Posvjatenko, S.S. D'jachenko, V.G. Goncharov, M.A. Tkachuk, V.M. Sheremet, O.V. Kohanov's'ka, S.O. Kravchenko // Visnik NTU "HPI". Tem. vip.: Mashinoznavstvo ta SAPR. – 2011. – № 51. – 2011. – №51. – S. 111–136. 12. Posvjatenko E.K. Polipshennja nadijnosti forsovanih dviguniv transportnoї tehni-ki diskretnim zmichennjam poverhni detalej / E.K. Posvjatenko, M.A. Tkachuk, V.M. Sheremet // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2012. – №3/10(57). – S. 23–26. 13. Veretel'nik O.V. Kontaktnoe vzaimodejstvie porshnja s gal'vano-plazmennoj obrabotkoj bokovoj poverhnosti so stenkami cilindra DVS / O.V. Veretel'nik, N.A. Tkachuk, S.Ju. Belik // Visnik NTU «HPI». Tem. vip.: Mashino-znavstvo ta SAPR. – 2012. – №22.

– S. 32–39. 14. Parsadanov I.V. Nauchnoe obosnova-nie parametrov diskretnogo uprochnenija vysokonagruzhennyh detalej transportnyh jenergeticheskikh ustanovok / I.V. Parsadanov, S.A. Kravchenko, N.A. Tkachuk, V.N. Sheremet // *Naukovij visnik Hersons'koї derzhavnoї mors'koї akademii: Naukovij zhurnal*. – Herson: Vidavnicтво HDMA, 2012. – № 1(6). – S. 298-310.

Ткачук М.А., Кравченко С.О., Литвин Б.Я., Посвятенко Е.К., Шейко О.І.,
Д'яченко С.С., Шеремет В.М., Гончаров В.Г.

**РОЗВИТОК НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ОСНОВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИСОКОНАДІЙНИХ ФОРСОВАНИХ
ДВИГУНІВ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ**

Для забезпечення високої навантажувальної здатності, низького коефіцієнту тертя та підвищеної зносостійкості пропонується застосування технології дискретного зміцнення відповідальних деталей машин. На прикладі колінчастих валів тепловозних двигунів, а також інших машинобудівних конструкцій визначаються оптимальні параметри технологічного процесу. Установлено, що при дискретному зміцненні відбувається перерозподіл контактного тиску у sprzęженні деталей, який викликається зміною мікропрофілю поверхні. Експериментально підтверджені ефекти зменшення тертя, зношування, а також збереження міцності оброблених деталей.

Ткачук Н.А., Кравченко С.А., Литвин Б.Я., Посвятенко Э.К., Шейко А.И.,
Дьяченко С.С., Шеремет В.Н., Гончаров В.Г.

**РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОСНОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ
ФОРСИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ**

Для обеспечения высокой нагрузочной способности, низкого коэффициента трения и повышенной износостойкости предлагается применение технологии дискретного упрочнения ответственных деталей машин. На примере коленчатых валов тепловозных двигателей, а также других машиностроительных конструкций определяются оптимальные параметры технологического процесса. Установлено, что при дискретном упрочнении происходит перераспределение контактного давления в сопряжении деталей, вызываемый изменением микропрофиля поверхности. Экспериментально подтверждены эффекты уменьшения трения, изнашивания, а также сохранения прочности обработанных деталей.

Tkachuk N.A., Kravchenko S.A., Litvin B.Y., Posviatenko E.K., Sheyko A.I.,
Diachenko S.S., Sheremet V.N., Goncharov V.G.

**DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL BASES FOR PROVIDING
OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF HIGHLY RELIABLE
FORCED ENGINES AND MILITARY TECHNIQUE**

For providing of high loading capacity, low friction coefficient and increased wear-proofness it is offered application of discrete strengthening technology of machine's responsible details. On the example of crankshafts of diesel locomotives engines, and also other machine-building constructions, optimal parameters of technological process are determined. It is established, that at the discrete strengthening there is a redistribution of contact pressure in detail's coupling that is caused by surface microprofile change. Effects of friction and wear reduction and also maintenance of strength of treated details are experimentally confirmed.