

Теоретично обґрунтована та експериментально доведена можливість підвищення ресурсу важко навантажених елементів форсованих двигунів та інших деталей засобів транспорту методами дискретного зміцнення, використання спеціальних вставок і конструктивного посилення

Ключові слова: форсовані двигуни, дискретне зміцнення

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность повышения ресурса тяжело нагруженных элементов форсированных двигателей и других деталей средств транспорта методами дискретного упрочнения, использования специальных вставок и конструктивного усиления

Ключевые слова: форсированные двигатели, дискретное упрочнение

Possibility of increase of resource of the heavily loaded elements of the forced engines, other details of facilities of transport in theory is grounded experimentally confirmed by the methods of the discrete work-hardening

Keywords: forced engines, discrete work-hardening

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИСОКИХ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОРСОВАНИХ ДВИГУНІВ ТА ВАЖКИХ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Е.К. Посвятенко

Доктор технічних наук, професор
Кафедра ремонту, виробництва та матеріалознавства
Національний транспортний університет
вул. Суворова, 1, м. Київ, України, 01010
Контактний тел.: (044) 410-80-07, 050-915-04-71
E-mail: Natali1963@ukr.net

Актуальність і стан проблеми, мета дослідження

Проблема створення високонадійної військової техніки і забезпечення її високих тактико-технічних характеристик (ТТХ) при використанні найменш затратних, енергоефективних 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. Тому при виготовленні ОВТ необхідний пошук таких технологій, які дозволили б 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 три-

ботехнічних і механічних характеристик деталей, вузлів та агрегатів, а також максимальний залишковий ресурс важко навантажених деталей двигунів. Ті самі аргументи справедливі для військової техніки: шасі для пускових установок некерованих реактивних снарядів «Град», бронетранспортери, танки тощо [1–6].

Метою даної роботи є розробка 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 важко навантажених елементів машин.

Результати дослідження

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 мікродефекти у зоні дискретного розряду, що унеможливає появу концентраторів напружень [1, 5].

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).



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

При розробці принципово нових технологій однією з основних проблем є пошук *оптимального* розв'язку у *нечітко визначеному* та *вартіваному* 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.

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:

- розробка нових *теоретико-множинних підходів* до генерації математичних, числових та фізичних моделей досліджуваних та створюваних технологій і станів зміцнюваних елементів машин;
- 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;
- формування потужного *програмно-апаратного комплексу* на основі кластерних комп'ютерних технологій;
- 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.

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 гар-

туванням 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.

На базі розробок і багаторічного досвіду по адаптації і впровадженню у виробництво дискретного зміцнення Національним технічним університетом «ХПІ», заводом ім. Малишева, Міністерством оборони України, Приватною науково-дослідною виробничо-комерційною фірмою «ТАВІ», Харківським вагоноремонтним заводом, і за результатами науково-дослідних робіт, проведених Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом, Інститутом матеріалознавства ім. Францевича та Національним транспортним університетом була вирішена **комплексна цілісна проблема** створення способу зміцнення поверхонь високонавантажених деталей, що виключає недоліки традиційних технологій зміцнення. Результати досліджень та їх практична реалізація стали основою роботи **«Забезпечення технологічних і тактико-технічних характеристик високонадійних форсованих двигунів та військової техніки»**, яку висунуто на здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки за 2011 рік. Авторами роботи виконано наступне. Ткачук М.А. розробив теоретичні основи узагальненого параметричного опису складних механічних систем. Ним створені спеціалізовані програмно-модельні комплекси для аналізу та синтезу способів зміцнення ОБТ та інших об'єктів. Кравченко О.С. створив методологічні основи технології зміцнення та впроваджував її безпосередньо у виробництво на ДП «Завод імені Малишева». Бруль С.Т. розробив теоретичні основи розрахунку напружено-деформованого стану елементів військової техніки при дії імпульсного та ударного навантаження. Подчерняєва І.О. розробила теоретичні основи механізму електрохімічного процесу взаємодії «анод-катод» та визначила оптимальні матеріали для матеріалу анода. Д'яченко С.С. створила теоретичні основи дискретного легування за критеріями міцності, витривалості та зносостійкості. Посвятенко Е.К. розробив та реалізував теоретичні основи модифікації поверхневих шарів важконавантажених елементів машин, двигунів та об'єктів військової техніки. Вітченко В.І. запропонував, реалізував та упровадив нові методи дискретного зміцнення для елементів електротранспорту. Гончаров В.Г. розробив теоретичні основи

та упровадив новий спосіб дискретного зміцнення деталей електроіскровим легуванням. Клімова О.П. науково обґрунтувала економічні переваги нових способів дискретного зміцнення елементів високонавантажених машин. Бобров М.І. розробив алгоритми та практично реалізував технологію дискретного зміцнення на сучасному обладнанні.

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 типу 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 теплової 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.

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 [6]. Крім того, технологія дискретного зміцнення при ремонті колінчастих валів апробована для двигунів КамАЗ-740 (рис. 2) та інших машин («Мустанг» КамАЗ-4350, КамАЗ-5350; БАЗ-6950 «Основа 1», БАЗ 69501 «Лавина» тощо) на ДП МОУ «ХАРЗ 110» (в/ч А1144).



Рис. 2. Дискретно зміцнений колінчастий вал двигуна КамАЗ-740 для оснащення двигуна шасі установки «Град»

Окрім наведених вище випробувань, в період з 2001 року і 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». Доцільність використання дискретного зміцнення була також підтверджена на ВАТ «Краматорський завод важких верстатів» при виготовленні деталей шпindelної 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 гідропередачі для танкових трансмісій (КП «ХКБМ ім. О.О. Морозова») шляхом застосування вставок із спеціальних матеріалів та конструктивних способів зміцнення корпусів бро-

нетранспортерів БТР-70, 80, БТР-94 (КП «ХКБМ ім. О.О. Морозова», ДП «Завод ім. Малишева») (рис. 3). Також запропоновані технології модифікації поверхонь боєприпасів з метою підвищення ефективності їх застосування.

тепловозів сягає більше 780 млн. грн. КП «ХКБМ ім. О.О. Морозова» випускає серійно гідропередачі ГОП-900. ДП «Завод ім. Малишева» та КП «ХКБМ ім. О.О. Морозова» виконали кілька зовнішньоекономічних контрактів на поставку БТР, у т.ч. БТР-94, корпуси яких були підсилені із використанням конструкційних сталей.



Рис. 3. Варіанти зміцнення елементів ОВТ 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. Річний економічний ефект від впровадження технології дискретного зміцнення елементів

ризмента льно 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 відомими способами зміцнення, рівень *зносоустійкості 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.

Впровадження результатів проведених дослідницьких робіт в серійне виробництво дало можливість скоротити закупівлю дорогих імпортованих 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. *Економічний ефект* від впровадження роботи складає 970,0 млн. грн. на рік.

Висновки

На підставі проведених *фундаментальних* та *прикладних* досліджень уперше науково обґрунтована та експе-

Література

1. Дьяченко С.С. Исследование ремонтпригодности тепловозного коленчатого вала / С.С. Дьяченко, Б.В. Савченко, В.Г. Гончаров [и др.] // Локомотив-информ. – 2007. – № 8. – С.16-17.
2. Канарчук В.Є., Інженерія поверхні деталей транспортних засобів: сучасний стан і перспективи / В.Є. Канарчук, Е.К. Посвятенко, Л.А. Лопата // Вісник Національного транспортного ун-ту. – К.: 2000. – Вип. 4. – С. 6-24.
3. Пути совершенствования методов инженерии поверхности деталей машин / М.И. Черновол, В.М. Корж, Э.К. Посвятенко [и др.] // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: сб. науч. тр. – Минск, 2001. – С.279-282.
4. Гончаров В.Г., Повышение износостойкости коленчатых валов форсированных дизелей большой мощности / В.Г. Гончаров, Э.К. Посвятенко, С.С. Дьяченко // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – Вип. 77. – С.53-65.
5. Посвятенко Е.К. Підвищення ресурсу тепловозів на базі технології дискретного зміцнення деталей форсованих дизелів / Е.К. Посвятенко, В.Г. Гончаров, С.С. Дьяченко, М.А. Ткачук // Сучасні технології в машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПИ», 2010. – Вип. 4 – С. 175-187.
6. Посвятенко Е.К., Поліпшення надійності важких транспортних машин технологічними методами / Е.К. Посвятенко, С.О. Кравченко, Н.І. Посвятенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий: Ч.2. Современные технологии в газотурбостроении. – Харьков, 2010. – № 3/3 (45). – С. 63-66.