

УДК 621.43:62-192

**О.І. ШЕЙКО, М.Л. БЕЛОВ, А.П. МАРЧЕНКО, М.А.ТКАЧУК, С.О. КРАВЧЕНКО,
О.В. ВЕРЕТЕЛЬНИК, В.Г. ГОНЧАРОВ**

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДИСКРЕТНОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ВІЙСЬКОВОЇ ТА ЦИВІЛЬНОЇ МОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

У роботі розроблені науково-технічні основи підвищення ресурсу та забезпечення міцності, довговічності, високих технічних і тактико-технічних характеристик серії двигунів і агрегатів для спеціальної техніки за рахунок створення і впровадження гами технологій зміцнення робочих поверхонь контактуючих деталей. Наукова новизна представленої роботи полягає в тому, що в ній на основі теоретико-множинного підходу запропоновані нові концепція і методи підвищення ресурсу серії двигунів і спеціальної техніки шляхом створення нових технологій зміцнення поверхонь їхніх деталей, а також у вирішенні серії фундаментальних і прикладних завдань. Науково-практична значимість роботи полягає в розробці принципово нових технічних рішень щодо забезпечення високої міцності та ресурсу деталей високонавантажених пар двигунів і агрегатів спеціальної техніки. Розроблена та впроваджена у виробництво (виготовлення й ремонт) спеціальної техніки гама методів зміцнення, які, порівняно із традиційними, суттєво (у 2-4 рази) підвищують ресурс, міцність та стійкість. Запропоновано спосіб посилення дії кожного з названих методів шляхом їх комбінації із набагато більшим ефектом, ніж від кожного зокрема. Це дає ефект одночасного поліпшення усіх трибомеханічних характеристик пар тертя.

Ключові слова: ресурс, надійність, зміцнення, дискретно-континуальне зміцнення, напружено-деформований стан

The objective is to develop of scientific and technological bases for increasing of resource and ensuring of strength, durability, high technical and performance characteristics of series engines and aggregates for special equipment by creating and implementing of range of technologies for strengthening of working surfaces in contacting details. Scientific novelty of presented work is that based on set-theoretic approach new concept and methods are proposed for resource increasing for series of engines and special equipment by creating new technologies for strengthening their detail's surface, as well as in solving of fundamental and applied problems: Scientific and practical importance of the work is to develop fundamentally new technical solutions to ensure high strength and resource for details of heavy-loaded couples of engines and aggregates of special equipment. A range of methods of strengthening is developed and put into manufacturing (production and maintenance) of special equipment that, compared with traditional considerably (2-4 times) increase resource, strength and stability. A method for amplification of each of these methods, which are combinations of a much greater effect than from everyone. This has the effect of simultaneously improving all tribomechanical characteristics of friction pairs.

Keywords: resource, reliability, consolidation, discrete-continuous strengthening deflected mode

В работе разработаны научно-технические основы повышения ресурса и обеспечения прочности, долговечности, высоких технических и тактико-технических характеристик серии двигателей и агрегатов для специальной техники за счет создания и внедрения гаммы технологий упрочнения рабочих поверхностей контактирующих деталей. На основе теоретико-множественного подхода предложены новые концепция и методы повышения ресурса серии двигателей и специальной техники путем создания новых технологий упрочнения поверхностей их деталей, а также в решении серии фундаментальных и прикладных задач. Научно-практическая значимость работы заключается в разработке принципиально новых технических решений по обеспечению высокой прочности и ресурса деталей тяжело нагруженных пар двигателей и агрегатов специальной техники. Разработана и внедрена в производство (изготовление и ремонт) специальной техники гамма методов упрочнения, которые, по сравнению с традиционными, существенно (в 2-4 раза) повышают ресурс, прочность и устойчивость. Предложен способ усиления действия каждого из названных методов путем их комбинации с гораздо большим эффектом, чем от каждого в отдельности. Это дает эффект одновременного улучшения всех трибомеханических характеристик пар трения.

Ключевые слова: ресурс, надежность, упрочнение, дискретно-континуальное упрочнение, напряженно-деформированное состояние

Вступ

Поліпшення техніко-економічних показників, енергоефективності виготовлення, ремонту та експлуатації машин на сучасному етапі розвитку техніки, у першу чергу – військової техніки, ускладнюється підвищенням їхніх експлуатаційних параметрів (робочих температур, тиску, навантажень на конструктивні елементи, деталі тощо). За таких умов експлуатації до серцевини виробу ставляться вимоги високої межі витривалості та тріщиностійкості.

Знос поверхонь тертя відбувається в результаті двох різновидів механічного зношування – абразивного і втомного. Таким чином, довговічність і ресурс роботи, наприклад, колінчастих валів двигунів, визначаються двома параметрами: втомною міцністю виробу і зносостійкістю поверхні шийок. Якщо питання підвищення втомної міцності елементів трибосистем вирішується значною мірою на стадії їх проектування та призначення об'ємної термічної обробки, то зносостійкість деталей цілком залежить від методів зміцнення їхніх поверхневих елементів.

Аналіз сучасного стану розробок технологій

зміцнення високонавантажених елементів машин у світі (Японія, США, Європа) свідчить, що методи азотування, загартування, ціанування, лазерної обробки поверхні, вакуумно-плазмового напилення мають суттєві недоліки. Серед них: тривалість, енергозатратність, низька стійкість тощо. Разом із тим ці недоліки мають принциповий характер і не можуть бути усунені в силу їхньої природи. Тобто якщо маємо адгезію різномірних матеріалів, то вони схильні до подібної поведінки.

Разом із тим розробки авторів за цим напрямком передбачають інтенсивну індендацію високоміцного легованого матеріалу у матрицю основного матеріалу. Отже, матеріал набуває властивостей різномірного, проте суцільного середовища, що є значною перевагою.

Як показує аналіз методів інженерії поверхні деталей машин [1, 2], цей науково-технічний напрям є одним із найбільш перспективних та продуктивних з вигляду на результативність на шляху

© Шейко О.І., Белов М.Л., Марченко А.П.,
Ткачук М.А., Кравченко С.О.,
Веретельник О.В., Гончаров В.Г., 2016

підвищення ресурсу, навантажувальної здатності, економічності та екологічності машин різного призначення, Особливо це стосується методів зміцнення деталей машин військового та цивільного призначення, які експлуатуються у важких умовах. Як один із варіантів розв'язання задач підвищення технічних і тактико-технічних характеристик цих машин є методи дискретного та дискретно-континуального зміцнення їхніх деталей, описані в [3-10].

Підводячи підсумки аналізу способів зміцнення елементів машин, що використовуються як при їх виготовленні, так і при ремонті, можна виділити їх спільні недоліки:

- висока енергозатратність;
- стандартні зміцнювальні способи і традиційні технології не забезпечують необхідного рівня зносостійкості і втомної міцності деталей одночасно;
- при їх використанні створюються технологічні концентратори напружень;
- зміцнювальні покриття не забезпечують їх якісного зчеплення з основою (деталлю);
- при використанні багатьох технологій, наприклад, азотування, через високу тривалість процесу (понад 70 годин) відбувається знеміцнення основи, що призводить до набуття залишкової деформація деталі у вихідному стані;
- нанесення покриттів при ремонті потребує збільшених припусків під механічну обробку для усунення деформації деталі, до того ж при цьому відбувається додаткове розігрівання і знеміцнення основи;
- через різні теплопровідність і коефіцієнт теплового розширення основного матеріалу і покриття градієнт температур по перерізу виробу може спричинити виникнення тріщин і руйнування покриття;
- стандартні зміцнювальні процеси енергоємні і потребують великих капітальних вкладень на організацію виробництва та захисту довкілля від екологічно шкідливих процесів.

Спільним і найбільш істотним недоліком всіх методів поверхневого зміцнення є те, що вони зводяться лише до підвищення твердості матеріалу поверхневого шару деталі. Але, як відомо, тільки твердість не може однозначно характеризувати зносостійкість. Внаслідок всього зазначеного ресурс машин до відправки в капітальний ремонт в реальних умовах експлуатації виявляється істотно нижчим нормативного.

Метою роботи є наукове обґрунтування, розробка та впровадження у виробництво нових комплексних *енергозберігаючих* технологій виготовлення і ремонту для підвищення ресурсу та імпортозаміщення матеріалів відповідальних важконавантажених деталей військових колісних та гусеничних машин на базі дискретно-континуального зміцнення шляхом комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану.

Для досягнення мети сформувані завдання:

- 1) розробка нових теоретико-множинних

підходів до генерації математичних, числових та фізичних моделей досліджуваних та створюваних енергоефективних технологій і станів зміцнюваних елементів військових машин та цивільної техніки;

- 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) синтез раціональних параметрів дискретно-континуальних способів модифікації поверхневих шарів важконавантажених деталей військових машин та цивільної техніки;

- 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 з метою забезпечення тактико-технічних та технічних характеристик військових машин та цивільної техніки.

Новий метод зміцнення відповідальних та високонавантажених деталей машин

У цій роботі проблема підвищення енергоефективності, ресурсу та надійності елементів машин вирішується застосуванням дискретного зміцнення поверхні важконавантажених деталей, що працюють в умовах тертя. Воно полягає у нанесенні електроіскровим методом на зовнішню поверхню виробу дискретного покриття з легувальних матеріалів у вигляді розташованих на певній відстані один від одного острівців різної конфігурації (метод електроіскрового легування). Після цього поверхню шліфують, відбувається зрізання прирощеної частини дискретних покриттів, що мають макро- і мікрodefекти, і їх поверхня нівелюється відносно поверхні деталі, зрізується і зовнішній шар деталі, що практично унеможливує появу концентраторів напружень та зменшує шорсткість поверхні.

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

Запропонована технологія позбавлена принципних вад подібних технологій (азотування, цементация, вакуумно-плазмове покриття тощо), які полягають у тому, що вони енергозатратні, екологічно шкідливі, тривалі у часі та вузьконаправлені. А технологія, що пропонується, – це дискретне легування поверхневих шарів деталей електроіскровим методом. Вона потребує набагато менше енергії на обробку деталей. При цьому відбувається не компромісне поєднання міцності та трибологічних характеристик, як у традиційних технологіях, а, навпаки, їх одночасне підвищення. Завдяки цьому ресурс деталей збільшується у 1,5 – 2 рази і більше. *Економія енергоресурсів* на етапі виготовлення – 6-8 разів. *Економія енергоресурсів* на етапі експлуатації – 20-40%. *Економія енергоресурсів* при ремонті – 5-6 разів.

Таким чином, удосконалено енергоефективну технологію зміцнення із імпортозаміщенням стратегічних матеріалів. Вона дуже перспективна, оскільки забезпечить нашій промисловості підвищення ресурсу та технічного рівня виробів.

Разом з тим технології, що пропонуються, потребують наукового обґрунтування, що пов'язано із дослідженням напружено-деформованого стану приповерхневих шарів. Враховуючи, що розміри кожної зони дискретного зміцнення – десятки і сотні мікронів, а самої деталі – можуть досягати кількох метрів, то виникає принципова проблема розмірності задачі. Наприклад, при використанні метода скінченних елементів потрібні будуть моделі з багатомільйонною кількістю ступенів вільності. Оскільки в основі вибору параметрів процесу лежить аналіз багатоваріантних розрахунків з великими обсягами обчислень, то ця задача стає дуже громіздкою. Альтернативою цьому є запропонований новий підхід на основі узагальненого параметричного моделювання. Завдяки цьому розрахункова модель будується збалансованою за точністю та розміром.

У ході комплексу попередніх досліджень визначався характер напружено-деформованого стану в області окремої дискретної зони зміцнення (локально) та у першому наближенні у глобальному масштабі (у всій конструкції). Первинний 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 високолегована область дискретного зміцнення при дії нормального тиску у деформованому стані дещо виступає над недеформованою 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», завдяки якому підвищується результативність енергоефективних технологій, визначено у ході подальших багатоваріантних досліджень.

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 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 вищі, ніж основного матеріалу, отже, відбувається зростання запасу міцності для отриманої системи матеріалів у цілому.

Проведені дослідження із застосуванням моделей невеликої розмірності (кілька мільйонів ступенів вільності).

Співставлення інтервалів найбільшого позитивного прояву « Δ -ефекту» та « σ -ефекту» дасть змогу визначити рекомендований інтервал дискретності покриття на основі проведених досліджень. На підставі відміченого можна стверджувати, 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. Втрати на тертя, наприклад, зменшуються у 1,5-2,5 рази. Отже, цим забезпечувався енергоефективність і на етапі обробки, і на етапі експлуатації.

Результати досліджень

Аналіз та узагальнення отриманих результатів дало можливість встановити два типи ефектів впливу на НДС, що виникають при виконанні дискретно-континуального 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 нанопористою. 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 запропонованої технології на НДС зміцнених тіл в приповерхневому шарі дуже сприятливий як для його загальної міцності та твердості, так і для стійкості проти зношування.

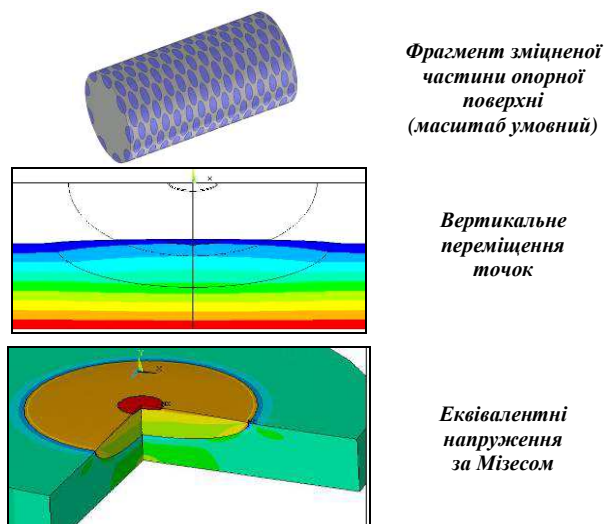
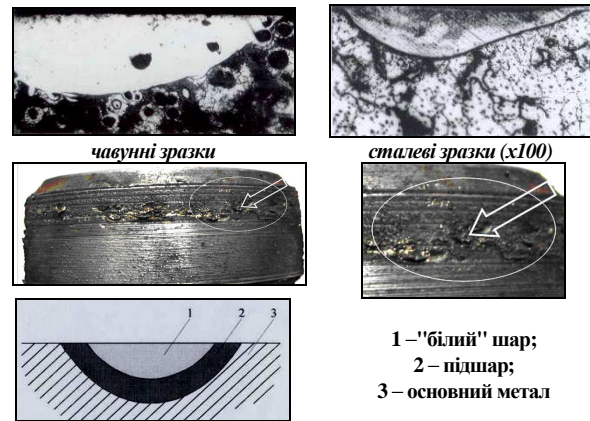


Рис. 2 – Прояв «Δ-ефекту» і «σ-ефекту» при дискретному зміцненні

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 кристалізуватися 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 після 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.



вигляд поверхні після дискретного зміцнення

Рис. 3 – Зміцнені зони

Прикладне застосування розробок

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 колінчастих 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 кривошипних 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 розширення використання технології дискретного зміцнення для колінчастих валів інших двигунів також були проведені дослідницькі роботи по зміцненню шийок колінвалів, виготовлених з різних легованих сталей, які використовуються для двигунів типу 5ТДФ (танки "Булат"), 10Д100, Д80, 5Д49 (уста-

новки для автономного енергоживлення стратегічних об'єктів, тепловози). 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 використовувалася 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. Для забезпечення автономного живлення стратегічних об'єктів розроблено установки на основі модернізованого двигуна Д80 із зміцненими елементами (ДП "Завод ім. Малишева") (рис. 6).

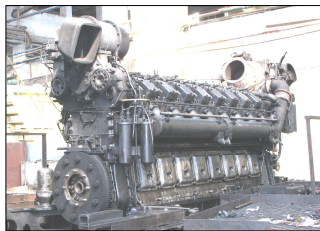
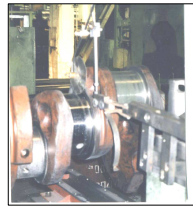


Рис. 4 – Магістральний тепловоз 2ТЕ10М з модернізованим двигуном зі зміцненим валом



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

Крім проведених вище випробувань 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 шпindelної групи верстатів моделей 9А350Ф1, 9А340. Ця технологія апробована також на Криворізькому меткомбінаті при обробці декількох комплектів прокатних валків, що забезпечило випуск додаткової продукції.



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-70УМ, 80УМ, БТР-94Б (ДП "Завод ім. Малишева"). Розроблені та впроваджені технології зміцнення елементів танкових двигунів серії 5ТДФ 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.



Рис. 7 – Форсовані двигуни для модернізації бойових машин "Булат"

Запропоновані комплексні технології, які поєднують дискретне та континуальне зміцнення відповідно однієї та іншої поверхні спряжених пар контактуючих пар деталей (рис. 8). Таке поєднання дає набагато вищий результат, ніж сумарний від дії окремих технологій.

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. 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 задиристійкості та зниженням зношування.

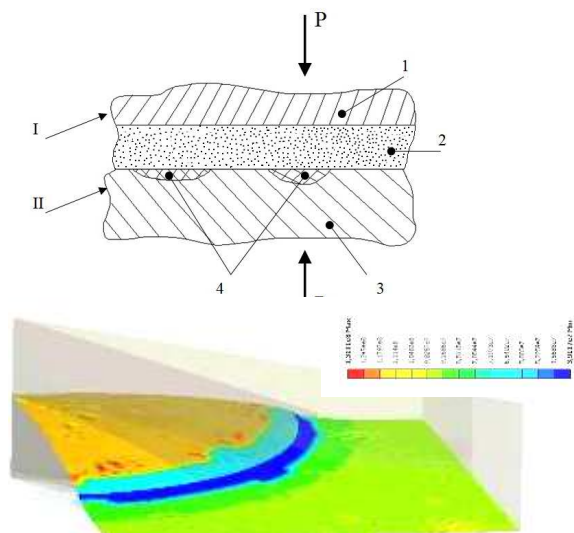


Рис. 8 – Комплексна технологія, що поєднує дискретне та континуальне зміцнення, та контактний тиск:

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))

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 концентратом 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: трансмісії, автомобільні двигуни для військової техніки, стволи танкових гармат, тепловозні двигуни, колісні пари рухомого складу залізничного транспорту, верстати, валки 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, магістральних тепловозів 2ТЕ10 та 2ТЕ116 тощо. Досягнуто суттєвий економічний ефект.

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 імпортованих запасних частин до двигунів та інших агрегатів військової та цивільної техніки.

Список літератури

1. Канарчук В.С. Інженерія поверхні деталей транспортних засобів: сучасний стан і перспективи / В.С. Канарчук, Е.К. Посвятенко, Л.А. Лопата // Вісник Національного транспортного ун-ту. – К., 2000. – Вип.4. – С. 6–24.
2. Канарчук В.С. Шляхи удосконалення методів інженерії поверхні деталей машин / В.С. Канарчук, Е.К. Посвятенко, Л.А. Лопата // Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojedznych "Sakon-2000": mat. XI міжнар. конф. – Rzeszow, 2000. – С.139–144.
3. Ткачук Н.А. Континуальная и дискретно-континуальная модификация поверхностей деталей: монография / Н.А. Ткачук, С.С. Дьяченко, Э.К. Посвятенко, С.А. Кравченко [и др.]. – Х. : Щедра садба плюс, 2015. – 259 с.
4. Ткачук М.А. Дискретно-континуальні методи зміцнення деталей двигунів і агрегатів для спеціальної техніки / М.А. Ткачук, Е.К. Посвятенко, С.О. Кравченко, В.В. Шпаковський, О.І. Шейко // Інженерія поверхні та реновація изделий: Матер. 15-й междунар. науч.-техн. конф., 01–05 июня 2015 г., Одесская обл. Затока. – К.: АТМ України, 2015.– С. 183–186.
5. Посвятенко Е.К. Поліпшення надійності форсованих двигунів транспортної техніки дискретним зміцненням поверхні деталей / Посвятенко Е.К., Ткачук М.А., Шерегет В.М. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/10(57). – С. 23-26.
6. Веретельник О.В. Контактное взаимодействие поршня с гальваноплазменной обработкой боковой поверхности со стенками цилиндра ДВС / Веретельник О.В., Ткачук Н.А., Белик С.Ю. // Вісник НТУ "ХПІ". Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – 2012. – № 22. – С. 32–39.
7. Парсаданов І.В. Научное обоснование параметров дискретного упрочнения высоконагруженных деталей транспортных энергетических установок / Парсаданов І.В., Кравченко С.А., Ткачук Н.А., Шерегет В.Н. // Наук. вісн. Херсонської державної морської академії: Науковий журнал. – Херсон: Видавництво ХДМА, 2012. – № 1(6). – С. 298-310.
8. Посвятенко Е. Основи забезпечення надійності форсованих двигунів нового покоління для магістральних тепловозів / Посвятенко Едуард, Ткачук Микола // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr 4. Seria: Transport. – Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2013 – P. 407-412.
9. Кравченко С. Комбинированные технологии повышения износостойкости высоконагруженных пар трения / Кравченко С., Посвятенко Е., Ткачук М., Веретельник О. // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr 5. Seria: Transport. – Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2014 – P. 269-280.
10. Ткачук М.А. Розвиток методів зміцнення найбільш навантажених деталей – шлях до підвищення технічних і тактико-технічних характеристик машин / М.А. Ткачук, С.О.Кравченко, В.В. Шпаковський, М.Л.Белов [та інш.] // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Транспортне машинобудування. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2015. – №43 (1152). – С. 116–122.
11. Zienkiewicz O.C. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals / Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. and Zhu J.Z. – Sixth Edition – Butterworth-Heinemann, 2005. – 752 pp.
12. Belytschko T. Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures / Belytschko T., Liu W.K. and Moran B. – New York: J. Wiley & Sons. – 2000. – 600 p.

Bibliography (transliterated)

1. Kanarchuk V.Ye. Inzheneriya poverkhni detaley transportnykh zasobiv: suchasnyy stan i perspektyvy / V.Ye. Kanarchuk, E.K. Posvyatenko, L.A. Lopata // Visnyk Natsional'noho transportno-ho un-tu. – Kyiv, 2000. – No 4. – P. 6–24.
2. Kanarchuk V.Ye. Shlyakhy udoskonalennya metodiv inzheneriyi poverkhni detaley mashyn / V.Ye. Kanarchuk, E.K. Posvyatenko, L.A. Lopata // Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojedznych "Sakon-2000": mat. KhI mizhnar. konf. – Rzeszow, 2000. – P. 139–144.
3. Tkachuk N.A. Kontynual'naya y diskretno-kontynual'naya modyfykatsyya poverkhnostey detaley: monografyya / N.A. Tkachuk, S.S. D'yachenko, Э.К. Posvyatenko, S.A. Kravchenko [y dr.]. – Kharkov : Shchedra sadyba plus, 2015. – 259 p.
4. Tkachuk M.A. Dyskretno-kontynual'ni metody zmitsnennya detaley dvyuhuniv i ahrehativ dlya spetsial'nokh tekhniky / M.A. Tkachuk, E.K. Posvyatenko, S.O. Kravchenko, V.V. Shpakovskyy, O.I. Sheyko // Ynzheneryya poverkhnosty y renovatsyya yzdellyy: Mater. 15-y mezhduнар. науч.-tekh. konf., 01–05 yyunya 2015 h., Odesskaya obl. Zatoka. – Kherson: АТМ Украйны, 2015.– P. 183–186.

5. **Posvyatenko E.K.** Polipshennya nadiynosti forsovanykh dvyhyniv transportnoyi tekhniki dyskretnym zmitsnennym poverkhni detaley / **Posvyatenko E.K., Tkachuk M.A., Sheremet V.M.** // Vostochno-Evropeyskyi zhurnalпередovykh tekhnolohiy. – 2012. – No 3/10(57). – P. 23-26.

6. **Veretel'nik O.V.** Kontaknoe vzaimodejstvie porshnja s gal'vanoplazmennoj obrabotkoj bokovoj poverkhnosti so stenkami cilindra DVS / **Veretel'nik O.V., Tkachuk N.A., Belik S.Ju.** // Visnik NTU "KhPI". Mashinoznavstvo ta SAPR. – 2012. – No 22. – P. 32–39.

7. **Parsadanov I.V.** Nauchnoe obosnovanie parametrov diskretnogo uprochneniya vysokonagruzhennykh detalej transportnykh jenergeticheskikh ustanovok / **Parsadanov I.V., Kravchenko S.A., Tkachuk N.A., Sheremet V.N.** // Naukovij visnik Hersons'koï derzhavnoï mors'koï akademii: Naukovij zhurnal. – Kherson: Vidavnicтво HDMA, 2012. – No 1(6). – P. 298-310.

8. **Posvyatenko E.** Osnovy zabezpechennya nadiynosti forsovanykh dvyhyniv novoho pokolinnya dlya mahistral'nykh teplovoziv / **Posvyatenko Eduard, Tkachuk Mykola** // Systemy i šrodky transportu samochodowego. Vybrane zagadnienya. Monografija nr 4. Seria: Transport. – Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2013 – P. 407-412.

9. **Kravchenko S.** Kombinirovannye tehnologii povysheniya iznosostojkosti vysokonagruzhennykh par trenija / **Kravchenko S., Posvyatenko E., Tkachuk M., Veretel'nik O.** // Systemy i šrodky transportu samochodowego. Vybrane zagadnienya. Monografija nr 5. Seria: Transport. – Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2014 – P. 269-280.

10. **Tkachuk M.A.** Rozvytok metodiv zmitsnennya naybil'sh navantazhenykh detaley – shlyakh do pidvyshchennya tekhnichnykh i taktyko-tekhnichnykh kharakterystyk mashyn / **M.A. Tkachuk, S.O. Kravchenko, V.V. Shpakov's'kyi, M.L. Byelov [ta insh.]** // Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Transportne mashynobuduvannya. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2015. – No 43 (1152). – P. 116–122.

11. **Zienkiewicz O.C.** The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals / **Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. and Zhu J.Z.** – Sixth Edition – Butterworth-Heinemann, 2005. – 752 pp.

12. **Belytschko T.** Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures / **Belytschko T., Liu W.K. and Moran B.** – New York: J. Wiley & Sons. – 2000. – 600 p.

Поступила (received) 1.10.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Енергоєфективні технології дискретного зміцнення для підвищення ресурсу елементів конструкцій військової та цивільної мобільної техніки / **О.І. Шейко, М.Л. Белов, Марченко А.П., М.А.Ткачук, С.О. Кравченко, О.В. Веретельник, В.Г. Гончаров** // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ "ХПІ", 2016. – № 39 (1211). – С. 107–113. – Бібліогр. 12 назв. – ISSN 2079-0775.

Energy efficient technologies hardening digital to improve life of structural elements of civil and military mobile equipment/ **Sheyko O., Belov M., Marchenko A., Tkachuk M., Kravchenko S., Veretelnyk O., Goncharov V.** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Machines and CAD. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016. – No 39 (1211). – P. 107–113. – ISSN 2079-0775.

Энергоэффективные технологии дискретного упрочнения для повышения ресурса элементов конструкций военной и гражданской мобильной техники / **Шейко А.И., Белов М.Л., Марченко А.П., Н.А.Ткачук, С.А. Кравченко, О.В. Веретельник, В.Г. Гончаров** // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Машиноведение и САПР. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2016. – № 39 (1211). – С. 107–113. – Библиогр. 12 назв. – ISSN 2079-0775.

Сведения об авторах (About authors)

Шейко Олександр Іванович – головний інженер. ДП "Завод ім. В.О. Малишева", тел. (057) 707-69-02, tma@tmm-sapr.org.

Sheyko Oleksandr – chief engineer at the SE "Zavod im. V. O. Malisheva", tel.: (057) 707-69-02, tma@tmm-sapr.org.

Белов Микола Львович – кандидат технічних наук, НТУ "ХПІ", старший науковий співробітник кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", тел.: (057) 707-69-01.

Belov Mykola – Candidate of Technical Sciences, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Researcher at Theory and Systems of Mechanisms and Machines Automated Design Department; tel.: (057) 707-69-01.

Марченко Андрій Петрович – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", тел. (057) 7004034, e-mail: marchenko@kpi.kharkov.ua

Marchenko Andrey – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, vice-rector for scientific work, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", tel.: (057) 7004034, e-mail: marchenko@kpi.kharkov.ua

Ткачук Микола Анатолійович – доктор технічних наук, професор, завідувач каф. "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", НТУ "ХПІ", тел. (057)707-6902, e-mail: tma@tmm-sapr.org

Tkachuk Mykola – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Chief of Theory and Systems of Mechanisms and Machines Automated Design Department; tel.: (057) 707-69-02; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

Кравченко Сергій Олександрович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри "Двигуни внутрішнього згорання", НТУ "ХПІ", тел. (057) 7004034, e-mail: marchenko@kpi.kharkov.ua

Kravchenko Sergiy – Candidate tehnichnih Sciences, Department of Senior Researcher "Internal Combustion Engines", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", tel. (057) 7004034, e-mail: marchenko@kpi.kharkov.ua

Веретельник Олег Вікторович – молодший науковий співробітник каф. "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", тел. (057) 707-6901, e-mail: tma@tmm-sapr.org

Veretelnyk Oleg – junior researcher the department "The theory and computer aided design of mechanisms and machines", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, phone: +38 (057) 707-69-01;

Гончаров Віктор Григорович – кандидат технічних наук, генеральний директор, Приватна науково-дослідна виробничо-комерційна фірма "ТАВІ", тел. (067) 7878060, e-mail: tma@tmm-sapr.org

Goncharov Viktor – Candidate tehnichnih Sciences, CEO, Private Research production and commercial firm "TAVI", tel. (067) 7878060, e-mail: tma@tmm-sapr.org