

и гораздо меньшим затуханием между ударами, чем в случае колебаний без дополнительно установленной призмы (массы, имитирующей боевой модуль).

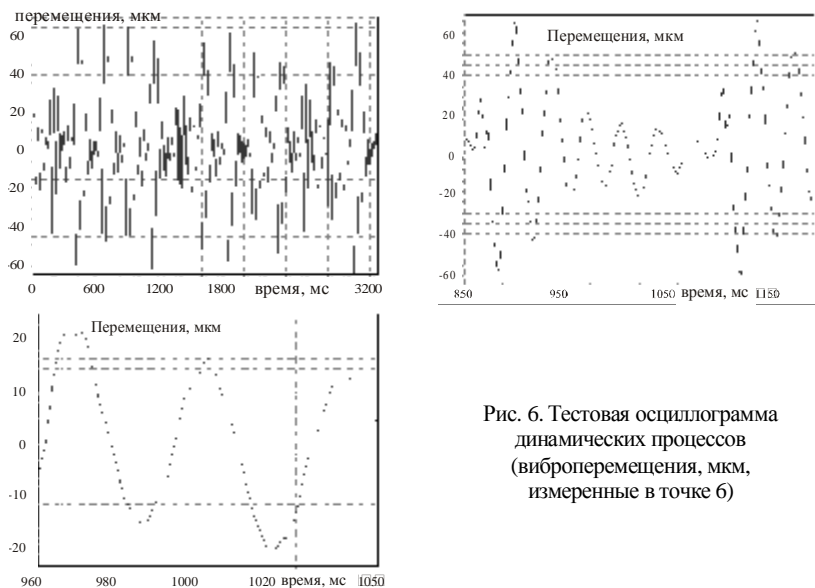


Рис. 6. Тестовая осциллограмма динамических процессов (виброперемещения, мкм, измеренные в точке б)

Представленные в разных масштабах развертки по оси абсцисс осциллограммы свидетельствуют о возможности оборудования и фиксировать, и воспроизводить процесс с разным масштабом и шагом считывания данных с датчика. Это очень важно при проведении серии измерений колебательных процессов в объектах с изменяющимися инерционно-жесткостными характеристиками, а, значит, и с собственными частотами. Это, в частности, наблюдается и в случае проведения измерения реакции макета бронекорпуса БТР-80 с установкой (без установки) имитатора боевого модуля, с закрытием (незакрытием) проема под боевой модуль (см. [1-3]).

Таким образом, возможности аппаратуры, как показали тестовые измерения, соответствуют техническим требованиям не только для проведения описанного эксперимента, но и целой серии экспериментов с более широким спектром частот (собственных и возмущающих).

Как показывает сравнительный анализ характера процессов, наблюдаемых в макете бронекорпуса с установленным имитатором боевого модуля, возбуждаемый процесс, в отличие от зафиксированных ранее в работах [1-3], содержит больше близких нижних гармоник, что свидетельствует не только о снижении частот макета бронекорпуса, но и о сгущении спектра собственных частот в нижней его части.

В качестве основных результатов проведенных исследований установлено, что и сам макет, и стенд, и измерительная аппаратура продемонстрировали эффективность и пригодность для проведения более широкого набора экспериментов с варьированием инерционно-жесткостных свойств макета бронекорпуса. Кроме того, возможность изменения в широком диапазоне временной оси осциллограмм (т.е. «растягивание – сжатие») позволяет более подробно выявить особенности регистрируемых динамических процессов.

Полученные результаты позволяют в дальнейшем перейти к проведению широкого комплекса численных и экспериментальных исследований макета бронекорпуса БТР-80 и других боевых машин с целью выявления закономерностей динамических процессов при ударно-импульсном возбуждении от усилии отдачи в процессе стрельбы.

- **Список литературы. 1.** Пелешко Е.В., Васильев А.Ю., Гриценко Г.Д., Бруль С.Т., Пономарев Е.П. Расчетно-экспериментальная идентификация параметров численных моделей корпусных элементов транспортных средств // Механіка та машинобудування. – 2007. – №1. – С.95-100. **2.** Гриценко Г.Д. К вопросу об экспериментальном моделировании реакции бронекорпусов на увеличение массы боевого модуля // Вісник НТУ „ХПІ”. Тем. вип.: „Машинознавство і САПР” – Харків: НТУ „ХПІ”, 2007. – № 29. – С.38-42. **3.** Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Пелешко Е.В. Комплексное экспериментальное исследование элементов корпусов транспортных средств специального назначения // Вісник НТУ „ХПІ”. Тем. вип.: „Машинознавство і САПР” – Харків: НТУ „ХПІ”, 2008.– № 2. – С.42-53.

Поступила в редакцию 10.09.09

УДК 621.43: 621.787: 539.3

**В.Г. ГОНЧАРОВ**, канд. техн. наук, ген. директор фірми «ТАВІ»,  
**М.А. ТКАЧУК**, докт. техн. наук, проф., зав. каф. ТММіСАПР НТУ „ХПІ”,  
**С.С. ДБЯЧЕНКО**, докт. техн. наук, проф., Харківський національний автомобільно-дорожній університет «ХАДІ»,  
**С.О. КРАВЧЕНКО**, канд. техн. наук, ст. наук. співр. каф. ДВЗ НТУ „ХПІ”,  
**В.М. ШЕРЕМЕТ**, асп. НТУ „ХПІ”

### НАУКОВІ ОСНОВИ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДВИГУНІВ

У статті описані теоретичні основи розробки технології зміцнення поверхонь високонавантажених елементів двигунів (ВЕД) та інших машинобудівних конструкцій. Запропоновані нові математичні моделі для опису ефектів зміцнення поверхневих шарів деталей на основі застосування дискретного зміцнення.

In the paper theoretical bases of development of strengthening technology of surfaces of high-rate elements of engines and other machine-building constructions are described. New mathematical models are offered for description of strengthening effects of superficial layers of details on the basis of discrete strengthening application.

**Вступ.** Вихід з ладу деталей обладнання, транспортних засобів і силових установок (двигунів) за нормальних умов експлуатації може відбуватися внаслідок багатьох причин: старіння матеріалу, його недостатньої міцності і в'язкості, руйнування, утворення і розвитку втомних тріщин, різних видів зношування, корозії, ерозії, кавітації та ін. [1-5].

Практика експлуатації свідчить, що 80 % відмов вузлів тертя викликані зношуванням їхніх поверхонь та пов'язаними з цим поламаками, наприклад, внаслідок заїдання. Витрати на ремонт і технічне обслуговування машин у декілька разів перевищують їх вартість (для автомобілів – у 6, для літаків - до 5, для верстатів - до 8 разів) і потребують великої кількості матеріалу. Так, на ремонт автомобіля витрачається 25-30 % металу, потрібного на виготовлення нової машини.

Відомо, що силові установки транспортних засобів за весь термін служби ремонтуються до 5 разів. Ресурс двигуна після ремонту порівняно з ресурсом нового двигуна складає близько 30-50 %, хоча за технічними умовами має бути не нижче 80 % (ГОСТ 23465-79). Працездатність силових установок залізничного, автомобільного та морського транспорту, а також газо- і нафтоперекручувальних станцій, електростанцій, прокатних станів, значною мірою залежить від терміну служби колінчастих валів двигунів, корабельних гребних валів, роторів турбін, прокатних валків та інших важконавантажених і, як правило, дорогих деталей.

Проблему підвищення їхньої надійності і довговічності неможливо вирішити тільки за рахунок вибору тієї чи іншої марки сталі або чавуну. Це досягається за допомогою необхідних експлуатаційних та економічних показників.

Для деталей типу колінчастих валів зазвичай використовують комплексну обробку – об'ємну, яка забезпечує необхідні властивості серцевини (високі показники міцності, опору втомі, пластичності, ударної в'язкості, в'язкості руйнування) і наступну поверхневу, призначену для досягнення високої зносостійкості шийок. Як правило, об'ємна обробка полягає у покращенні (для великогабаритних виробів - у нормалізації), після чого виконують або азотування, або поверхневе гартування шийок з обкаткою галтелей, або застосовують різні зносостійкі наплавки. Останній спосіб - найпоширеніший при ремонті виробів.

Складність досягнення у виробі одночасно високих експлуатаційних характеристик і серцевини, і поверхні полягає в тому, що поверхнева обробка може значно вплинути на властивості серцевини. Так, при азотуванні (а воно дуже широко використовується для великогабаритних важконавантажених валів, зокрема, 5Д49 та КамАЗ–740) серцевина знеміцнюється настільки, що вал деформується під власною вагою (деформація досягає 2 мм при довжині вала 3,2 м). Поверхневе гартування, особливо чавунів (частіше за все нагріванням СВЧ), часто не забезпечує необхідної твердості поверхні і знижує опір втомі. Тому чавунні вали часто піддають нормалізації без будь-якого наступного зміцнення поверхні шийок і, як наслідок, їх зносостійкість недо-

статня. Наплавлення супроводжується виникненням розтягувальних напружень, появою структурної неоднорідності і мікроскопічних тріщин у наплавленому та перехідному шарах, що призводить до окрихнення виробу. Такий процес може також визвати розігрів серцевини і її знеміцнення.

*Метою* даної роботи було створення наукових основ нових комплексних енергозберігальних технологій виготовлення і ремонту важконавантажених деталей машин (ВДМ) на базі дискретного зміцнення. Розв'язання цієї проблеми дозволить забезпечити конкурентоспроможність машинобудівної продукції України на світовому ринку.

Відповідно до поставленої мети в роботі були вирішені такі завдання:

- здійснити аналіз науково-технічної інформації щодо оцінювання ресурсу колінчастих валів та існуючих способів їхнього зміцнення при виготовленні та ремонті;
- запропонувати новий спосіб формування зносостійких поверхонь металевих виробів (дискретне зміцнення) як альтернативу стандартним технологіям поверхневого гартування і азотування при виготовленні та ремонті високонавантажених деталей машин (ВЕМ);
- провести теоретичні дослідження доцільності і ефективності використання дискретного зміцнення при виготовленні та ремонті деталей машин;
- розробити математичну модель напружено-деформованого стану (НДС) приповерхневого шару матеріалу при дискретному зміцненні деталей;
- проаналізувати зміни структури і механічних властивостей приповерхневих шарів матеріалів після дискретного зміцнення та їх вплив на експлуатаційні властивості виробів;
- накреслити напрями подальших досліджень.

**Постановка проблеми.** Покращення техніко-економічних показників силових агрегатів на сучасному етапі розвитку техніки характеризується підвищенням їхніх експлуатаційних параметрів (робочих температур, тиску, навантажень на конструктивні елементи деталі). За таких умов експлуатації до серцевини виробу ставляться вимоги високої границі витривалості і тріщиностійкості. Знос поверхонь тертя відбувається в результаті двох різновидів механічного зношування – абразивного і втомного.

Таким чином, довговічність і ресурс роботи колінчастих валів визначаються двома параметрами - втомною міцністю виробу і зносостійкістю поверхні шийок (високим опором абразивному та втомному зношуванню). Якщо питання підвищення втомної міцності колінчастого вала і взагалі всіх елементів трибосистем двигуна вирішується значною мірою на стадії їх проектування та призначення об'ємної термічної обробки, то зносостійкість деталей цілком залежить від методів зміцнення їх поверхневих елементів.

Підводячи висновки з аналізу способів зміцнення корінних і шатунних шийок колінчастих валів, що використовуються як при їх виготовленні, так і при ремонті, можна виділити їх загальні *недоліки*: стандартні зміцнювальні способи і традиційні технології нанесення зносостійких покриттів не забезпе-

чують необхідного рівня зносостійкості і втомної міцності деталей одночасно; при їх використанні створюються технологічні концентратори напружень; зміцнювальні покриття не забезпечують їх якісного зчеплення з підкладкою (деталлю); нанесення покриттів потребує збільшених припусків під механічну обробку для усунення можливої деформації деталі; через різні теплопровідність і коефіцієнт теплового розширення основного матеріалу і зносостійкого 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 і 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 сказаного ресурс двигунів до відправки в капітальний ремонт в реальних умовах експлуатації виявляється істотно нижчим нормативного.

В даній роботі проблема підвищення довговічності і надійності важко-навантажених виробів, що працюють в умовах тертя, вирішується застосуванням дискретного зміцнення поверхні деталей, яке 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 піддають шліфуванню.

**Опис технології.** При шліфуванні відбувається зрізання прирощеної частини дискретних покриттів, що мають макро- і мікрodefekти, і їх поверхня нівелюється відносно поверхні виробу, або зрізується і зовнішній шар виробу, що практично унеможливує появу концентраторів напружень і зменшує шорсткість поверхні (рис. 1). Виникає проблема аналітичного, експериментального та числового моделювання процесів та станів, що супроводжують дискретне зміцнення.

#### **Новий підхід до моделювання напружено-деформованого стану приповерхневого шару.**

При розробці принципово нових технологій однією з основних проблем є пошук оптимального розв'язання у нечітко визначеному та варійованому 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 ВЕМ, що перебувають у рухомому контакті. 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 оп-



Рис. 1. Вигляд поверхні після дискретного зміцнення;  $\times 12$

тимізація 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, двигунобудування та машинознавством, то для їх розв'язання були залучені самі передові теоретичні, комп'ютерно-інформаційні та апаратні розробки, системи та засоби, зосереджені в НТУ „ХПІ”.

У ході комплексу досліджень визначався характер НДС в області окремої дискретної зони зміцнення (локально) та у глобальному масштабі (у всій конструкції). Аналіз та узагальнення отриманих результатів дало змогу встановити два типи ефектів впливу на напружено-деформований стан, що виникають при здійсненні дискретно-континуального зміцнення: „ $\Delta$ -ефект” та „ $\sigma$ -ефект”. Перший полягає в тому, що високолегована область дискретного зміцнення при дії нормального тиску у деформованому стані дещо виступає над недеформованою областю (на величину  $\Delta$ ). Числовою характеристикою при цьому є відношення  $\Delta$  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 спряжених деталей. Найбільший „ $\Delta$ -ефект” досягається при відносній площі зміцнення 60-80 %.

Другий – „ $\sigma$ -ефект” – проявляється у характерному розподілі напружень в зоні дискретного зміцнення: розтягуювальні 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 зміц-

нованого елемента машини. Оскільки механічні властивості зміцнювального високолегованого матеріалу значно (до 50 %) вищі, ніж основного, відбувається зростання запасу міцності для отриманої системи матеріалів в цілому.

Найбільш значний „ $\sigma$ -ефект” досягається при відносній площі зміцнення 65-75 %. Співставлення інтервалів найбільшого позитивного прояву „ $\Delta$ -ефекту” та „ $\sigma$ -ефекту” дає змогу визначити рекомендований інтервал дискретного покриття в області 60-75% (рис. 2, 3).

На підставі сказаного можна стверджувати, що інтегральний вплив запропонованої технології на напружено-деформований стан зміцнених тіл у поверхневому шарі дуже сприятливий як для його загальної міцності, так і для стійкості проти зношування.

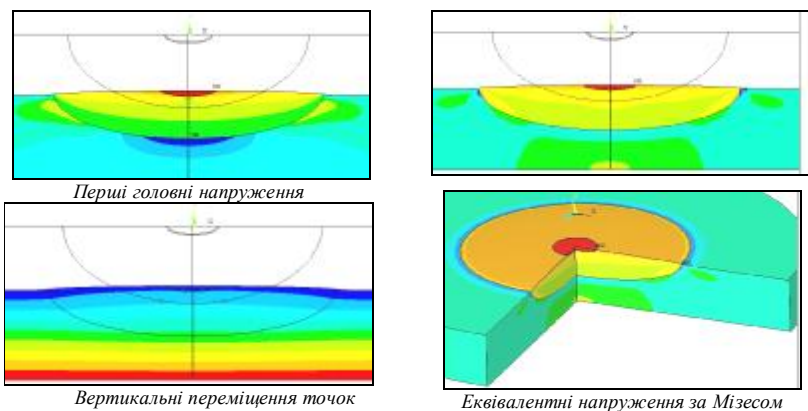


Рис. 3. Напружено-деформований стан в зоні дискретного зміцнення

**Металографічне дослідження зразків.** Металографічний аналіз зразків після дискретного зміцнення показав, що в поверхневому шарі дослідних зразків чітко виявляється зона, яка різко відрізняється від основного матеріалу (див. рис. 1). Вона має вигляд світлої блискучої плями, травлення якої реактивами утруднене. Умовно цю зону названо „білим” шаром. Товщина „білого” шару дорівнює 200-400 мкм, а її мікротвердість перевищує мікротвердість основного металу і коливається в межах 500-1000 МПа.

Для встановлення природи „білого” шару, що утворюється при дискретному зміцненні, досліджували його структуру та фазовий склад. Дані фазового, мікрорентгеноспектрального і спектрального аналізів та металографії дозволяють стверджувати, що „білим” шаром є суміш 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 роз-

ташована зона перемінного хімічного складу і мікротвердості (рис. 4).

Експлуатаційними випробуваннями встановлено, що дискретне зміцнення чавуну забезпечує підвищення його зносостійкості у 8-10 разів порівняно зі стандартною технологією нормалізації і в 1,3-1,5 рази у порівнянні з гартуванням СВЧ, а сталі - у 1,6-3,5 рази порівняно з азотуванням. Одночасно з цим як у сталі, так і в чавуні покращується припрацьовуваність і зменшується зношувальна здатність.

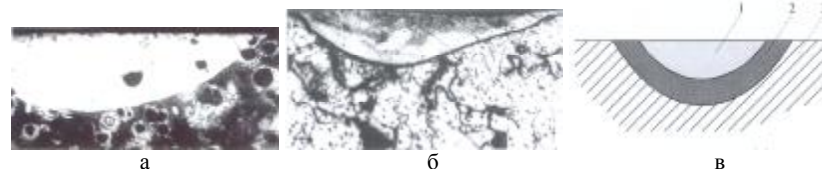


Рис. 4. Зміцнені зони (1 – „білий” шар; 2 – підшар; 3 - основний метал): а – чавунні зразки; б – сталеві зразки (x 100); в – схема розташування шарів

**Впровадження та аналіз результатів.** На базі розробок і багаторічного досвіду по адаптації і впровадженню у виробництво дискретного зміцнення Приватною науково-дослідною виробничо-комерційною фірмою „ТАВІ” і ДП „Укрзалізниця” і за результатами науково-дослідних робіт, проведених Національним технічним університетом „ХПІ”, Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом „ХНАДУ” і Київським транспортним університетом „КАДІ”, була розв’язана задача створення способу зміцнення поверхонь високонавантажених деталей, що виключає недоліки традиційних технологій зміцнення.

Спосіб формування зносостійких поверхонь металевих виробів (дискретне зміцнення) за своїми механічними і триботехнічними характеристиками не поступається кращим світовим аналогам: низькотемпературному ціануванню, якому піддають колінчасті вали двигунів фірми „Хонда” (Японія); газовому азотуванню, вживаному для важконавантажених деталей двигунів у Великобританії та інших країнах; електродугової металізації, що використовується фірмою „CRP Industry” (США). Більш того, з точки зору авторів, він є кращим за них, оскільки не супроводжується недоліками, притаманними кожному з названих способів, що обговорювалося раніше.

Дискретне зміцнення здійснюється у два етапи: зміцнення корінних шийок та зміцнення шатунних шийок. Зміцнення корінних шийок колінчастих валів виконується на токарному верстаті. Для цього на супорт верстата встановлюється спеціальна штанга, на якій кріпиться електротримач. Зміцнення шатунних шийок на цьому ж верстаті можливе, якщо він дозволяє здійснити зсув вала на величину радіуса кривошипа. Для розв’язання цієї задачі було розроблено технологічне оснащення, що дозволяє з однієї установки виконувати дискретне зміцнення і корінних, і шатунних шийок колінчастих валів на токарних верстатах.

При виборі матеріалу електрода і розробці технології нанесення дискрет-

них покриттів показниками оптимізації були: високий опір втомі виробу; необхідна зносостійкість поверхні шийок; оскільки однією з причин зносу є абразивна дія продуктів зношування для зменшення внеску цього чинника бажано, щоб частинки були дрібнодисперсними, що полегшує їх виносення із зони тертя змащувально-охолоджувальною рідиною; підвищення теплостійкості поверхні тертя; оптимальне перекриття зміцнених зон (плям), тобто площі зміцнення; доступна ціна матеріалу електрода.

При впровадженні дискретного зміцнення на ДП „Завод ім. В. О. Малишева” для виготовлення колінчастих валів дизелів типа Д80 (високоміцний легований чавун з кулястим графітом, модифікований магнієм) для визначення впливу масштабною чинника при зміцненні проведені додаткові випробування на втомну міцність. Випробування були проведені на двох відсіках колінчастого вала дизеля Д80.

Аналіз виконаних робіт показав, що масштабний чинник на оптимальний режим дискретного зміцнення деталей не впливає. Одночасно підтверджено, що воно 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 колінчастих валів силових агрегатів, виготовлених як з чавуну, так і зі сталі, і для інших виробів.

Для проведення експлуатаційних випробувань чавунного колінчастого вала двигунів типу Д80 після дискретного зміцнення був взятий двигун моделі 1Д80Б №1, який після збирання піддали повномасштабним заводським випробуванням, що включали 100-годинну програму аналізу роботи двигуна з 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 ДП «Укрзалізниця» на дослідно-промислові випробування. Успішне завершення цих випробувань дозволило рекомендувати метод дискретного зміцнення для впровадження у виробництво при виготовленні колінчастих валів дизелів типа Д80 з економічним ефектом 1,5 млн. грн.



Рис.5. Дискретне зміцнення колінчастого вала двигунів Д80 і КамАЗ-740

що після шліфовки шийок колінчастого вала під другий ремонтний розмір, а інколи і під перший ремонтний розмір, практично відсутній зміцнений (азотований) шар. Тому для продовження терміну експлуатації двигуна 5Д49 були розроблені технічні умови ТУ В 29.1-22615920-001:2005, що передбачають при ремонті замість повторного азотування застосовувати дискретне зміцнення шийок колінчастих валів.

Пробіг тепловозів після ремонту колінчастих валів з використанням технології дискретного зміцнення корінних і шатунних шийок на даний час складає 270000 - 780000 км, і всі вони знаходяться в експлуатації, хоча гарантійний пробіг після ремонту колінчастого вала - 240000 км.

Технологія дискретного зміцнення при ремонті колінчастих валів опробована для двигунів КамАЗ-740 на ДП МОУ «ХАРЗ 110». Як дослідний зразок був запропонований колінчастий вал останнього (четвертого) ремонтного розміру. Після попередньої шліфовки вал був підданий дискретному зміцненню, яке здійснювалося на токарному верстаті моделі ДШ-500 (див. рис. 5).

Дискретно зміцнений колінчастий вал двигуна КамАЗ-740 10 липня 2003р. був встановлений на автомобіль КамАЗ-5410, державний номер № 73-67 ХАЦ. Протягом періоду експлуатації (з 10.07.03 р. по 14.10.04 р.) автомобіль проходив всі ТО згідно технічним вимогам на даний двигун.

В результаті проведених випробувань було встановлено, що за весь цикл тестування пробіг автомобіля склав 109000 км. На момент завершення випробувань всі параметри двигуна автомобіля відповідали технічним вимогам. Цей автомобіль знаходився в експлуатації під спостереженням до 06.03.06 р. Його пробіг за цей період склав 259000 км (без зупинки на капітальний ремонт), що забезпечує вимоги ГОСТ 23465-79.

Окрім наведених вище випробувань, в період з 2001 року до теперішнього часу були виконані виробничі випробування дискретно зміцнених деталей двигунів транспортних засобів на ВАТ „Харківський завод тракторних самохідних шасі” і ОП „Добропільська автобаза”, при ремонті колінчастих валів двигунів автомобілів КамАЗ, КрАЗ. Вони підтвердили ефективність запропонованої технології. Доцільність використання дискретного зміцнення була підтверджена в 2001 р. на ВАТ „Краматорський завод важких верстатів” при виготовленні деталей шпіндельної групи верстатів моделей 9А350Ф1 і 9А340. У 2003 році дискретне зміцнення було апробоване на Криворізькому металургійному комбінаті при обробці двох комплектів прокатних валків. Це забезпечило випуск додаткової продукції на 15 млн. грн.

Наведені приклади свідчать, що успішне використання дискретного зміцнення впродовж 10 років дає можливість українським виробникам підсилити свої позиції на внутрішньому і зовнішньому ринках за рахунок збільшення конкурентоспроможності виробів. Економічний ефект від впровадження дискретного зміцнення забезпечується зниженням виробничих витрат при виготовленні і ремонті деталей та високими експлуатаційними і триботехнічними характеристиками, що збільшує ресурс виробів.

**Висновки.** На підставі проведених досліджень

- вперше науково обґрунтована та експериментально підтверджена можливість удосконалення технології виготовлення та ремонту високонавантажених деталей машин за рахунок застосування дискретного зміцнення робочих поверхонь деталей, виготовлених з чавуну та сталі, що забезпечує порівняно зі стандартними способами зміцнення високий рівень зносостійкості та втомної міцності з одночасним збільшенням задиристості та зменшенням зношувальної здатності;

- завдяки виконанню комплексу науково-дослідницьких робіт встановлено, що межа між зміцненим шаром та основним металом не є технологічним концентратором напружень і не знижує втому міцність;

- розроблено новий підхід до аналізу напружено-деформованого стану зміцненого приповерхневого шару та виявлено 2 типи ефектів: „ $\Delta$ -ефект” – утворення виступу над номінальною поверхнею деталі в зоні дискретного зміцнення, – та „ $\sigma$ -ефект” – міграція максимальних напружень у зону дискретного зміцнення. Внаслідок дії цих чинників покращуються характеристики міцності та зносостійкості оброблених поверхонь;

- результати проведених дослідницьких робіт і впровадження дискретного зміцнення в серійне виробництво дали можливість скоротити закупівлю імпортованих дорогих запасних частин до силових агрегатів і зменшити капітальні витрати на створення спеціалізованих ділянок для зміцнення деталей, а, отже, значно скоротити споживання енергоресурсів;

- використання результатів роботи забезпечило підвищення ресурсу роботи машин, механізмів і силових агрегатів мінімум на 40 %.

Економічний ефект від впровадження роботи складає не менше 450,0 млн. гривень за рік.

При подальших дослідженнях планується провести уточнення процесів і станів, що супроводжують дискретне зміцнення поверхонь деталей ДВЗ, оброблених із застосуванням запропонованої технології.

**Список літератури. 1.** Гончаров В.Г. Повышение износостойкости коленчатых валов форсированных дизелей большой мощности / В.Г. Гончаров, Э.К. Посвятенко, С.С. Дяченко // Резание и инструмент в технологических системах. – 2009. – Вып. 77. – С. 53–65. **2.** Гончаров В.Г. Повышение износостойкости трибосистем / В.Г. Гончаров, Б.В. Савченков // Автомобильный транспорт: Сб. научн. тр. Харьк. нац. авт.-дор. ун-та. – X., 2003. – Вып.13. – С. 117–119. **3.** Гончаров В.Г. Исследование изменения характеристик трения по глубине дискретного слоя / В.Г. Гончаров, А.К. Олейник, Г.Г. Гринченко // Зб. наук. пр. Запорізького нац. техн. ун-ту. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – С. 100–101. **4.** Влияние режимов дискретного упрочнения на эксплуатационные свойства деталей автомобилей / Б.В. Савченков, В.Г. Гончаров, Н.Г. Александров, А.Л. Самсоник // Автомобильный транспорт: Сб. научн. тр. Харьк. нац. авт.-дор. ун-та. – X., 2005. – Вып.16. – С. 83–85. **5.** Гончаров В.Г. Підвищення ресурсу транспортної техніки удосконаленням технології ремонту колінчастих валів: Автореф. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / В.Г. Гончаров: Харківський національний автомобільно-дорожній ун-т. – X., 2008. – 19 с.

Поступила в редакцію 10.10.09

УДК 623.746.8: 539.3

**Н.Л. ИВАНИНА**, инж.-констр., **В.И. ГОЛОВЧЕНКО**, вед. инж.-констр., канд. техн. наук, **Л.Е. ПОЛУТОН**, гл. конструктор, Головной специализированный конструкторско-технологический институт, ОАО «Азовмаш», г. Мариуполь

### РАСЧЕТЫ ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЦИСТЕРН НЕКРУГОВОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

У статті виводяться формули для обчислення площі поперечного перетину порожнини цистерни, контур якого складений з довільної кількості дуг кола різного радіусу або з комбінації кругових дуг та відрізків прямих, її місткості, виконання розрахунку калібровки, а також для визначення координат центру маси рідини в цистерні при довільному рівні її заповнення. Як приклад наведені результати розрахунку для цистерни номінальної місткості 20,3 куб. м.

A derivation of formulas for calculation of tanks cavity cross-section area the contour of which is formed of arbitrary number of diverse radius circle arcs or of combination of circle arcs and straight segments, as well as ones for calculation of its volume, for performance of calibration calculation and for determining the liquid cargo of arbitrary level center mass are given in the paper. The results of calculations of 20,3 cubic meters capacity tank are cited as an example.

**Введение.** ОАО «Азовмаш» на протяжении многих лет является главным предприятием в Украине по выпуску техники для заправки самолетов и вертолетов топливом и средств для транспортировки авиационного топлива. Одним из основных видов изделий данной тематики являются автомобильные цистерны-топливозаправщики и топливотранспортеры. К настоящему времени создано большое разнообразие таких цистерн. Основную их часть составляют цистерны большой вместимости – цистерны вместимостью более двадцати кубических метров.

Чаще всего автомобильная цистерна большой вместимости представляет собой полуприцеп для седельного тягача, т.е. цистерну несущего типа (рис. 1, а, б), и конструктивно выполняется в виде цилиндрической оболочки со ступенчато изменяющимся по длине поперечным сечением либо с коническим переходом от малого сечения (в передней части цистерны) к большому (в задней части). Если же цистерна монтируется на раме автомобильного шасси, ее поперечное сечение по длине не изменяется (рис. 1, в).

Общим же для всех типов

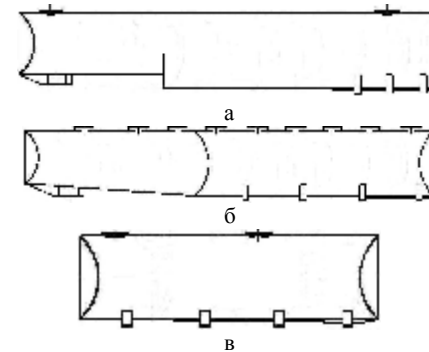


Рис. 1. Основные виды исполнений автомобильных цистерн большой вместимости: а, б – цистерна несущего типа; в – цистерна, устанавливаемая на шасси автомобиля