

Е. К. ПОСВЯТЕНКО, д-р техн. наук, Київ, Україна,
В.Г. ГОНЧАРОВ, канд. техн. наук, **С.С. ДЯЧЕНКО**, д-р техн. наук,
М. А. ТКАЧУК, д-р техн. наук, Харків, Україна

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ТЕПЛОВОЗІВ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ ДИСКРЕТНОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ФОРСОВАНИХ ДИЗЕЛІВ

Представлено результати дослідження процесу дискретного зміцнення чавунних і сталевих деталей типу колінчатий вал двигунів важких машин. Показано вплив нової технології через комплекс фізико-механічних і експлуатаційних характеристик на підвищення ресурсу двигуна й машини в цілому.

Представлены результаты исследования процесса дискретного упрочнения чугуновых и стальных деталей типа коленчатый вал двигателей тяжелых машин. Показано влияние новой технологии через комплекс физико-механических и эксплуатационных характеристик на повышение ресурса двигателя и машины в целом.

Results of research of process of discrete hardening of pig-iron and steel details of type a cranked shaft of engines of heavy cars are presented. Influence of new technology through a complex of physicomachanical and operational characteristics on increase of a resource of the engine and the car as a whole is shown.

Актуальність і стан проблеми, мета і передумови дослідження. У 2009 році розроблена «Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки», яка передбачає задоволення потреб у перевезеннях за рахунок закупівлі тепловозів нового покоління, а також за рахунок наявного тягового рухомого складу шляхом подовження терміну його експлуатації при виконанні капітального ремонту з модернізацією та ремоторизацією (тобто заміною дизелів на нові).

Програмою передбачено підвищення ресурсу тепловозів до 45 років. Масштабність такого завдання для залізничного транспорту, зокрема, і для економіки України в цілому, можна оцінити, осмисливши наступні цифри. На сьогодні лише в ДП "Укрзалізниця" експлуатуються понад 2500 тепловозів, з яких 895 – магістральні вантажні, 67 – магістральні пасажирські, решта – маневрові. Велика кількість тепловозів (технологічних, кар'єрних тощо) працюють також і на підприємствах інших відомств. При цьому фактичний середній строк служби такої потужної машини недопустимо малий – всього 16 років. Для вирішення

проблеми теоретично існує два напрямки: екстенсивний та інтенсивний. У першому випадку потрібно було б замінити усі зношені тепловози на нові, а у другому – у кілька разів підвищити ремонтпридатність тих тепловозів, що вже експлуатуються. Розрахунки вчених провідних вітчизняних технічних та профільних транспортних університетів показали, що, не відкидаючи перший напрямок, тобто оновлення парку локомотивів, особливу увагу на найближче майбутнє слід зосередити на ремонті тепловозів. Це доцільно ще й тому, що в Україні на Харківщині для цього створена потужна база – Ізюмський тепловозоремонтний завод, який в останні роки функціонує стабільно і ефективно. Капітальний ремонт одного тепловоза на підприємстві вкладається у порівняно невелику суму – 4–4,5 млн. грн. Тут доцільно зазначити, що вартість лише одного нового колінчастого вала тепловозного дизеля складає 1 млн. грн.

При ремонті будь-якої машини слід визначити її агрегат, вузол чи деталь, які у першу чергу схильні до відмов у роботі. Практика показала, що такою слабкою ланкою у тепловоза є дизель, а найбільш характерною деталлю останнього з позицій відмов є колінчастий вал. Найбільш потужний тепловоз, що масово експлуатується в Україні у теперішній час, оснащено 16-ти циліндровим дизелем 5Д49. Колінчастий вал дизеля виготовляють із сталі, яку легують хромом, молібденом та ванадієм, а для надання валу високої зносостійкості його азотують за класичною технологією у спеціальному аміачному середовищі при температурі понад 500 °С. Основним недоліком цього, в цілому одного з найефективніших методів хіміко-термічної обробки, є тривалість процесу. Так, для того щоб зміцнити поверхневий шар корінних та шатунних шийок колінчастого валу двигуна 5Д49 потрібно витратити 70–100 годин. Настільки тривале перебування вала у високотемпературному газовому середовищі призводить до його короблення. Якщо зважити на те, що маса вала сягає 1225 кг при довжині близько 4000 мм, то зрозумілою стає проблема заключних операцій шліфування, при виконанні яких доводиться видаляти значну частину зносостійкого азотованого шару. Це призводить до того, що нові колінчасті вали, як правило, мають різну товщину зміцненого шару по периметру корінних та шатунних шийок. В результаті там, де цей шар найтонший, виникають втомні віспоподібні вириви металу глибиною до 0,5 мм (рис. 1), що вимагає перешліфування вала в наступний менший ремонтний розмір. В результаті цього, згідно з діючими ремонтними технологіями, видаляється первинний азотований шар металу. Однак, оскільки повторне азотування завод-виготовлювач дизелів забороняє,

ремонтники, як варіант, застосовують досить грубу технологію гартування поверхневого шару струмами високої частоти з наступним шліфуванням. В результаті цього втрачається до 1 мм робочого шару металу. Тому після одного – трьох, максимум чотирьох ремонтів, колінчастий вал масою понад 1000 – 1500 кг доводиться утилізувати, хоча цей вал втратив усього кількасот грамів металу.

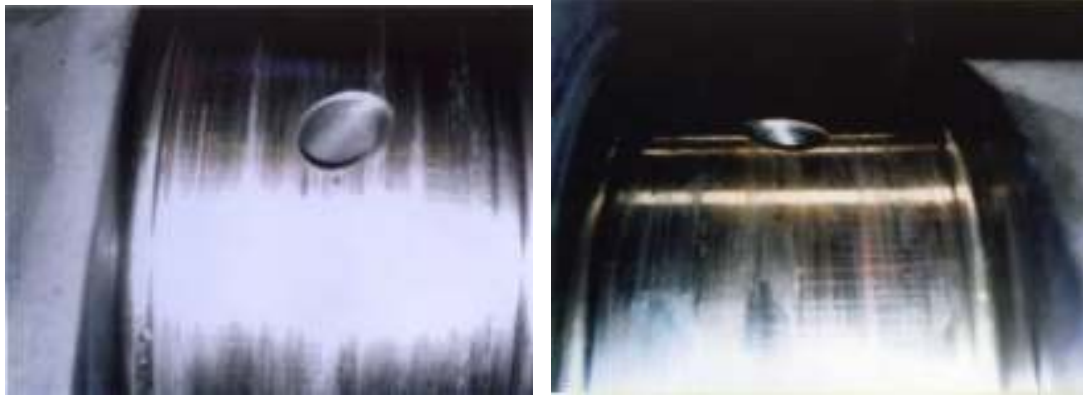


Рисунок 1 – Втомнісні тріщини на шийці колінчастого валу двигуна 5Д49

Крім тепловозів, подібні проблеми виникають при ремонті інших важких машин – прокатних станів, турбін, електричних машин, потужних металорізальних верстатів, морських та річкових суден тощо. Тому нами протягом останніх двох десятиліть був проведений цикл теоретичних та експериментальних досліджень, метою яких було визначення оптимальних напрямків підвищення надійності таких машин технологічними методами при ремонті.

Результати дослідження. Першим етапом досліджень була систематизація методів інженерії поверхні деталей машин, що знайшла відображення в наукових працях [1–3]. Було показано, що увесь спектр методів інженерії поверхні впливає на експлуатаційні властивості деталей (зносостійкість, втомнісну міцність, опір адгезійним явищам, задиростійкість, триботехнічні характеристики тощо) через комплекс фізико-механічних характеристик (мікротвердість, залишкові напруження, мікроструктуру, текстуру, мікро- і макропрофіль поверхні, товщину зміцненого шару та міцність його утримання на основі). Методи інженерії поверхні були класифіковані на 4 групи: нанесення покриттів, модифікування поверхневого шару, технологічні і комбіновані методи, а також вивчені їх можливості щодо використання для реалізації завдань даної роботи. Зокрема, були досліджені методи наплавлення, напилення, іонного імпульсного азотування, дифузійного борування, поверхневого гартування, плазмових технологій, холодного пластичного деформування та різання, модифікування за

допомогою УЗК, нанесення мікро- і макрорельєфів, нанесення покриттів змінної товщини, гібридних технологій, а також дискретних покриттів [2, 4–22]. Об'єктами досліджень служили колінчасті вали ДВЗ, поршні, зубчасті колеса, поршневі пальці, гільзи, шпинделі верстатів, валки прокатних станів, ротори електричних машин, вали турбін.

На основі цих досліджень було науково обґрунтовано принципово нову високоефективну технологію зміцнення деталей типу вал двигунів та силових агрегатів, основою якої є нова концепція формування зносостійкого шару металу. Цей шар мав би поєднувати переваги класичних суцільних покриттів, такі як добрі захисні властивості від дії середовища та високий опір зношуванню, з перевагами модифікованих холодним пластичним деформуванням та хіміко-термічною обробкою шарів, що добре утримуються на деталі, оскільки фактично є поліпшеним матеріалом останньої. Крім того, особливостями такого комбінованого методу отримання поверхневого шару є його дискретність, що передбачає чергування зносостійких "острівців" або "стрічок" будь-якої конфігурації з незміцненими ділянками основи деталі. Оскільки ці "острівці" або "стрічки" між собою розділені основним матеріалом, то кожен з них несе тільки свою частину навантаження. Цей захід дозволяє виключити розтріскування поверхневого шару під навантаженням, що є досить характерним для суцільних покриттів. Ще однією особливістю концепції є створення заглиблень на самих "острівцях" та "стрічках" зносостійкого матеріалу для поліпшення умов змащування пари деталей, що працюють при терті ковзання. Що стосується змащування, то суттєвою перевагою дискретного покриття над суцільним є різні швидкості зношування матеріалу "острівців" і матеріалу основи. Тобто під час припрацювання пари деталей в контакті утворюються мікрозазори по усій поверхні основного матеріалу, які стають резервуарами для мастила. Ця концепція лягла в основу принципово нового технічного і технологічного рішення, згідно з яким зносостійка поверхня утворюється так [19, 22, 23].

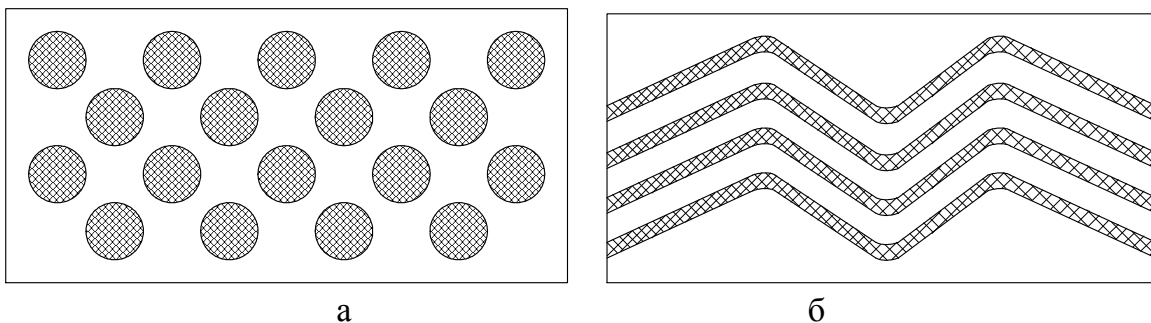


Рисунок 2 – Різновиди дискретних покриттів: а – острівцеві; б – стрічкові.

На зовнішню поверхню виробу одним з відомих методів, наприклад, електроіскровим, наноситься дискретне покриття з легуючих матеріалів у вигляді острівців або стрічок, які розміщені на певній відстані між собою (рис. 2).

Дискретне покриття має дві частини – верхній нарощений шар, що розташовується над поверхнею деталі і дифузійний шар, який вросений в деталь (рис. 3, 4).

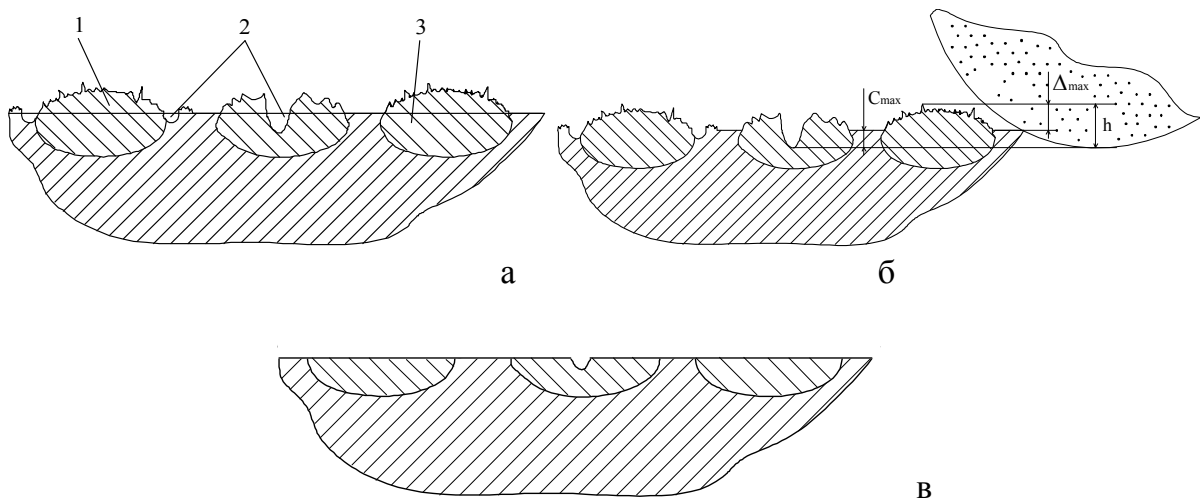


Рисунок 3 – Послідовність формування дискретної поверхні : а) профіль дискретного покриття: 1 – верхній нарощений шар; 2 – каверна; 3 – легований вросений шар; б) обробка шліфуванням; в) готова зносостійка поверхня



Рисунок 4 – Вигляд поверхні після дискретного зміцнення (до шліфування)

За рахунок високої температури та енергії розряду легуючий матеріал з електроду переноситься на катод з різким охолодженням цього матеріалу, завдяки чому на острівцях та стрічках виникають каверни. Крім того, поверхня нарощеної зони має розвинутий профіль з гострими виступами та впадинами, які є концентраторами напружень.

Після завершення нанесення дискретного покриття, визначають його максимальний приріст Δ_{max} над поверхнею, а також максимальну глибину каверн C_{max} .

Потім шліфують виріб на величину припуску

$$\Delta_{max} \leq h < C_{max},$$

де h – величина припуску під шліфування, мм; Δ_{max} – максимальний приріст дискретного покриття над поверхнею виробу, мм; C_{max} – максимальна глибина каверн, мм.

При шліфуванні зрізується нарощена частина дискретного покриття з макро- і мікродефектами, а його поверхня нівелюється відносно поверхні виробу.

У випадку зрізання зовнішнього шару виробу на величину, яка менша глибини каверн, на поверхні залишаються порожнини, що служать ємкостями для мастила.

Таким чином, запропонований спосіб електроіскрового легування є оптимальним для дискретного зміцнення шийок колінчастих валів, оскільки забезпечує можливість керування величиною дискретності, а також високу продуктивність і стабільність процесу.

У ході досліджень 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 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» досягається при відносній площі зміцнення 60-80 %.

Другий – « σ -ефект» - проявляється у характерному розподілі напружень в зоні дискретного зміцнення: розтягувальні 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 перемішування електродного і основного матеріалів та розчинення вуглецю в аустеніті, механічні властивості зони зміцнення значно (до 50 %) вищі, ніж основного, завдяки чому відбувається 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.5).

На підставі сказаного 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.

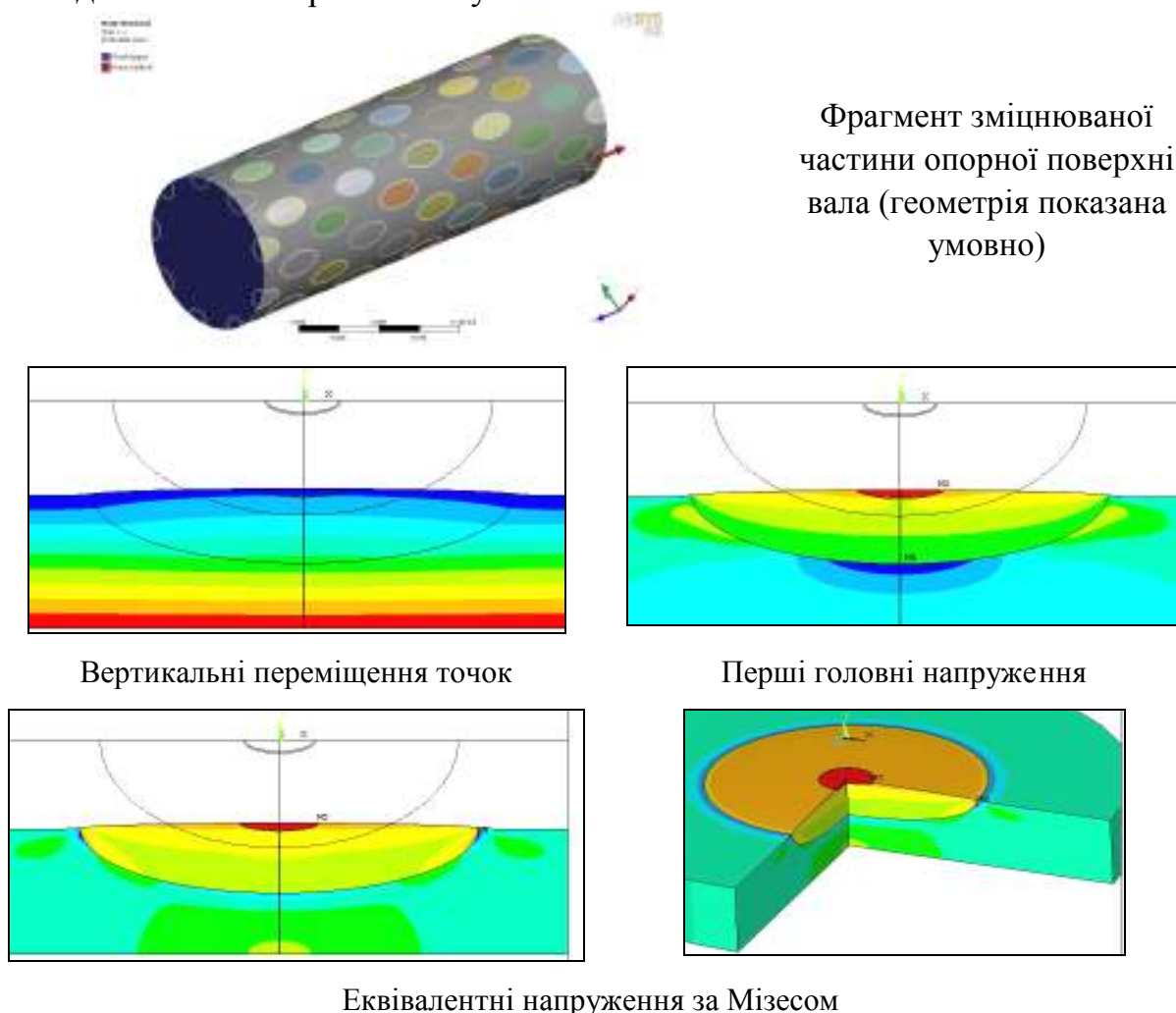


Рисунок 5 – Залежність « Δ -ефекту» від коефіцієнта дискретного зміцнення

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. 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 та спектрального аналізів і металографії дають змогу 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 розташована зона змінного хімічного складу і мікротвердості (рис. 6).

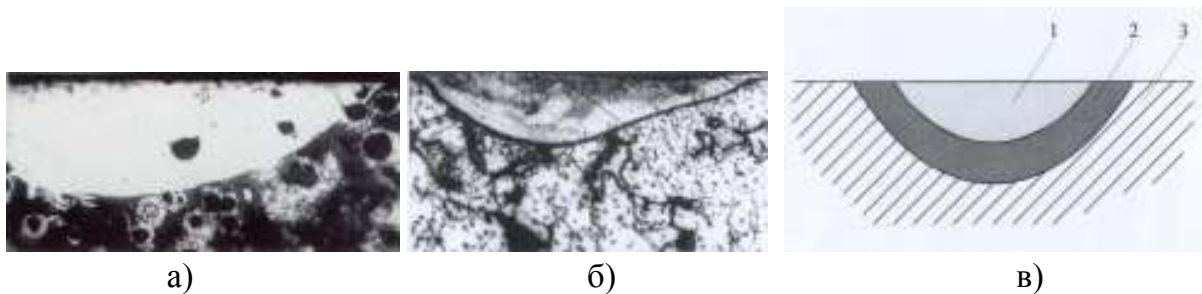


Рисунок 6 – Зміцнені зони: а – чавунні зразки; б – сталеві зразки (x 100); в – схема розташування шарів: 1 - «білий» шар; 2 – підшар; 3 - основний метал

Характер структури і розподіл елементів по перерізу зони дискретного зміцнення у високоміцному чавуні наведений на рис. 7 – 10. На рис. 7 лінією відмічений відрізок, на якому аналізувався розподіл елементів. Розподіл легувальних елементів визначали за допомогою рентгенівського мікроаналізатора MAP-3 з використанням спеціальної приставки до електронного мікроскопа РЕМ-106.

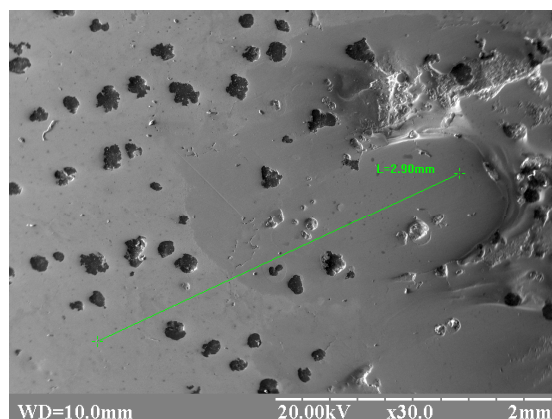


Рисунок 7 – Структура чавуну у дискретно зміцненій зоні; x30

Такі дані були отримані для усіх проаналізованих зразків, що дозволило оцінити зміни у хімічному складі різних зон при дії дискретного розряду.

На рис. 7 видно, що в «білому» шарі чавунних зразків виявляються включення графіту. Це свідчить, що ця зона є сумішшю матеріалів електрода і зразка, перемішаних у момент розряду, а потім закристалізованих при охолодженні.

Детальніше розташування окремих зон в місці дії дуги видно при збільшенні 100 (рис. 8).

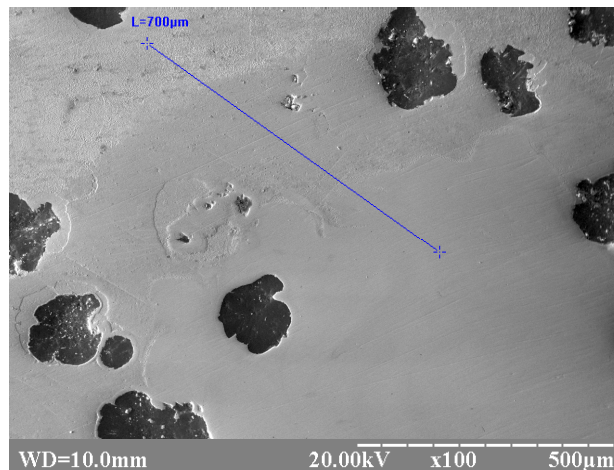


Рисунок 8 – Мікроструктура чавуну в зоні дискретного зміцнення; x100

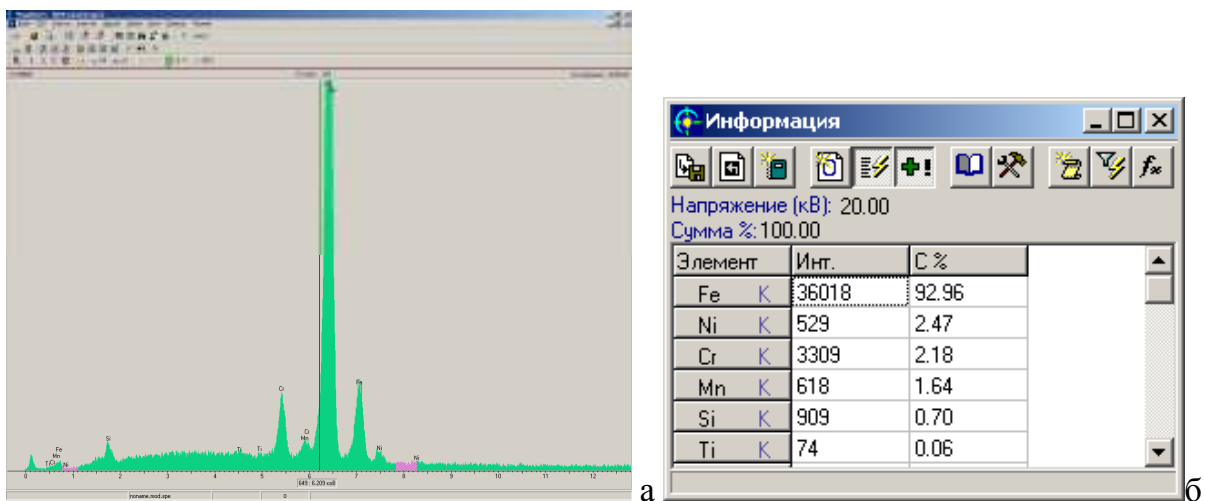
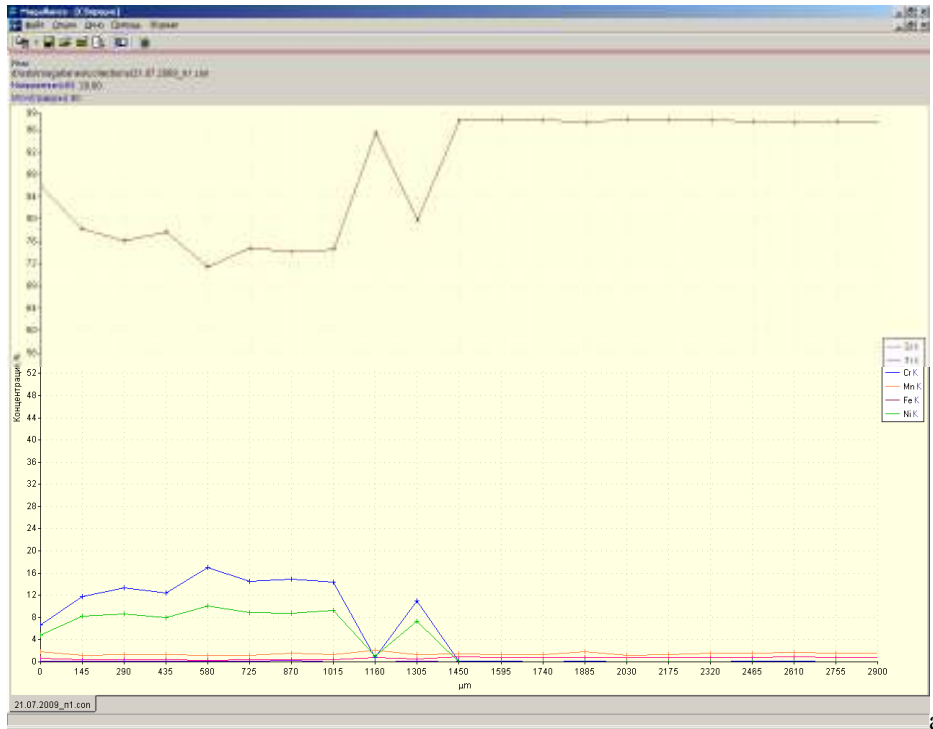


Рисунок 9 – Спектр випромінювання (а) і середній вміст елементів у полі (б)

З рисунка 8 випливає, що під впливом високої температури в момент розряду відбувається поступове розчинення графітних включень. Особливо чітко це видно у підшарі, де температури нижчі, ніж на поверхні, і навколо графітних включень виявляється зона з підвищеним вмістом вуглецю за рахунок їх часткового розчинення (на рис. 8 вони указані стрілками). Середній вміст елементів в кожній із зон після дискретного зміцнення наведений на рис. 11.



a

kV	20	OffAn	30			
Step	145 мкм	Time	100 с.			
File_Name	Si K	Ti K	Cr K	Mn K	Fe K	Ni K
1	0.67	0.14	6.65	1.81	85.88	4.85
2	0.38	0.13	11.8	1.19	78.24	8.26
3	0.37	0.19	13.36	1.32	76.08	8.68
4	0.4	0.12	12.47	1.28	77.73	7.99
5	0.31	0.08	16.97	1.18	71.4	10.06
6	0.39	0.14	14.48	1.23	74.85	8.91
7	0.4	0.2	14.96	1.6	74.1	8.74
8	0.38	0.01	14.4	1.33	74.54	9.34
9	0.72	0	0.73	2.03	95.51	1.01
10	0.46	0.08	11.02	1.25	79.88	7.3
11	0.86	0	0.09	1.41	97.65	0
12	0.76	0	0.11	1.25	97.88	0
13	0.82	0	0.02	1.36	97.8	0
14	0.76	0	0.08	1.81	97.35	0
15	0.77	0	0.02	1.21	98	0
16	0.81	0	0.05	1.29	97.84	0
17	0.77	0	0.05	1.51	97.67	0
18	0.8	0	0.08	1.52	97.6	0
19	0.88	0	0.09	1.67	97.36	0
20	0.73	0.01	0.06	1.61	97.59	0
21	0.81	0.01	0.02	1.63	97.52	0

б

Рисунок 10 – Розподіл елементів вздовж лінії на рис .7 (а)
і їх вміст у кожній точці (б)

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	С %
Fe K	26116	71.85
Cr K	9168	14.86
Ni K	1910	9.01
C K	58	2.88
Mn K	383	1.04
Si K	391	0.32
Ti K	34	0.03

а

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	С %
Fe K	27241	72.62
Cr K	9224	14.48
Ni K	1833	8.39
C K	58	2.89
Mn K	378	1.00
Si K	480	0.38
Ti K	264	0.25

б

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	С %
Fe K	35687	95.97
Mn K	785	2.18
C K	17	1.06
Si K	953	0.75
Cr K	135	0.04

в

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	С %
Fe K	34540	95.84
C K	24	1.62
Mn K	564	1.62
Si K	1041	0.85
Cr K	190	0.06

г

Рисунок 11 – Усредненный вміст елементів у різних зонах розряду: а, б – різні місця «білого» шару; в, г – різні місця підшару (в – ближче, г – далі від поверхні)

Наведені дані свідчать, що в «білому» шарі значно підвищився вміст вуглецю – з 0,12 % у матеріалі електрода (сталь 12Х18Н10Т) до 2,88-2,89 % у плямі.

Змінюється також вміст інших елементів: за рахунок перемішування з матеріалом чавуну кількість хрому, нікелю і кремнію дещо зменшується у порівнянні з матеріалом електрода, але значно збільшується по відношенню до вихідного чавуну. Відповідно зменшується вміст заліза (рис. 11, а, б). В перехідній зоні (у підшарі) кількість хрому і нікелю різко знижується (рис. 11, в, г). Це дозволяє стверджувати, що дифузія через малий час дії розряду і велику швидкість охолодження не відбувається, а хімічний склад змінюється тільки за рахунок перемішування та розчинення графіту. Розподіл елементів показаний на рис. 12.

Слід також звернути увагу на розподіл вуглецю. Найбільший його вміст (~ 2,9 %) реєструється у поверхневому шарі, оскільки тут найвища температура і активніше йде розчинення графіту у матеріалі електрода. Але на певній відстані від поверхні температура падає, розчинення графіту різко уповільнюється, і кількість вуглецю знижується до 1,06 % (рис.11, в). В міру

наближення до матеріалу основи кількість вуглецю знову підвищується (рис. 11, г). Таким чином, вміст легувальних елементів, як і слід було чекати, поступово знижується з відстанню від поверхні, а кількість вуглецю змінюється немонотонно, набуваючи мінімуму на певній відстані.

Наявність «підшару» є важливим чинником отримання необхідних властивостей у зміцнених деталях, оскільки завдяки цьому відбувається поступовий перехід від поверхневої зони до серцевини. Особливо позитивну роль грає зменшення кількості вуглецю при переході від аустенітної структури сталі до чавуну, що виключає можливе окрихчення виробів.

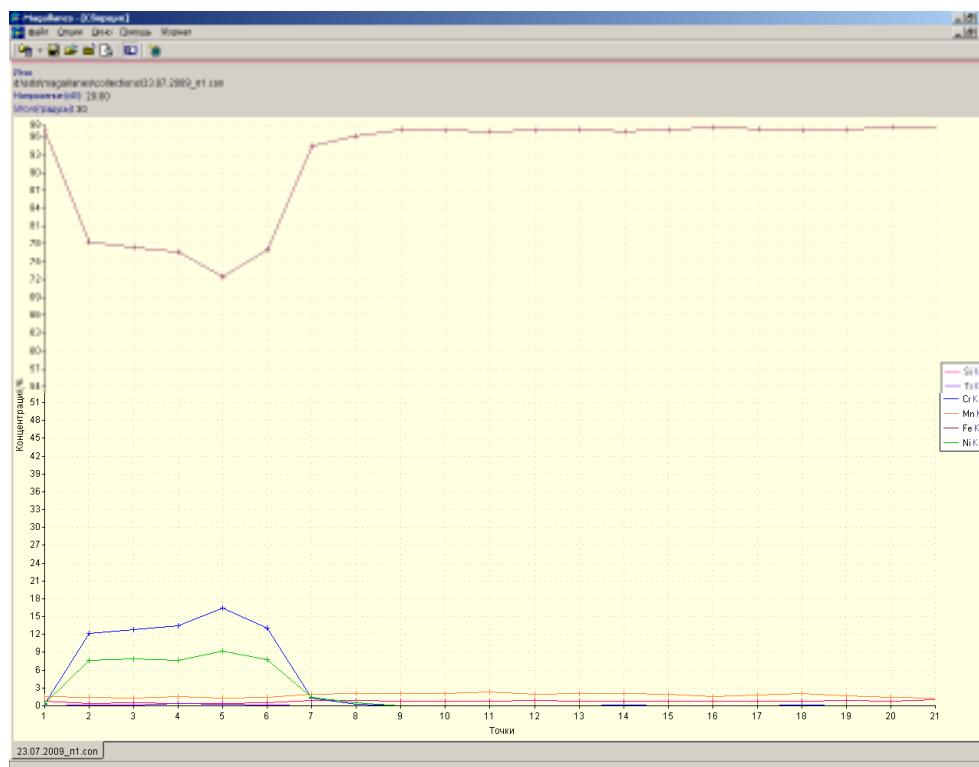


Рисунок 12 – Розподіл елементів по глибині зони дискретного розряду у чавуні

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 разів у порівнянні з гартуванням СВЧ, а сталі – у 1,6–3,5 рази у порівнянні з азотуванням. Одночасно з цим як у сталі, так і в чавуні покращується припрацьовуваність і зменшується зношувальна здатність, тобто зношування вкладиша.

На базі розробок і багаторічного досвіду по адаптації і впровадженню у виробництво дискретного зміцнення Приватною науково-дослідною виробничо-комерційною фірмою «ТАВІ» та ДП Укрзалізниця і за результатами науково-дослідних робіт, проведених Національним

технічним університетом «ХПІ», Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом і Національним транспортним університетом, 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 отримуваними фізико-механічними і триботехнічними характеристиками не поступається кращим світовим аналогам: низькотемпературному ціануванню, яким зміцнюють колінчасті вали двигунів фірми «Хонда» (Японія); газовому азотуванню, що використовується для важконавантажених деталей двигунів у Росії, Великобританії та інших країнах; електродуговій металізації, що застосовується фірмою «CRP Industry» (США). Більш того, він є кращим за них, оскільки не супроводжується недоліками, притаманними кожному з названих способів.

При впровадженні технології дискретного зміцнення на ДП «Завод ім. В. О. Малишева» для визначення впливу масштабного чинника при дискретному зміцненні колінчастих валів дизелів типа Д80 (високоміцний легований чавун з кулястим графітом) проведені натурні випробування на втомну міцність на двох відсіках колінчастого вала. Аналіз результатів випробувань показав, що масштабний чинник не є суттєвим. Одночасно підтверджено, що зміцнення не призводить до зниження втомної міцності виробу. Такий же результат отриманий і для сталевих валів.

З метою розширення застосування технології дискретного зміцнення для колінчастих валів інших двигунів були проведені дослідницькі роботи по зміцненню колінчастих валів зі сталі 38ХН3МА та 42ХМЮ, які використовуються для двигунів типу 5Д49 і КамАЗ–740.

При надходженні двигуна 5Д49 на капітальний ремонт встановлено, що після шліфування 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 двигунів після дискретного зміцнення корінних і шатунних шийок на даний час складає 270–780 тис. км, і всі вони знаходяться в експлуатації, хоча гарантійний пробіг після ремонту колінчастого валу складає 240 тис. км.

Дана технологія використовується в Ізюмському тепловозоремонтному заводі при ремонті, модернізації та ремоторизації магістральних тепловозів серій 2ТЕ10 та 2ТЕ116 (рис. 13).



Рисунок 13 – Магістральний тепловоз 2ТЕ10М з модернізованим двигуном

Доцільність використання дискретного зміцнення була також підтверджена на ВАТ «Краматорський завод важких верстатів» при виготовленні деталей шпindelної групи (телескопічного шпінделя) верстатів моделей 9А350Ф1 і 9А340.

Дискретне зміцнення було також апробоване на Криворізькому металургійному комбінаті при обробці двох комплектів прокатних валків. Це забезпечило випуск додаткової продукції на 15 млн. грн.

Наведені приклади свідчать про те, 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 двигунів та силових агрегатів з високими експлуатаційними і триботехнічними характеристиками, що збільшує ресурс тепловозів та інших важких машин.

Висновки

На підставі проведених фундаментальних та прикладних досліджень уперше науково обґрунтована та експериментально підтверджена можливість підвищення ресурсу тепловозів на базі технології дискретного зміцнення деталей двигунів та силових агрегатів, виготовлених з чавуну і сталі, що забезпечує, порівняно з відомими способами зміцнення, високий рівень зносостійкості та втомної міцності з одночасним збільшенням задиростійкості та зменшенням зношувальної здатності.

Установлено, що границя між зміцненим шаром та основним металом не є технологічним концентратором напружень і не знижує втомну міцність.

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

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. Електроконтактне зміцнення як метод інженерії поверхні деталей транспортних засобів при їх виготовленні та відновленні / *В.С. Канарчук, Е.К. Посвятенко, Л.А. Лопата, О.П. Токін* // Вісник Національного транспортного університету. – К., 2001. – Вип.5. – С. 3–8. 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. Електродугова металізація як спосіб ремонту та інженерії поверхні автомобільних деталей, вузлів та агрегатів / *Е.К. Посвятенко, Л.А. Лопата, Н.А. Савченко, І.К. Римаренко* // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів: Зб. наук. пр. Нац. трансп. ун-ту. – К., 2002. – Вип.15. – С.186–190. 5. Ремонт шестеренних насосів гідросистем дорожніх машин / *Е.К. Посвятенко, Н.І. Посвятенко, В.М. Кропівний, В.В. Русских* // Вестник Харьковского Национального автомобильно-дорожного университета. – Х.: ХНАДУ. – 2007. – Вип.38. – С.113–117. 6. *Посвятенко Е.К.* Відновлення колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння іонно-імпульсним азотуванням / *Е.К. Посвятенко, В.В. Алексєєв, А.В. Рутковський* // Вісник Сумського державного ун-ту: Серія технічні науки (машинобудування). – Суми, 2005. – № 11. – С. 119–122. 7. *Посвятенко Е.К.* Низькочастотне іонно-імпульсне азотування як метод інженерії поверхні деталей ДТЗ / *Е.К. Посвятенко, В.В. Алексєєв* // Вісник Національного транспортного університету: в 2-х ч. – К.: НТУ.– 2007. – Вип.15. – Ч.1. – С.25–33. 8. Розрахунок елементів конструкцій з врахуванням зміцнення поверхневих шарів дифузійним боруванням / *М.Ф. Дмитриченко, В.Г. Піскунов, Е.К. Посвятенко, О.М. Демчук* // Вісник Національного транспортного університету. – К., 2004. – Вип. 9. – С.8–15. 9. *Дмитриченко Н.Ф.* Тенденції поверхностного упрочнення зубчатих коліс / *Н.Ф. Дмитриченко, Б.А. Ляшенко, Э.К. Посвятенко* // Надійність і довговічність машин і споруд. – К.: ІПМіцн. ім. Г.С. Писаренка НАН України, 2005. – Вип.24. – С. 127–144. 10. *Посвятенко Е.К.* Наукове підґрунття процесів модифікування матеріалів холодним пластичним деформуванням / *Е.К. Посвятенко, Ю.М. Іванов* // Високі технології в машинобудуванні: Зб. наук. пр. НТУ „ХПІ”. – Х., 2001. – Вип. 1. – С.219–227. 11. *Посвятенко Э.К.* Протягивание как составляющая

технологических и гибридных методов инженерии поверхности деталей машин / Э.К. Посвятенко // Високі технології в машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2008. – Вип.2. – С.328–333. **12.** *Посвятенко Э.К.* Формирование остаточных напряжений в гильзах гидроцилиндров технологическими методами / Э.К. Посвятенко, Ю.В. Гешелин // Повышение эффективности протягивания. – Рига: Рижский политехн. ин-т, 1990. – С.75–81. **13.** *Посвятенко Е.К.* Формування регулярного макрорельєфу поверхонь отворів деталей комбінованим протягуванням // *Е.К. Посвятенко, Ю.Б. Паладійчук* // Вестник Национального технического университета Украины "КПИ": Машиностроение. – К., 1999. – Вып.37. – С. 256–261. **14.** *Посвятенко Е.К.* Формування технологічних канавок на деталях машин методом пластичного деформування з ультразвуком / *Е.К. Посвятенко, В.В. Турич, М.М. Чорнопищук* // Резание и инструмент в технологических системах. – 1998. – Вып. 52. – С.169–172. **15.** *Ляшенко Б.А.* Восстановление покрытиями переменной толщины детали при локальном износе / *Б.А. Ляшенко, Э.К. Посвятенко, В.И. Мирненко* // Автомобильный транспорт: Сб. науч. тр. Харьковского нац. авт.-дор. ун-та. – Харьков, 2003. – Вып.13. – С.119–122. **16.** *Посвятенко Э.К.* Гибридные процессы инженерии поверхности деталей машин / Э.К. Посвятенко // Инженерия поверхности и реновация изделий: Матер. 8-ой междунар. науч.-техн. конф. – К.: АТМ Украины, 2008. – С.195–198. **17.** Вплив дискретних покриттів та холодного деформування на дисипативні властивості матеріалів / *А.П. Яковлев, Е.К. Посвятенко, О.В. Мельник, А.М. Безрукавий* // Вісник Національного транспортного ун-ту: в 2-х частинах. – К., 2008. – Вип.17. – Ч.1. – С. 19–22. **18.** Износостойкость алюминиевого сплава с дискретными электроискровыми покрытиями / *Е.К. Соловых, Б.А. Ляшенко, Э.К. Посвятенко, А.Н. Безрукавый* // Проблемы тертя та зношування. – К.: НАУ, 2006. – Вип. 46. – С. 160–168. **19.** *Посвятенко Е.К.* Основні напрямки синтезу ресурсозберігаючих процесів виготовлення гідроциліндрів машин / *Е.К. Посвятенко, Р.В. Будяк* // Високі технології в машинобудуванні: Зб. наук. пр. НТУ "ХПІ". – Х., 2009. – Вип.2 (19). – С. 128–134. **20.** *Гончаров В.Г.* Исследование изменения характеристик трения по глубине дискретного слоя / *В.Г. Гончаров, А.К. Олейник, Г.Г. Гринченко* // Збірник наукових праць Запорізького національного техніч. ун-ту. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – С. 100–101. **21.** 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. – Х., 2005. – Вып.16. – С. 83–85. **22.** *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. – Х., 2008. – 19 с. **23.** Спосіб формування зносостійкої поверхні металевих виробів. Патент на винахід № 79336 Україна, МПК Е 21 Д 21/00, В 23 Н 9/00/ *В.Г. Гончаров, О.П. Клімова* (Україна). – № 200505863; Заявлено 14.06.05, Опубл.17.10.05. Бюл. № 10. – 17 с.