

С.В. Ковалевський¹, С.А. Матвієнко¹, О.В. Лукічов², О.П. Сакно²

¹ Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ,

² Донецька академія автомобільного транспорту

ЗМІНА ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ПІД ЧАС ЗВУКОВОГО ВІБРАЦІЙНОГО ОБРОБЛЕННЯ У ПРУЖНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

© Ковалевський С.В., Матвієнко С.А., Лукічов О.В., Сакно О.П., 2013

Розглянута зміна основних трибологічних характеристик поверхневого шару робочих поверхонь пар тертя під час їхнього звукового вібраційного оброблення у пружному середовищі. Проаналізовані технологічні параметри процесу оброблення та принципова схема установки. Показано результати проведеного експериментального оброблення деталей.

In the article the considered change of basic tribological descriptions of superficial layer of workings surfaces of pair of friction is at their voice oscillation treatment in a resilient environment. The technological parameters of process of treatment and of principle chart of setting are analysed. The results of conducted experimental treatment of details are rotined.

Постановка проблеми. Сьогодні зростають вимоги до надійності і довговічності деталей пар тертя. Аналіз останніх робіт, пов'язаних з новими технологічними процесами, що вирішують проблему підвищення експлуатаційних властивостей вузлів тертя, їх трибологічних характеристик, залишається актуальним. Найперспективніший напрямок для поліпшення характеристик поверхні – використання фінішних комбінованих технологій, які використовують концентровані потоки енергії, та від якості яких залежать найважливіші показники механізмів – працездатність, надійність, металомісткість, собівартість тощо [1 – 5]. У сучасних технологіях для підвищення зносостійкості перші місця посідають різні види вібраційних процесів. При цьому одне з головних завдань для технологів – розроблення нових енергоощадних та ефективних способів підвищення зносостійкості деталей. Доволі часто під час виконання цього завдання використовують технології ультразвукового вібраційного оброблення робочих поверхонь деталей.

Аналіз останніх досліджень. Термін служби транспортних машин до капітального ремонту багато в чому залежить від зносостійкості їх деталей і вузлів, 80–85 % яких виходить з ладу унаслідок їх інтенсивного зношування. На експлуатаційні показники деталей машин чинять несприятливий вплив: мікрогеометрія поверхні – шорсткість та субшорсткість; твердість поверхневого шару; залишкова напруга, що розтягує, – технологічні наслідки операцій механічного оброблення на фінішних етапах виготовлення і реновації виробів; структура поверхневого шару, прироблюваність поверхонь тертя тощо. Сьогодні для поліпшення трибологічних характеристик застосовуються термооброблення, різні доводочні операції, також все більше застосовуються методи зміцнення і вібростабілізації, що ґрунтуються на механізмі ультразвукового зміцнення. Саме технології ультразвукової дії на сплави є найперспективнішими, так само, як і використання вібраційного оброблення. Процеси, що перебігають у металах у твердій фазі за акустичного вантаження вивчено недостатньо, особливо їх фізика дислокаційного зміцнення. Отже, технологічних методів зміцнення та відновлення деталей машин доволі багато [1, 4–6], але жоден з них не може виконати завдання комплексно, поєднуючи якість оброблення й ресурсозаощадження. Найперспективніший напрямок для поліпшення характеристик поверхні – використання

фінішних комбінованих технологій, які використовують концентровані потоки енергії та від якості яких залежать найважливіші показники механізмів – працездатність, надійність, металомісткість, собівартість тощо.

Формулювання мети. Дослідити характеристики поверхневого шару пар тертя після здійснення звукового вібраційного оброблення у пружному середовищі (ЗВОПС). Виявити вплив на них характеристик технологічного процесу та інших параметрів.

Виклад основного матеріалу. В результаті проведених досліджень з'явився метод підвищення довговічності деталей, який включає зміцнення і релаксацію залишкової напруги під дією звукових коливань, що впливають на деталь механічним способом. Метод полягає у дії контактним способом механічних коливань звукового діапазону частот на деталь, занурену в пружно-в'язке середовище. Це оброблення дає змогу досягти рівномірного розподілу дислокацій і внутрішньої напруги поверхневого шару. Оброблення в пружному середовищі уможливорює одночасно обробляти усі поверхні деталей. Використовуючи запропонований метод, на розробленій установці можна обробляти деталі складної геометричної форми. Технологію відрізняє мінімальне енергоспоживання, висока продуктивність, екологічність.

Запропонований спосіб оброблення ЗВОПС [7, 8] ґрунтується на використанні кількох фізичних явищ одночасно, а саме: виникнення резонансних коливань деталі під час надання їй вимушених коливань, що збігаються з власною частотою коливань в діапазоні звукових частот (друга чи третя гармоніки); квантуванні енергії оброблення в енергію короткочасного імпульсу (потужність 30–40 кВт) за загального низького енерговикористання (150–200 Вт); взаємодії поверхневих шарів деталі з пружним середовищем, що викликає ефект, подібний до поверхнево-пластичного оброблення; фізико-хімічних змін у поверхневому шарі, що зводяться до переорієнтації кристалів, руху дислокації до границь зерен. Головні відмінності запропонованого способу: передача вимушених коливань самій деталі, а не середовищу, що уможливорює зменшити витрати енергії; відсутність в середовищі твердих робочих часточок, які впливають на поверхню деталі; використання явища резонансу протягом усього процесу оброблення під час регулювання частоти коливань, що збурюють.

Теоретична модель процесу визначається опором пружного рідкого середовища коливанням деталі за рахунок відбору імпульсу у рухомого тіла елементами пружного середовища. Оброблення на вищих гармоніках ефективніша, оскільки коефіцієнт поглинання збільшується із зростанням гармоніки власної частоти, з якою резонує навантаження, що збурює. У процесі ЗВОПС в граничному шарі деталей перебігають мікропластичні деформації та інші процеси, що призводять до зниження залишкової напруги і до дислокацій у поверхневому шарі. У результаті отримують зміну шорсткості поверхні до оптимальної та підвищення поверхневої міцності [8].

Робота вібраційної установки (рис. 1) здійснюється так. До концентратора п'єзоперетворювача втулкою з двобічним різьбленням кріпиться деталь. Безперервні коливання із звуковою частотою у заготовці збуджуються п'єзоперетворювачем, що живиться від генератора коливань. Ультразвуковий генератор виробляє електричну енергію звукової частоти, яка поступає на пластини п'єзоперетворювача і перетворюється у механічні коливання концентратора. Оброблення ведеться на другій власній частоті коливань деталі у резонансному режимі. У момент виникнення резонансу в системі генератор - деталь відбувається різке і максимальне відхилення стрілки мікроамперметра, що фіксується системою управління на основі ПК, зі здійсненням АПЧ і утриманням резонансного режиму, після чого генератор працює із заданою частотою вимушених коливань. Повне використання вимушеного імпульсного сигналу уможливорює жорстке з'єднання деталі з концентратором п'єзоперетворювача. На заготовку накладають безперервні коливання, частота яких плавно змінюється в діапазоні від 727 до 5500 кГц.

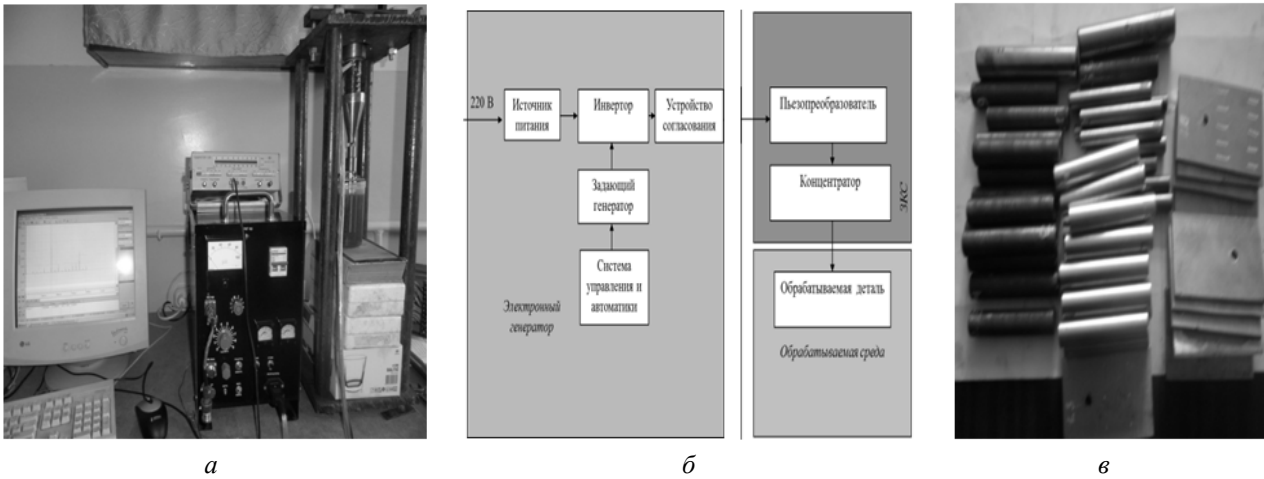


Рис. 1. Експериментальна установка: а – загальний вигляд; б – принципова схема; в – експериментальні зразки (сталь, бронза, алюміній)

Власна частота коливань деталі визначається вимірюванням за її положення у вільному стані (пружний підвіс). Фіксуються кілька гармонік у вказаному діапазоні (рис. 2, а) та вибирається одна з них, що забезпечує максимальну амплітуду. Після цього вимушені коливання з заданою частотою дають змогу отримати збільшення амплітуди коливань в 10–30 разів (рис. 2, б). Саме збільшення амплітуди дає можливість отримати ефект під час оброблення, що впливатиме на експлуатаційні характеристики робочої поверхні. Вимірювання амплітуди здійснювалось за акустичним сигналом від деталі, що приймається вібраційним датчиком ДН-3, який перетворює механічні коливання у змінну напругу тієї самої частоти. Для експериментального вібраційного оброблення використовувалися деталі циліндричної форми діаметром 20 – 26 мм, завдовжки 90 – 110 мм; пластини 100×100 мм завтовшки 8 мм.

Контроль стану робочої поверхні проводився через кожні 5 хв оброблення, що дало змогу встановити динаміку процесу зміни основних характеристик поверхні, а саме – шорсткості, структури поверхні, твердості. Формування нових характеристик поверхневого шару після звукового оброблення у пружному середовищі викликає зміну механічних властивостей, яка, своєю чергою, підвищує довговічність деталей.

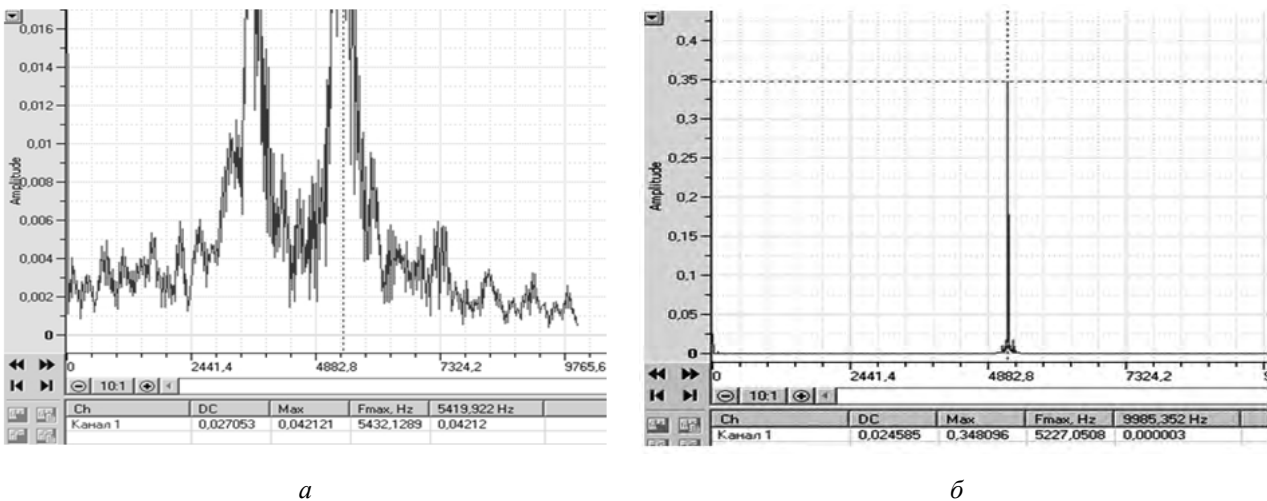


Рис. 2. Амплітудно-частотна характеристика: а – власні коливання деталі; б – оброблення в резонансі

Найважливішою характеристикою є шорсткість, зміну якої протягом експерименту показано на рис. 3 та наведено в табл. 1. Особлива увага приділялась не тільки загальному показнику Ra, але й іншим. Зміну параметра опорної поверхні t_p показано на кривих Аббота.

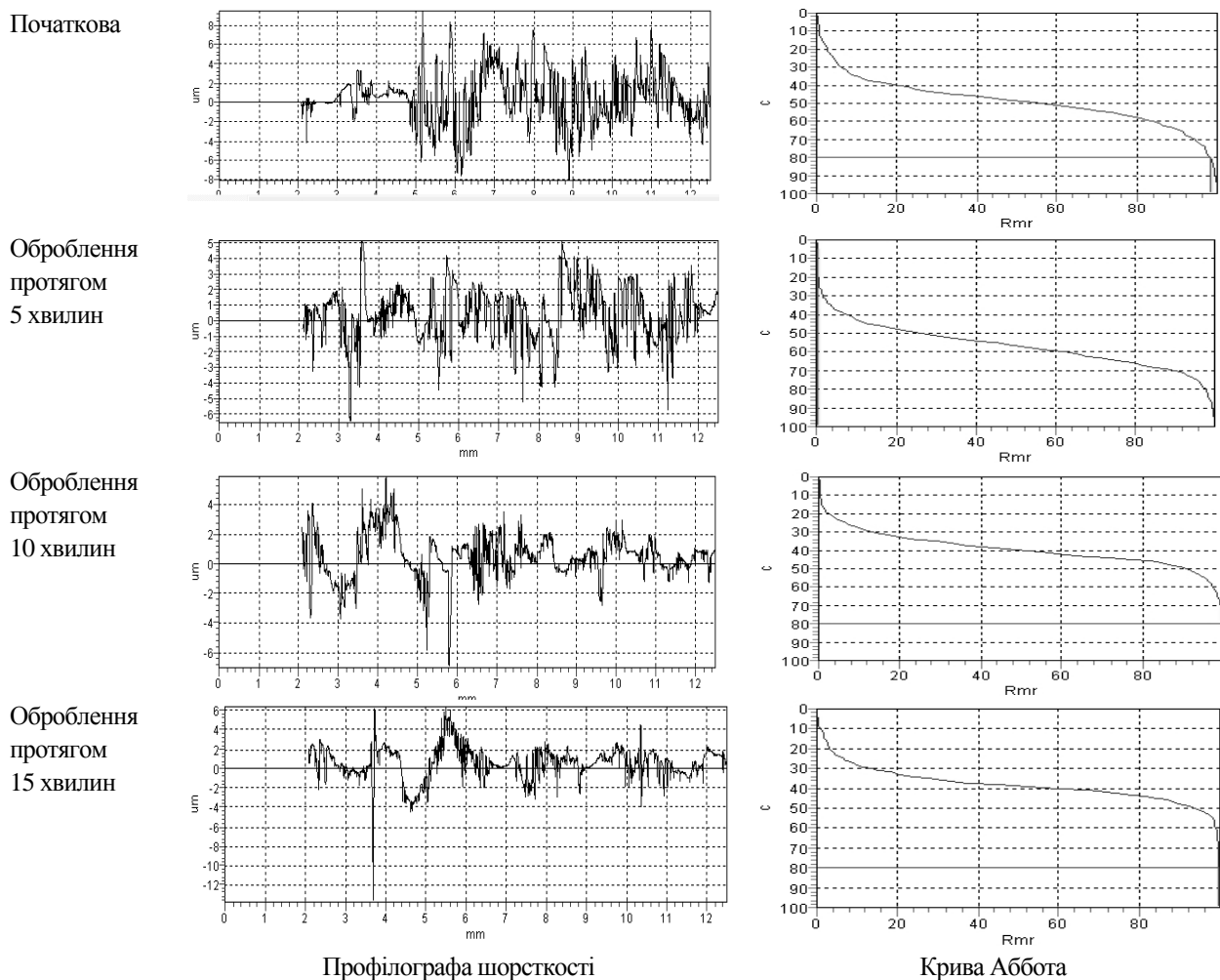


Рис. 3. Зміна шорсткості залежно від часу здійснення ЗВОПС

Таблиця 1

Результати вимірювань параметрів шорсткості поверхні під час оброблення

Параметр	Переріз	Вихідний	5 хв	10 хв	15 хв
Ra	Середина	1,633	1,241	1,277	1,183
	Край	1,595	1,574	1,928	1,607
Rp	Середина	5,871	4,027	3,852	4,16
	Край	6,361	6,133	5,891	5,8
Rv	Середина	5,995	5,659	4,935	5,291
	Край	6,68	6,799	6,436	5,522
S	Середина	0,174	0,156	0,114	0,118
	Край	0,426	0,307	0,202	0,156
Sm	Середина	0,239	0,249	0,186	0,230
	Край	0,850	0,600	0,376	0,379

Здійснювався контроль тих показників шорсткості, які мають найбільший вплив на трибологічні характеристики поверхні, а саме: Ra – середнє арифметичне відхилення, загальна характеристика поверхні (зменшується на 30 % в середньому перерізі); Rp – висота виступу, що визначає швидкість зношування у перший період часу (зменшується на 25–35 %); Rv – глибина западини, що визначає змащувальну здатність поверхні (зменшується на 15–25 %); R_{max} – найбільша висота нерівностей; t_m – відносна опорна

площа на рівні середньої лінії профілю (формується на 20 % вище від середньої лінії профілю, в 2–2,5 раза зменшується кут нахилу основної лінії); S_m – крок нерівностей по середній лінії (залишився без змін); S – середній крок місцевих виступів профілю (зменшився на 30–90 %).

Отже, усі основні показники шорсткості, що впливають на зносостійкість, поліпшилися. Для заданих умов оброблення та потужності експериментальної установки оптимальний час оброблення – 10–12 хв. При цьому наявний різний характер зміни параметрів шорсткості по довжині деталі, у різних перерізах (серединному та крайньому). Це потребує подальшого дослідження з урахуванням довжини хвилі розповсюдження звукових коливань в деталі, що залежить від матеріалу та її форми. Проведені дослідження для бронзових та сталевих зразків показали аналогічну зміну параметрів шорсткості, хоча і в меншому ступені. Очевидно, що для таких зразків необхідне збільшення потужності імпульсу та амплітуди вимушених коливань, що збільшуватиметься за резонансу (амплітудою переміщень можна керувати за допомогою геометрії концентратора, що входить до складу п'єзоперетворювача).

Також досліджувалась зміна поверхневої твердості залежно від часу оброблення та пружного середовища (табл. 2). Встановлено, що поверхнева твердість збільшується на 8–20 %, при цьому найбільший ефект досягається під час використання індустріального мастила, найпружнішого середовища. Оптимальний час обробки теж сягає 10–12 хв, після чого збільшення твердості майже не відбувається [9].

Таблиця 2

Результати вимірювань поверхневої твердості для алюмінію після оброблення, НВ

Середовище	Номер зразка	Час впливу резонансної частоти, хвилин			
		0	5	10	15
Олива індустріальна I-40	1	74,3	79	82	82
	2	75,6	80	84	83
	3	73,6	77	83	83
	4	72,9	76	82	84
Вода	5	75,8	78	81	83
	6	74,6	76	79	81
	7	74,5	77	80	82
	8	72,5	76	78	81
Вода з ПАР (поверхнево активними речовинами)	9	72,8	77	81	81
	10	73,6	78	82	80
	11	74,2	79	82	81
	12	75,6	79	83	82

Аналіз зміни структури поверхневого шару показав, що під час застосування ЗВОПС змінюється мікроструктура. Фото, зроблені за допомогою мікроскопа (рис. 4), показують, що зникає частина поверхневих дефектів, зменшується та орієнтується зерно на поверхні, відбувається “очищення” поверхні від наслідків фінішних технологічних операцій.

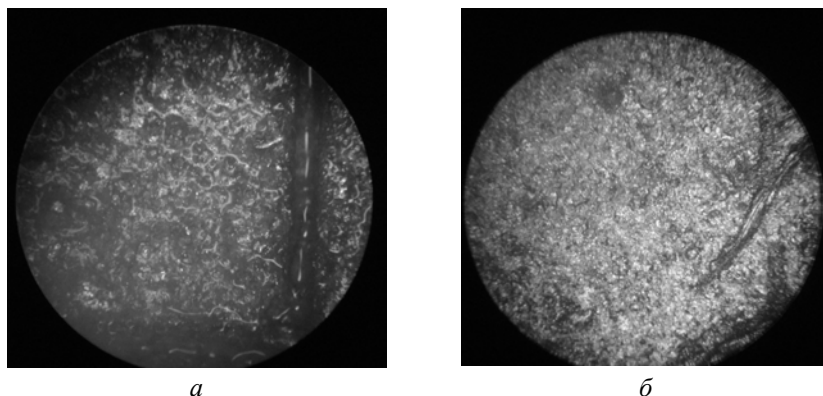


Рис. 4. Зміна структури поверхневого шару деталі з алюмінію за ЗВОПС (збільшення 1:400):

а – до оброблення; б, в – після 5, 10, 15 хв оброблення відповідно

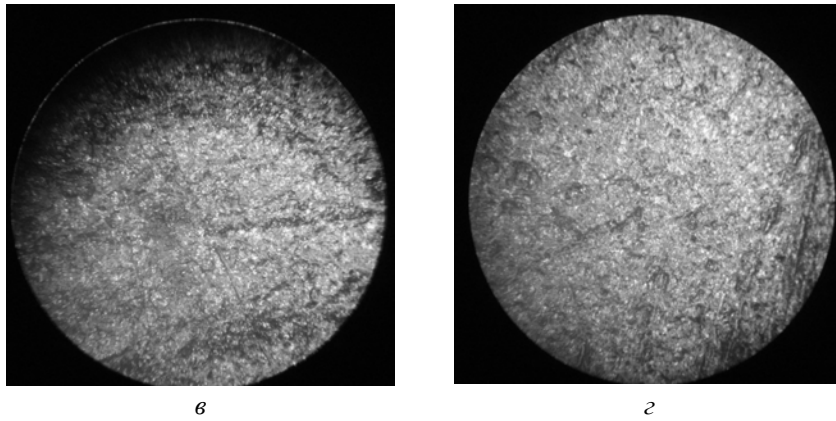


Рис. 4. (Продовження). Зміна структури поверхневого шару деталі з алюмінію за ЗВОПС (збільшення 1:400):
 б – після 5, 10, 15 хв оброблення відповідно

Висновки. Проведені дослідження слугують основою для створення конструкції вібраційної установки для оброблення деталей у пружному середовищі та технологічних параметрів здійснення оброблення. Експеримент підтвердив можливість підвищення якості поверхні деталей машин під час використання ЗВОПС. Запропонована технологія, забезпечуючи використання ефекту резонансу, є доволі універсальною з погляду технологічних можливостей і якості обробленої робочої поверхні тертя. ЗВОПС дає змогу використовувати менш громіздке устаткування, не застосовуючи абразивні матеріали, досягати істотних результатів за мінімальних витрат енергії. При цьому підвищується зносостійкість поверхневих шарів деталей за рахунок зміни шорсткості, мікротвердості, фізико-механічних властивостей поверхневого шару, а власна частота коливань визначається моделюванням або експериментально. Для розвитку запропонованої технології необхідне дослідження усіх змінних технологічних режимів.

1. Кулинский А.Д., Бутенко В.И. Комбинированные методы обработки поверхностей деталей трибосистем. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013. – 220 с. 2. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с. 3. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Суслов // М.: Машиностроение, 2000. – 320 с. 4. Суслов А.Г., Фёдоров В.П., Горленко О.А. и др. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / под общ. ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с. 5. Маслов А.Р. Перспективные высокие технологии: справочник / А.Р. Маслов // Инженерный журнал. – 2008. – № 1. – С. 10 – 24. 6. Палаев А.Г. Технология, оборудование ультразвуковой упрочняюще-финишной обработки металлов и контроль качества / А.Г. Палаев, А.И. Потапов, В.В. Максаров // Металлообработка. – 2011. – № 6(66). – С. 38–41. 7. Ковалевський С.В. Технологічне забезпечення зносостійкості поверхневого шару деталей автомобілів при фінішній зміцнювальній віброобробці в пружному середовищі / С.В. Ковалевський, С.А. Матвієнко, О.В. Лукічов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка “Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві”. – Харків: ХНТУСГ, 2012. – Вип. 122. – С. 122 – 127. 8. Ковалевський С.В. Аналіз стану проблеми реновації деталей автомобілів технологічними методами / С.В. Ковалевський, О.В. Лукічов, С.А. Матвієнко // Вісник ЖДТУ: “Технічні науки”. – 2012. – №3(62). – С. 74 – 79. 9. Ковалевський С.В. Метод звукового вібраційного оброблення та його експериментальні дослідження / С.А. Матвієнко, О.П. Сакно, О.В. Лукічов // Міжвуз. зб. “Наукові нотатки”. – Луцьк, 2013. – Вип. № 41, Ч. 1. – С. 129–134.