

УДК 621.7.01

С.В. Ковалевський, С.А. Матвієнко О.П. Сакно, О.В. Лукічов
МЕТОД ЗВУКОВОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ТА ЙОГО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ
ДОСЛІДЖЕННЯ

В статті розглянутий запропонований метод звукової вібраційної обробки в пружному середовищі. Наведена конструкція установки для її здійснення. Проаналізовані технологічні параметри процесу обробки та принципова схема установки її основного елемента – концентратора коливань. Показані результати проведеної експериментальної обробки деталей з технічного алюмінію.

Ключові слова: вібраційна обробка, резонанс, шорсткість, трибологія, зміцнення, структура поверхні.

Табл. 1. Рис. 4. Літ. 11.

С.В. Ковалевский, С.А. Матвиенко, О.П. Сакно, А.В. Лукичев
МЕТОД ЗВУКОВОЙ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ И ЕГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ

В статье рассмотрен предложенный метод звуковой вибрационной обработки в упругой среде. Приведена конструкция установки для ее осуществления. Проанализированы технологические параметры процесса обработки и принципиальная схема установки и ее основного элемента – концентратора колебаний. Показаны результаты проведенной экспериментальной обработки деталей из технического алюминия.

Ключевые слова: вибрационная обработка, резонанс, шероховатость, трибология, упрочнение, структура поверхности.

S. Kovalevskiy, S. Matvienko, O. Sakno, A. Lukichev
METHOD OF VOICE OSCILLATION TREATMENT AND HIS EXPERIMENTAL
RESEARCHES

In the article the offered method of voice oscillation treatment is considered in a resilient environment. The construction of fluidizer is resulted its realization. The technological parameters of process of treatment and of principle chart of setting and its basic element are analysed – concentrator of vibrations. The results of the conducted experimental treatment of details are rotined from a technical aluminium.

Keywords: oscillation treatment, resonance, roughness, tribology, work-hardening, structure of surface

Постановка проблеми. Актуальним завданням сучасного машинобудування та автомобілебудування є забезпечення довговічності деталей, яка в істотній мірі визначається якісним станом поверхневого шару, його трибологічними характеристиками. Проблема підвищення експлуатаційних властивостей вузлів тертя за рахунок нових методів обробки актуальна. Саме від якості фінішної обробки багато в чому залежать найважливіші показники механізмів – працездатність, надійність, металоємність, собівартість і інші техніко-економічні характеристики, які направлено формуються на фінішних операціях технологічного процесу виготовлення. В той же час для автомобілебудування важливою проблемою є зниження маси автомобіля, витрати палива за рахунок заміни чавуну, сталі на легші металеві сплави. Алюміній використовується у виробництві кузовів і компонентів підвісок, шасі, в блоках циліндрів, АКП. Але недостатня міцність обмежує його вживання. Проводиться велика кількість досліджень по знаходженню оптимальної системи параметрів якості поверхонь деталей машин, вузлів тертя, яка б як найповніше відображала їх експлуатаційні властивості, забезпечувала необхідний ресурс при найменших оптимізованих витратах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. 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 [1]. На експлуатаційні показники деталей машин чинять несприятливий вплив безліч чинників: мікрогеометрія поверхні; твердість поверхневого шару; залишкова напруга, що розтягує є технологічним наслідком операцій механічної обробки, у тому числі шліфування, на фінішних етапах виготовлення і реновації виробів; прироблюємість поверхонь тертя та ін. На сьогоднішній момент для усунення залишкової напруги, що розтягує, стабілізації розмірів застосовується термообробка, яка вимагає великих енерговитрат, але не завжди дає оптимальні результати. Також все більше вживання знаходять методи зміцнення і вібростабілізації засновані на механізмі ультразвукового зміцнення. Процеси, що протікають в металах в твердій фазі при акустичному навантаженні вивчені недостатньо, особливо фізика дислокаційного зміцнення. Окремо для деталей з алюмінію: недостатня міцність поршнів, швидкий знос кільцевих канавок, інших деталей обмежують їх вживання. Для підвищення властивостей алюмінієвих сплавів застосовуються технології

зміцнення анодуванням, армуванням, газотермічним і плазмовим зміцненням. Недоліками цих способів є складність устаткування, дорогі матеріали, складні контролюючі і регулюючі комплекси. Таким чином технологічних методів зміцнення та відновлення деталей машин достатньо багато [2-4], але жоден з них не вирішує завдання комплексно, поєднуючи якість обробки й ресурсозбереження.

Отже саме стан поверхні багато в чому визначає експлуатаційні властивості деталей машин та автомобілів. Це привело до появи нового напрямку - інженерії поверхні, що здійснюється методами комбінованої енергетичної й фізико-хімічної дії. Розвиток інженерії поверхні передбачає розробку технологічних процесів нового рівня, що дозволяють модифікувати поверхневий шар, радикально міняти його структуру й властивості. Для модифікування поверхні металів перевага віддається методам обробки, що використовують як теплове джерело концентровані потоки енергії: іонні, лазерні, ультразвукові, високочастотні індукційні та інші. Але подальша інтенсифікація класичних дифузійних процесів не дозволяє отримувати матеріали з якісно новими властивостями й потребує суттєвих витрат енергетичних ресурсів. Тому розвиток технологій поверхневого зміцнення зв'язується з розробкою комбінованих технологій. Але комбіновані технології ще не отримали належного розвитку й вельми обмежені відомості про вживання комбінованих технологічних схем, при використанні яких удасться отримати матеріали з високим рівнем якості поверхні [5-9].

Невирішені частини проблеми. Отже завдання розробки інноваційних технологічних методів продовження ресурсу деталі як при виготовленні, так і при реновації ресурсозберігаючими методами, особливо для деталей з алюмінію, залишається актуальним й потребує глибокого та уважного дослідження.

Метою дослідження є розробка методу звукової вібраційної обробки в пружному середовищі, перевірка його здійсності, аналіз експериментальних досліджень та технологічних показників процесу.

Основні результати дослідження. Запропонований авторами спосіб обробки ЗВОПС [10, 11] – звукова вібраційна обробка в пружному середовищі, оснований на використанні декількох фізичних явищ одночасно, а саме: виникнення резонансних коливань деталі при наданні їй вимушених коливань, що співпадають з власною частотою коливань в діапазоні звукових частот (друга чи третя гармоніки); квантування енергії обробки в енергію короткочасного імпульсу (потужність 30-40 кВт) при загальному низькому енерговикористанні (150-200 Вт); взаємодії поверхневих шарів деталі з пружним середовищем, що викликає ефект подібний до поверхнево-пластичної обробки; фізико-хімічних змін в 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 дозволяє зменшити витрати енергії; відсутність в середовищі твердих робочих частинок, які впливають на поверхню деталі; використання явища резонансу протягом всього процесу обробки при регулюванні частоти коливань, що збурюють.

Теоретична модель процесу визначається опором пружного рідкого середовища коливанням деталі за рахунок відбору імпульсу у рухомого тіла елементами пружного середовища. Обробка на вищих гармоніках ефективніша, оскільки коефіцієнт поглинання збільшується із зростанням гармоніки власної частоти, з якою резонує навантаження, що збурює. В процесі ЗВОПС в граничному шарі деталей протікають мікропластичні деформації і інші процеси, що призводять до зниження залишкової напруги і до дислокацій в поверхневому шарі. В результаті отримується зміна шорсткості поверхні до оптимальної та підвищення поверхневої міцності на 10-25% . Але ці висновки необхідно перевірити експериментально.

Отже саме 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 в дії контактним способом механічних коливань звукового діапазону частот на деталь занурену в пружно-в'язке середовище. Запропонована технологія стала основою створення експериментального вібраційного комплексу, який засновано на механізмі механічних коливань зі звуковою резонансною частотою, для підвищення якості поверхневих шарів робочих поверхонь в процесі взаємодії деталей з середовищем.

Деталь отримує механічні коливання із частотою власних коливань, у результаті чого обробка ведеться в резонансному режимі. Деталь в процесі коливань впливає на частки середовища, що прилягають до поверхні, і змушує їх здійснювати вимушені коливання.

Середовище поблизу вібруючої деталі деформується, і в ній виникають пружні сили. Ці сили впливають на усе більш віддалені від деталі частки середовища, виводячи їх з положення рівноваги. Поступово всі частки середовища включаються в коливальний рух. Під ударами робочого середовища мікроступи шорсткості поверхні деталі деформуються, заповнюючи мікрозападини поверхні, що оброблюється. У результаті низькочастотної обробки в поверхневому шарі виникають сприятливі стискаючі напруги, що сприяє підвищенню міцності втомної й зносостійкості, згладжується шорсткість поверхні зміцнюваної деталі. Процес також супроводжується насиченням поверхні елементами робочого середовища. Таким чином змінюється шорсткість, мікротвердість, фізико-механічні та фізико-хімічні властивості поверхневого шару.

Дана обробка дозволяє досягти рівномірного розподілу дислокацій і внутрішньої напруги поверхневого шару. В порівнянні з існуючими методами ППД зменшується вірогідність зародження втомних тріщин. Обробка в пружному середовищі дозволяє одночасно обробляти всі поверхні деталей. При використанні запропонованого методу на розробленій установці можна обробляти деталі складної геометричної форми. Технологію відрізняє мінімальне енергоспоживання, висока продуктивність, екологічність.

У основі технології лежить здатність дислокацій металу, що піддається віброобробці з накладенням акустичних коливань, поглинати енергію звукової і ультразвукової частоти і перетворювати в енергію власних переміщень, сприяючої стабілізації залишкової напруги. Вібраційна установка (рис. 1) включає генератор імпульсів коливань звукової частоти, п'єзоперетворювач імпульсів в механічні переміщення, встановлений на жорсткій рамі, електронний і вібровимірювальний цифровий осцилограф, віброметр ПІ-19 і система, що управляє на базі ПК. Перевагою пропонованої віброустановки є висока ефективність, низька собівартість, екологічна чистота, простота конструкції та технологічного процесу обробки. Запропонована установка для віброобробки забезпечує зменшення часу на фінішну обробку, знижує енерговитрати за рахунок обробки на резонансних частотах. Вживання запропонованої вібраційної установки дозволяє реалізувати функціональні можливості віброобробки в пружному середовищі без вживання абразивних матеріалів. Дана обробка дозволяє об'єднати два процеси: вібростабілізацію і підвищення якості поверхневого шару.

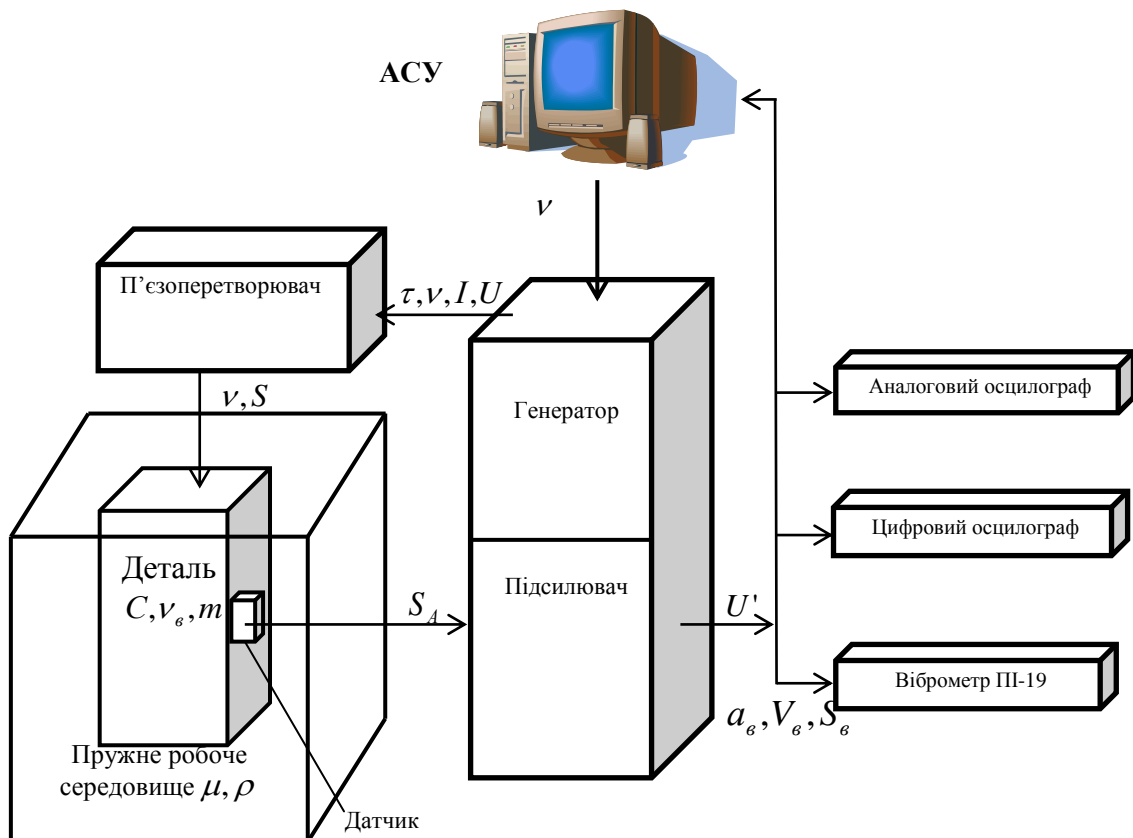


Рис. 1. Принципова схема вібраційної установки

Основні технологічні параметри обробки, що потребують вивчення, наступні: склад і в'язкість робочого середовища; амплітуда й частота коливань, що визначають енергію зіткнення атомів робочого середовища з оброблюваною поверхнею; тривалість процесу обробки. При точному збігу власної частоти й частоти вібрації деталь буде коливатися з найбільшою амплітудою. При цьому ззовні витрачається мінімум енергії на підтримку резонансу, а у середину системи надходить максимум з спрямованої енергії. Особливість методу полягає в тому, що робоче середовище легко набуває форми оброблюваної поверхні, що забезпечує відносну рівномірність обробки і можливість обробляти деталі складної форми.

Проведено експериментальне дослідження обробки пластин з технічного алюмінію АД00 ГОСТ 4784- 97 запропонованим методом (рис. 2). При цьому резонансна частота становила близько 3800 Гц. Встановлено, що:

- твердість поверхневого шару підвищилась від (72...76)НВ до (81...84)НВ (табл.1);
- шорсткість робочої поверхні зменшилася від (5,0...6,3)Ra до (3,15...4,0)Ra;
- структура поверхневого шару отримала зменшення розміру зерна (рис. 3);
- зменшилися остаточні напруги на робочій поверхні й в тілі деталі при зменшенні власної частоти коливань на (150...200) Гц.



Рис. 2. Обробка алюмінієвої пластини на експериментальній установці для ЗВОПС:
а) – вимірювання резонансних частот; б) обробка в індустріальному маслі

Таблиця 1. Результати вимірів поверхневої твердості для алюмінію після обробки, НВ

Середовище	Номер зразку	Час впливу резонансної частоти, хвилин			
		0	5	10	15
Масло індустріальне І-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

Пари тертя вузлів автомобілів належать заміні або відновленню при дуже малих значеннях зносу (0,1...0,3 мм). Отже зносу піддаються дуже тонкий поверхневий шар. Немає необхідності в глибокому поверхневому зміцненні. При зношуванні пар тертя особливо в процесі приробки величезне значення має шорсткість, її форма, що після ЗВОПС не має гострих піків. ЗВОПС в резонансному режимі дозволяє підвищити якість тонких шарів поверхні з меншими енерговитратами. Завдяки коливальному процесу з малою амплітудою формується сприятливий

розподіл залишкової напруги і мікрорельєф поверхні. Шорсткість та кристалічна структура поверхні регулюється відповідними режимами обробки. Вживання ЗВОПС може дозволити: виключити операції термічної обробки та шліфування на фінішних етапах технологічного процесу; отримати робочу поверхню з поліпшеними трибологічними властивостями; поліпшити структуру металу обробленої поверхні.

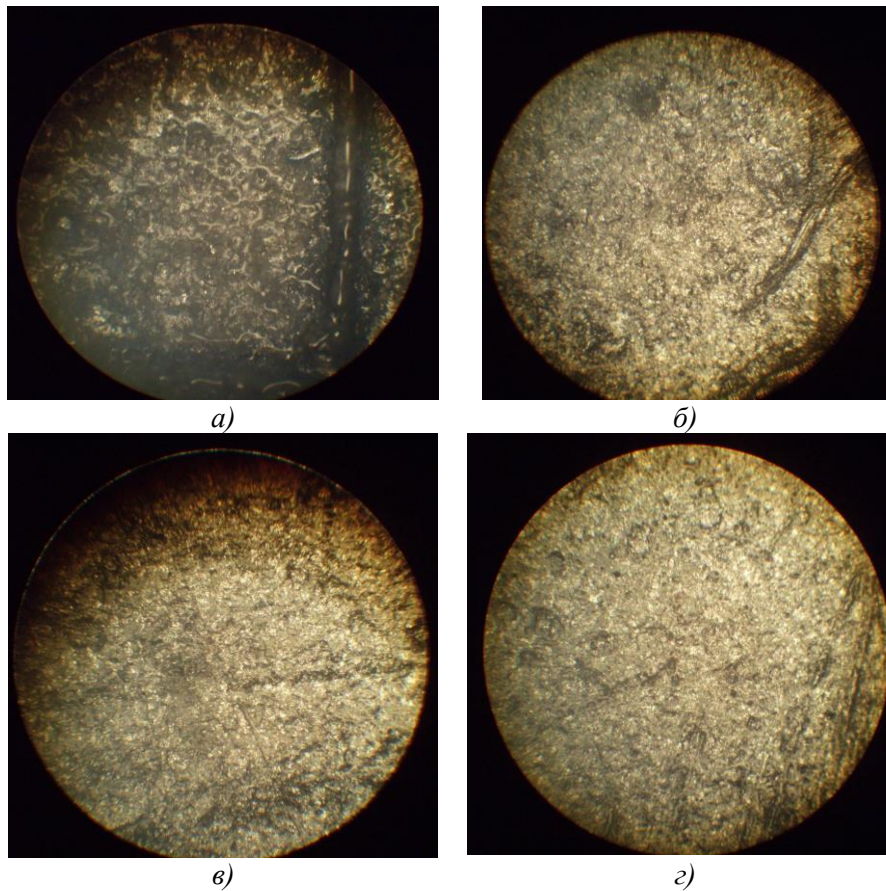


Рис. 3. Структура поверхневого шару деталі з алюмінію при ЗВОПС (збільшення 1:400):
а) до обробки; б, в, г) після 5, 10, 15 хвилин обробки відповідно

Амплітудою переміщень можна керувати за допомогою геометрії концентратора, що входить до складу п'єзоперетворювача. Дослідження фізико-технічних особливостей ультразвукового концентратора проводилося з використанням апарату механіки суцільного середовища в тривимірній постановці. Для постановки завдання необхідно скласти замкнуту систему рівнянь, яка описує рух і стан суцільного середовища з врахуванням її фізико-механічних властивостей, зовнішніх силових чинників і дозволяє знайти всі функції, визначальний рух і стан середовища залежно від координат і часу.

У роботі моделюється тривимірний концентратор зсувів. При цьому розподіл маси по елементах вважається однорідним, а розмір елементів підбирається таким, аби хвиля, що поширюється, могла бути просторово дозволена. Спроектвана конструкція концентратора, що дозволила довести коефіцієнт збільшення амплітуди переміщень від 4 (конусоподібний) до 20.

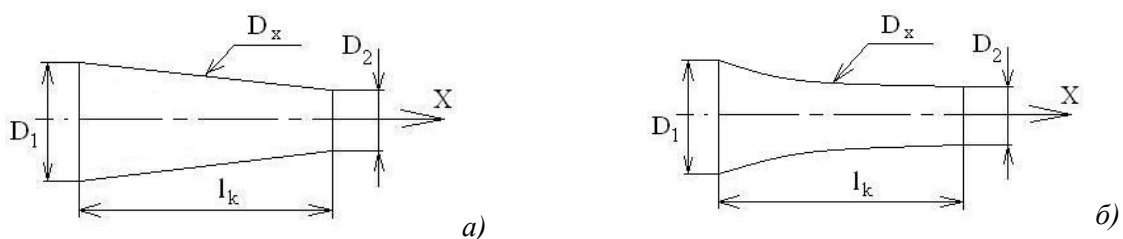


Рис. 4. Геометрія концентраторів: а) конусоподібний; б) радіальна й циліндрична ступені

Висновки. Проблема підвищення зносостійкості і ресурсу деталей вантажних автомобілів може бути вирішена за рахунок вживання іноваційних, ресурсозберігаючих методів. Запропонований метод ЗВОПС, що використовує коливання зі звуковою частотою, що співпадають з власною частотою коливань деталі, забезпечуючи використання ефекту резонансу, є достатньо універсальним з точки зору технологічних можливостей і якості обробленої робочої поверхні тертя і заслуговує на впровадження в технологічні процеси виготовлення і ремонту деталей автомобілів. ЗВОПС дозволяє використовувати менш громіздке устаткування, не використовувати абразивні матеріали, досягати суттєвих результатів при мінімальних витратах 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 експериментальним шляхом. Для розвитку методу необхідне дослідження наукової бази процесу з метою вдосконалення устаткування і досягнення кращих експлуатаційних показників поверхневого шару. ЗВОПС може знайти вживання, як в основному, так і ремонтному виробництві автомобільних деталей схильних до підвищеного зносу.

1. *Карагодін В.И.* Ремонт автомобилей и двигателей: Учеб. для студ. проф. учеб. заведений/ *Карагодін В.И.; Митрохин В.П.* // – 2 – е изд. стер – М: Издательский центр, Академия: Мастерство, 2002. – 496 с.
2. *Одинцов Л.Г.* Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. Справочник / *Л.Г. Одинцов* // М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
3. *Маслов А.Р.* Перспективные высокие технологии: справочник / *А.Р. Маслов* // Инженерный журнал. –2008. – № 1. – С. 10-24.
4. *Сулов А.Г.* Качество поверхностного слоя деталей машин / *А.Г. Сулов* // М.: Машиностроение, 2000. - 320 с.
5. *Смелянский В. М.* Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / *Смелянский В. М.* – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
6. *Кудашева И. О.* Совершенствование технологии изготовления прецизионных деталей «тело вращения» на основе применения ультразвукового упрочнения и поверхностно-активных веществ: дис. к.т.н.: 05.02.08 / *Кудашева Ирина Олеговна.* – Саратовский государственный технический университет. – Саратов, 2008. – 129 с.
7. *Самойлов П. И.* Технология поверхностно-пластической деформации с применением ультразвуковых процессов. Инженер: студенческий научно-технический журнал / *П. И. Самойлов, А. Н. Михайлов* // Донецк: ДонНТУ, 2007, № 8. – С. 80-83.
8. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника (износ и безизносность). - М.: Изд-во МСХА, 2001. - 616 с.
9. *Палаев А.Г.* Технология, оборудование ультразвуковой упрочняюще-финишной обработки металлов и контроль качества / *А.Г. Палаев, А.И. Потапов, В.В. Максаров* // Металлообработка № 6(66) , 2011, – С. 38-41.
10. *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 ім. Петра Василенка / Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. - Харків : ХНТУСГ, 2012. – Вип. 122. – С. 122-127.
11. *Ковалевський С.В.* Аналіз стану проблеми реновації деталей автомобілів технологічними методами/ *С.В. Ковалевський, С.А. Матвієнко, О. В. Лукічов* // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – Житомир: ЖДТУ, 2012. – Вип. №3 (62)-2012, т. 2. – С. 74-78.

Стаття надійшла до редакції 29.04.2013.