

УДК 621.7

О.В. Лукічов, к.т.н., доц., **С.В. Ковалевський**, д.т.н., проф.,
С.А. Матвієнко, асп.

Донецька академія автомобільного транспорту, Україна
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна
Тел. +38 (050) 9121721; E-mail: a_lukichov@mail.ru

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ЗВУКОВОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ТА УПРАВЛІННЯ ЙОГО ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

В статті розглянутий запропонований спосіб звукової вібраційної обробки в пружному середовищі. Розкриті теоретичні передумови проведення обробки та можливі результати. На підставі гіпотези розроблена конструкція пристрою для здійснення запропонованого способу, що складається з генератора імпульсів коливань звукової частоти, п'єзоперетворювача імпульсів в механічні переміщення, встановлений на жорсткій рамі, концентратора, вимірювальної апаратури. Проаналізовані технологічні параметри процесу обробки та принципова схема установки й її основного елемента – концентратора коливань. Досліджений вплив його конструкції на резонансну частоту та амплітуду коливань й встановлена оптимальна форма. Наведені результати проведеної експериментальної обробки деталей з технічного алюмінію, що підтвердили збільшення мікротвердості на 10-25%, зменшення шорсткості до рівновісних показників, зміну структури поверхневого шару зразків.

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

Постановка проблеми. Проблема підвищення експлуатаційних властивостей вузлів тертя, трибологічних характеристик за рахунок нових методів обробки актуальна. Від якості фінішної обробки залежать найважливіші показники механізмів – працездатність, надійність, металоємність, собівартість і інші техніко-економічні характеристики. Для автомобілебудування важлива проблема - зниження маси автомобіля, витрат 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. Оптимізація системи параметрів якості поверхонь деталей машин, вузлів тертя, яка б як найповніше відображала їх експлуатаційні властивості – головна задача дослідження, що потребує розробки інноваційних технологічних методів продовження ресурсу деталі як при виготовленні, так і при реновації ресурсозберігаючими методами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На експлуатаційні показники деталей машин чинять несприятливий вплив: мікрогеометрія поверхні; твердість поверхневого шару; залишкова напруга, що розтягує - технологічні наслідки операцій механічної обробки на фінішних етапах виготовлення і реновації виробів; прироблюємість поверхонь тертя та ін. Для усунення залишкової напруги, стабілізації розмірів застосовується термообробка, яка вимагає великих енерговитрат, але не завжди дає оптимальні результати. Процеси, що протікають в металах в твердій фазі при акустичному навантаженні вивчені недостатньо, особливо фізика дислокаційного зміцнення. Для деталей з алюмінію характерні: недостатня міцність поршнів, швидкий знос кільцевих канавок, інших деталей обмежують їх вживання, застосовуються технології зміцнення анодуванням, армуванням, газотермічним і плазмовим зміцненням.

Основні недоліки - складність устаткування, дорогі матеріали, складні контролюючі і регулюючі комплекси. Таким чином технологічних методів зміцнення та відновлення деталей машин достатньо багато [1-3], але жоден з них не вирішує завдання комплексно, поєднуючи якість обробки й ресурсозбереження.

Саме стан поверхні багато в чому визначає експлуатаційні властивості деталей. 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. Перевага віддається методам обробки, що використовують як теплове джерело концентровані потоки енергії: іонні, лазерні, ультразвукові, височастотні 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, що не отримали належного розвитку [4-7].

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

Основні результати дослідження. Теоретична модель процесу ЗВОПС (звукова вібраційна обробка в пружному середовищі) визначається опором пружного рідкого середовища коливанням деталі за рахунок відбору імпульсу у рухомого тіла його елементами. Обробка на вищих гармоніках ефективніша, оскільки коефіцієнт поглинання збільшується із зростанням гармоніки власної частоти, з якою резонує навантаження, що збурює. При обробці в граничному шарі деталей протікають мікропластичні деформації і процеси, що призводять до зниження залишкової напруги і до дислокацій в поверхневому шарі. В результаті змінюється шорсткість поверхні до оптимальної та підвищується поверхнева міцність на 10-25%, що необхідно перевірити експериментально.

Запропонований авторами спосіб обробки ЗВОПС [8, 9] оснований на використанні декількох фізичних явищ одночасно: 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 способу: передача вимушених коливань безпосередньо деталі, що дозволяє зменшити витрати енергії; відсутність твердих робочих елементів, що діють на деталь; використання явища резонансу протягом всього процесу обробки при регулюванні (підстроюванні) частоти коливань, що збурюють.

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 резонанс-

сному режимі. Деталь в процесі коливальних впливів на частки середовища, що прилягають до поверхні, і змушує їх здійснювати вимушені коливання. Середовище поблизу вібруючої деталі деформується, в ній виникають пружні сили. Поступово всі частки середовища включаються в коливальний рух. У результаті низькочастотної обробки в поверхневому шарі виникають сприятливі стискаючі напруження, що підвищує міцність, зносостійкість, згладжується шорсткість поверхні оброблюваної деталі, насичується поверхня елементами робочого середовища. Таким чином змінюється шорсткість, мікротвердість, фізико-механічні та фізико-хімічні властивості поверхневого шару.

Обробка дозволяє досягти рівномірного розподілу дислокацій і внутрішньої напруженості поверхневого шару. Обробка в пружному середовищі дозволяє одночасно обробляти всі поверхні деталей, на розробленій установці можна обробляти деталі складної геометричної форми при мінімальному енергоспоживанні, високій продуктивності, екологічності; робоче середовище легко набуває форми оброблюваної поверхні, що забезпечує відносну рівномірність обробки деталей складної форми. В основі лежить здатність дислокацій металу при віброобробці з накладенням акустичних коливань, поглинати енергію звукової і ультразвукової частот і перетворювати в енергію власних переміщень, стабілізуючи залишкові напруження. Вібраційна установка включає генератор імпульсів коливань звукової частоти, п'єзоперетворювач імпульсів в механічні переміщення, електронний і вібровимірювальний цифровий осцилограф, віброметр ПІ-19 і система управління. Запропонована установка для віброобробки забезпечує зменшення часу на фінішну обробку та енерговитрат за рахунок обробки на резонансних частотах, а також об'єднує два процеси: вібростабілізацію і підвищення якості поверхні.

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 збігу власної частоти й частоти вібрації деталь буде коливатися з найбільшою амплітудою. При цьому ззовні витрачається мінімум енергії на підтримку резонансу, а в систему надходить максимум з спрямованої енергії.

Проведено експериментальне дослідження обробки пластин з технічного алюмінію АД00 ГОСТ 4784- 97 запропонованим методом (рис. 1). При цьому резонансна частота становила близько 3800 Гц.



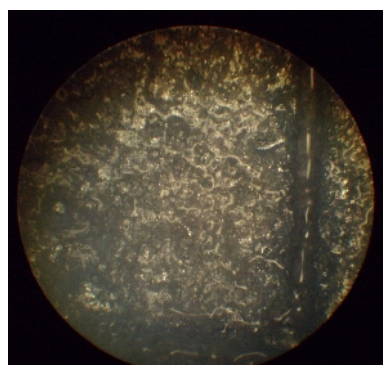
Рис. 1. Обробка алюмінієвої пластини на експериментальній установці для ЗВОПС (а – вимірювання резонансних частот; б – обробка в індустріальному маслі)

Встановлено, що: - твердість поверхневого шару підвищилась від (72...76)НВ до (81...84)НВ (табл.1);

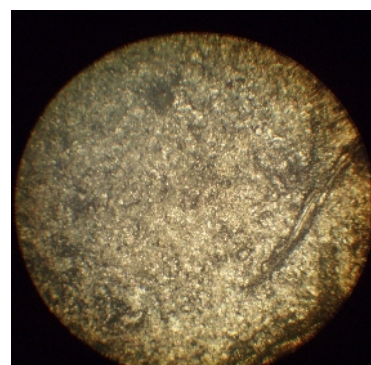
- шорсткість робочої поверхні зменшилася від (5,0...6,3)Ra до (3,15...4,0)Ra;
- структура поверхневого шару отримала зменшення розміру зерна (рис. 2);
- зменшилися остаточні напруги на робочій поверхні й в тілі деталі при зменшенні власної частоти коливань на (150...200) Гц.

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

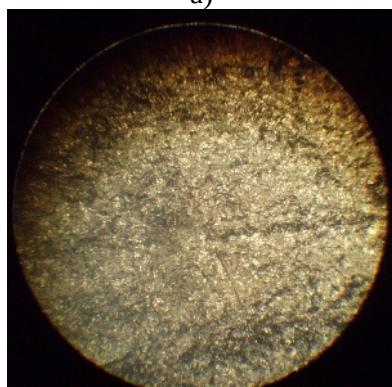
Середовище	Номер зразку	Час впливу резонансної частоти, хвилин			
		0	5	10	15
Масло індустріальне І-40	1	74,3	79	82	82
	2	75,6	80	84	83
	3	73,6	77	83	83
	4	72,9	76	82	84
Вода	5	75,8	78	81	83
	6	74,6	76	79	81
	7	74,5	77	80	82
	8	72,5	76	78	81
Вода з ПАР (поверхнево активними речовинами)	9	72,8	77	81	81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



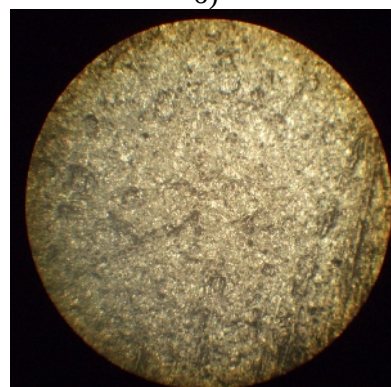
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Структура поверхневого шару деталі з алюмінію при ЗВОПС (збільшення 1:400) (а – до обробки; б, в, г – після 5, 10, 15 хвилин обробки відповідно)

Пари тертя вузлів автомобілів належать заміні або відновленню при дуже малих значеннях зносу ($0,1 \dots 0,3$ 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.

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. Спроектована конструкція концентратора, що дозволила довести коефіцієнт збільшення амплітуди переміщень від 4 (конусоподібний) до 20.

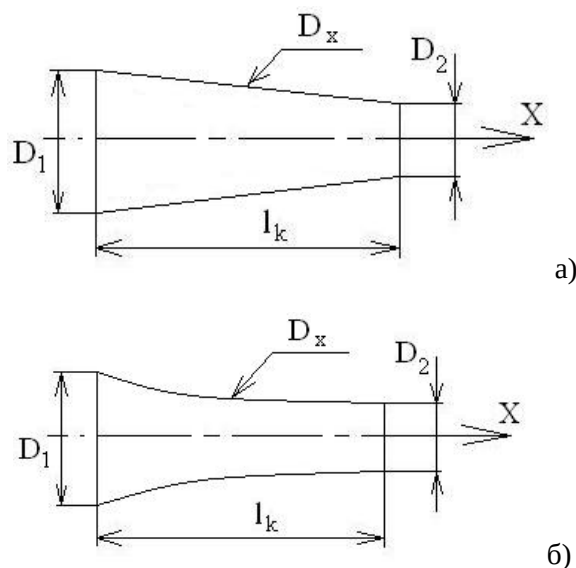


Рис. 3. Геометрія концентраторів (а- конусоподібний, б- радіально-циліндрична форма)

Проведений розрахунок різних ультразвукових ступінчасто-радіальних коливальних систем при різних довжинах і діаметрах сходинки концентратора. Для моделювання використовувався квадратичний кінцевий елемент SOLID92, який визначається десятьма вузлами, що мають три міри свободи в кожному вузлі: переміщення у напрямку

мі осей вузлової системи координат.

Будь-яке постійне навантаження, що циклічно змінюється, породжує відгук моделі, що циклічно змінюється (гармонійний відгук). Розрахунок вимушених коливань дає можливість передбачити поведінку періодично збуджуваної системи, дозволяючи, таким чином, перевіряти модель конструкції на наявність резонансу, в тому і інші негативні ефекти періодичного збудження.

Аналіз вимушених коливань є способом визначення сталого процесу відгуку лінійної моделі на навантаження, що змінюються в часі по синусоїдальному (гармонійному) закону. Сенс розрахунку полягає в обчисленні відгуку на декількох частотах і здобуття функції деякої характеристики (зазвичай переміщення) від частоти. Пікові значення визначаються по графічній залежності і вигляду шуканих величин для частот, що викликають пікові значення.

Чисельний аналіз заданих параметрів показав, що при наближенні до резонансної частоти $f_3 = 3314.7 \text{ Hz}$ компоненти переміщень UX й UY , що лежать в площині, перпендикулярній осі концентратора, прагнуть до нуля, а компонента переміщень, паралельна осі симетрії концентратора, нестримно зростає, що свідчить про перехід подовжніх коливань в резонансний режим. Також можна стверджувати, що в головному наближенні теорія про те, що в процесі резонансних подовжніх коливань поперечні перетини залишаються плоскими, справедлива. Розмах амплітуди коливань вузлів на вихідному перетині концентратора для даної геометрії складає близько 120 мкм. при зміні довжини концентратора і товщини сходинок істотно змінюється резонансна частота подовжніх коливань, тоді як коефіцієнт посилення коливань залишається близько 20.

Висновки. Проблема підвищення зносостійкості і ресурсу деталей вантажних автомобілів може бути вирішена за рахунок вживання іновативних, 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. ЗВОПС може знайти вживання, як в основному, так і ремонтному виробництві автомобільних деталей схильних до підвищеного зносу.

Список літератури

1. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. Справочник / Л.Г. Одинцов // М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
2. Маслов А.Р. Перспективные высокие технологии: справочник / А.Р. Маслов // Инженерный журнал. – 2008. – № 1. – С. 10 - 24.
3. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Суслов // М.: Машиностроение, 2000. - 320 с.
4. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / Смелянский В. М. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
5. Кудашева И. О. Совершенствование технологии изготовления прецизионных деталей «тело вращения» на основе применения ультразвукового упрочнения и

поверхностно-активных веществ : дисс. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Кудашева Ирина Олеговна. – Саратовский государственный технический университет. – Саратов, 2008. – 129 с.

6. 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.

7. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безизносность). - М.: Изд-во МСХА, 2001. - 616 с.

8. 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.

9. 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.

O.V. Lukichov, S.V. Kovalevsky,
S.A. Matvienko

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF METHOD OF VOICE OSCILLATION TREATMENT AND MANAGEMENT HIS TECHNOLOGICAL PARAMETERS

In the article the offered method of oscillation treatment is considered in a resilient environment. The technological parameters of process of treatment and of principle chart of setting are analysed and its basic element – concentrator of vibrations. Investigational influence of his construction is on resonance frequency and amplitude of vibrations. The rotated results of the conducted experimental treatment of details are from aluminium. They confirmed the increase of microhardness on 10-25%, diminishing of roughness to the pавновесным indexes, change of structure of superficial layer of standards.

Key words: oscillation treatment, resonance, roughness, tribology, structure of surface.

А.В.Лукичев, С.В.Ковалевский,
С.А.Матвиенко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДА ЗВУКОВОЙ ВИБРАЦИОННОЙ ОБ- РАБОТКИ И УПРАВЛЕНИЕ ЕГО ТЕХНОЛО- ГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

В статье предложен способ звуковой вибрационной обработки в упругой среде. Технологические параметры процесса обработки и принципиальная схема установки и ее основного элемента – концентратора колебаний. Исследовано влияние его конструкции на резонансную частоту и амплитуде колебаний. Приведены результаты проведенной экспериментальной обработки деталей из алюминия, которые подтвердили увеличение микротвердости на 10-25%, уменьшение шероховатости к равновесным показателям, изменение структуры поверхностного слоя образцов.

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

Надійшла до редколегії 20.06.2013 р.