

ВІДНОВЛЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ГІДРАВЛІЧНИХ НАСОСІВ
ТИПУ «НШ» ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Бурлака О.А.	канд. техн. наук, доцент, Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2296-7234 , e-mail: oleksii.burlaka@pdau.edu.ua ;
Келемеш А.О.	канд. техн. наук, доцент, Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9429-8570 , e-mail: anton.kelemesh@pdau.edu.ua ;
Ляшенко С.В.	канд. техн. наук, доцент, Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3227-3738 , e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua ;
Гончаренко О.О.	канд. техн. наук, доцент, Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4325-2705 , e-mail: oleksandr.honcharenko@pdau.edu.ua

В даній статті розглянуто результати наукового дослідження щодо доцільності застосування пластичного вібраційного деформування робочих поверхонь бронзових втулок підшипників ковзання гідравлічних шестеренних насосів типу «НШ». Такі гідравлічні насоси набули широкого вжитку в сучасному автомобіле- та тракторобудуванні. В конструкціях гідравлічних шестеренних насосів спостерігається тенденція до збільшення використання в якості конструкційних матеріалів кольорових металів та багатокомпонентних сплавів на основі таких металів. Мета дослідження розглядається як пошук оптимальних режимів технологічних процесів пластичного вібраційного зміцнення робочої поверхні бронзових втулок підшипників ковзання валів гідравлічних шестеренних насосів типу «НШ» очікуваними результатами при цьому є підвищення терміну використання та експлуатаційної надійності зміцнених робочих поверхонь бронзових втулок. Предметом нашого дослідження стали бронзові втулки підшипників ковзання шестеренних валів гідравлічних насосів НШ-32 та НШ-100. Матеріал втулок – бронза CuSn5Zn5Pb5 . Експериментальні дослідження щодо обробки робочих поверхонь бронзових втулок підшипників ковзання шестеренних валів гідравлічних насосів було проведено з використанням спеціальних пуансонів, що виготовлені з урахуванням геометричних розмірів бронзових втулок. Матеріал пуансонів – інструментальна сталь У7. Актуальними елементами пропонованої технології виготовлення експериментальних пуансонів є отримання за рахунок конструкційного матеріалу та термічної обробки твердості робочих поверхонь в межах 55-58 HRC. Основні складові експериментальних досліджень спрямовані на вивчення закономірностей впливу пластичної вібраційної деформації на поверхні тертя бронзових втулок гідравлічних шестеренних насосів. Вібраційне пластичне деформування робочого поверхневого шару бронзи розглядається як один з вагомих елементів, що можливо використовувати при здійсненні відновлення бронзових втулок чи виготовленні нових таких втулок для підшипників ковзання шестеренних гідравлічних насосів. Оптимальним кутом робочих конусних поверхонь сталевих пуансонів за вимогою мінімізації маси зсунутої з робочої поверхні втулки бронзи при пластичному вібраційному деформуванні став кут $\beta = 9^\circ$. Отримані результати можуть бути використані для здійснення пластичного вібраційного зміцнення інших бронзових деталей гідравлічних насосів / моторів, наприклад, аксіально-плунжерних чи радіально-плунжерних насосів / моторів гідростатичної трансмісії.

Ключові слова: гідравлічний насос, бронзова втулка, вібраційне деформування, пластичність, зношування, зносостійкість, відновлення, пластична деформація.

Постановка проблеми

Наукові та виробничі завдання, спрямовані на підвищення надійності та довговічності роботи вузлів та агрегатів гідравлічних систем та обладнання сучасних автомобілів та тракторів, не втрачають своєї актуальності в умовах сьогодення. Реалізацію таких завдань можливо розглядати і як підвищення продуктивності гідроприводу, зменшення металоемності його складових частин і компонентів. Тому пошук способів підвищення експлуатаційних характеристик гідравлічних насосів шестеренного типу, експериментальна складова досліджень з такого питання і, наприкінці, можливість виробничого впровадження пропонованих інноваційних елементів технологій ремонту гідрообладнання не втрачають своєї актуальності.

Враховуючи технічну складність та енергонасиченість гідравлічних систем автомобільного транспорту, тракторів, сільськогосподарських машин, іншого спеціалізованого гідрофікованого обладнання, маємо постійне здорожчання виробництва і ремонту гідроапаратури [1].

Технічні рішення сьогодення, щодо автомобіле- та тракторобудування, спрямовані за збільшення використання в якості конструкційних матеріалів кольорових металів та багатокомпонентних сплавів на основі таких металів. Спостерігається і поширюється з кожним роком використання і композитних матеріалів.

Складові елементи гідроприводу автотракторного призначення можуть піддаватись доволі значним статичним та динамічним знакозмінним навантаженням. При цьому, як приклад вузли – підшипники

ковзання як спряження «вал-втулка» працюють на значних лінійних та кутових швидкостях. В такому випадку виникають інженерні завдання щодо протидії тертю ковзання, протидії впливу високих температур на технологічні рідини гідравлічних приводів [2].

Тому обраний напрямок дослідження пов'язаний з удосконаленням технологій як виготовлення, так і відновлення бронзових деталей пар тертя в гідравлічних насосах для підвищення надійності та довговічності їхнього використання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На практиці досить поширеним є технології застосування вібраційного коливального зміцнення робочих поверхонь металевих деталей та сплавів з метою покращення їхніх механічних характеристик, в тому числі твердості та зносостійкості. Доведено, що використання вібрації для відновлення частково зношених та виготовлення нових деталей типу «втулка» з використанням вібраційних коливань та пластичної деформації як інноваційних елементів технологічних операцій по відновленню просторової геометрії та антифрикційних властивостей визначає низку суттєвих переваг відносно традиційних механічних методів обробки таких деталей, наприклад – за допомогою точення на металообробних верстатах.

Значна частина результатів експериментальних досліджень щодо визначення позитивних складових ущільненого за допомогою пластичної деформації сплаву бронзи CuSn7Zn4Pb7 наведено в роботі [1]; в такому випадку вивчались наслідки пластичного деформування на міцність при розтязі, крученні, втомну довговічність; представлено різні варіації силових навантажень на елементи об'єкту та предмет дослідження; проведено порівняльні дослідження щодо відповідності зміцненої поверхні стандартам, в яких висвітлено технічні та технологічні вимоги до таких конструкційних матеріалів.

Щодо нашої методики частини експериментального дослідження, то діапазон і границя крайніх значень досліджуваних факторів повинна не перевищувати межу плинності та руйнування бронзового сплаву, з якого виготовляються втулки для підшипників ковзання гідравлічних шестеренних насосів.

Частина наукових досліджень [2] описана і спрямована на покращення антифрикційних властивостей бронзової поверхні тертя шляхом додаткового попереднього збагачення вуглецем та нанесення м'якого антифрикційного шару. Але в такому випадку виникають деякі ускладнення при роботі пари тертя «вал-втулка» в режимі високих температур та швидкостей.

Щодо напрямку застосування «внутрішньогранулярного ультрананоосадження» [3], то в такому випадку кінцевою очікуваною метою є підсилена пластифікація та зміцнення за допомогою сплавів Cu на основі полікристалічних структур. Автори [3] на основі власних досліджень прийшли до висновку, що

використання внутрішньогранулярної дисперсії ультрананочастинок призводить до збільшення пластичності бронзового олов'янистого сплаву – приблизно у 2 рази та до 20% збільшується міцність такого сплаву.

Напрямок технологій покращення бронзового сплаву C83600 Tin Bronze з використанням термічної обробки під час деформації робочих поверхонь деталей описано в науковій праці [4]. Краща передбачуваність спостерігається при цьому в отриманому механізмі гарячого деформування моделі «Арреніуса» з використанням олов'яної бронзи C83600. Основні результати дослідження викладені у вигляді кривих напруження-деформація сплаву C83600 Tin Bronze за результатами ізотермічного випробування стисанням зі значним температурним діапазоном: 873-1073 K та швидкістю деформації в межах $0,001-1 \text{ s}^{-1}$ [4]; при цьому значним здобутком є рівняння, що описують закономірності та тенденції високотермічного напруження текучості досліджуваного сплаву.

Відповідно, закономірності та тенденції пластичної деформації бронзи та подібних сплавів на основі міді, що мають покращені антифрикційні властивості, під дією різних механічних та термічних навантажень є науковою проблемою, актуальність якої з часом тільки підсилюється. Інноваційним напрямком при цьому може бути напрямок, що використовує методичні та методологічні складові, де ступінь пластичної деформації бронзи отримується за допомогою вібраційної обробки тиском. Напрямок також можливо поширювати і шляхом удосконалення технологічного інструменту для здійснення такого вібраційного пластичного зміцнення поверхонь тертя бронзових сплавів, наприклад, як у нашому випадку – зміцнення нових та ремонтних бронзових втулок підшипників ковзання валів гідравлічних шестеренних насосів типу «НШ».

Щодо фізичних процесів по застосуванню вібрації для оброблення поверхонь бронзових деталей, то основою останніх є використання гармонійних вібраційних коливань підсистеми «оброблювана бронзова поверхня – технологічний інструмент» [5].

Науковцями в працях [6, 7] досліджено основні тенденції щодо впливу описаних віброударних навантажень на збільшення величини опору втомі металів після такого впливу; при цьому пропонується збільшувати ступінь вібраційного зміцнення шляхом застосування системи відцентрових сил при вібраційному зміцненні робочих поверхонь матеріалів.

Щодо економічної та технологічної доцільності виробничого упровадження технологій зміцнення робочих поверхонь металів та сплавів з використанням вібраційної обробки тиском, то такі судження містять праці [7, 8]; автори наводять приклади зменшення витрат матеріальних та використання трудових ресурсів під час здійснення ремонтного виробництва.

Науковцями у працях [9, 10] доведено, що величина вібраційного навантаження при обробці робочих поверхонь тиском може бути збільшена за умови збільшення кількісних значень таких показників

амплітуди та частоти коливань технологічного інструменту, але даний науковий напрямок має значний потенціал для проведення подальших досліджень і випробувань.

Встановлено безпосередній кореляційний зв'язок між ступенем зносостійкості та антифрикційними властивостями обробленого пластичними вібраційним деформуванням поверхневого шару деталі та глибиною такої обробки, але у працях [11, 12] вказано на відсутність конкретних технологічних рекомендацій досліджуваних процесів.

Як альтернативним способом пластичного зміцнення робочих поверхонь бронзових деталей гідроапаратури може бути використання дробоструменевої обробки [13], цей спосіб має практичну цінність, особливо при зміцненні поверхонь складної конфігурації, але являється доволі складним з технічної точки зору.

Останні твердження доводять наукову та практичну необхідність виконання розширеного дослідження даного напрямку щодо застосування як у ремонтному виробництві, так і машинобудуванні технологій вібраційного пластичного зміцнення поверхневого робочого шару бронзових деталей типу втулка, в тому числі і для покращення якості роботи підшипників ковзання гідравлічних шестеренних насосів типу «НШ».

Мета статті

Мета дослідження розглядається як пошук оптимальних режимів технологічних процесів пластичного вібраційного зміцнення робочої поверхні бронзових втулок підшипників ковзання валів гідравлічних шестеренних насосів типу «НШ»; очікуваними результатами при цьому є підвищення терміну використання та експлуатаційної надійності зміцнених робочих поверхонь бронзових втулок.

Досягнення поставленої мети очікується за рахунок вирішення наступних задач наукового дослідження:

- здійснити технологічне обґрунтування оптимальних параметрів процесу обробки тиском робочої поверхні бронзових втулок валів гідравлічних шестеренних насосів типу «НШ»;
- провести порівняння технічних та технологічних показників і характеристик оброблених пластичним вібраційним деформуванням бронзових втулок валів гідравлічних шестеренних насосів як відновлених, так і нових з втулками, виготовленими за звичайними технологіями.

Матеріали та методи

В нашому випадку предметом дослідження обрано бронзові втулки підшипників ковзання гідравлічних шестеренних насосів типу «НШ». До речі, щодо спектру застосування досліджених технологій відновлення бронзових втулок тертя, то такі методики і пропозиції можливо використовувати і в інших аналогічних вузлах тертя ковзання, наприклад – підшипники

розподільчих валів механізмів газорозподілу та підшипники ковзання в турбонаддувах систем повітрябезпечення двигуна внутрішнього згоряння.

Сучасні гідравлічні насоси типу «НШ», четвертого виконання корпусу по тиску, можуть працювати при максимальному піковому тиску технологічних мастил до 25 МПа, робоча температура рідини в гідроприводах при цьому досягає 80°C і вище, частота обертання шестеренних валів гідронасосів, як правило 1000-3600 хв⁻¹. Підвищення температури рідини у сукупності зі збільшенням швидкості обертання валів насосів призводить не тільки до збільшення продуктивності, але й до погіршення умов мащення спряження «бронзова втулка – шестеренний вал» підшипників ковзання, як наслідок – прискорений знос такого спряження.

В контексті описаного нами було здійснено експериментальні дослідження та перевірку оновлених за допомогою пластичного вібраційного деформування механічних властивостей поверхонь тертя бронзових втулок підшипників ковзання гідравлічних шестеренних насосів типу «НШ» на прикладі НШ-32 та НШ-100. В даній публікації обґрунтовується доцільність виробничого впровадження технології вібраційного пластичного зміцнення поверхні тертя бронзових деталей для основної частини модельного ряду підшипників ковзання гідравлічних насосів.

Виклад основного матеріалу

Щодо предмету нашого дослідження, то ним стали бронзові втулки підшипників ковзання шестеренних валів гідравлічних насосів НШ-32 (рис. 1) та НШ-100 (рис. 2). Матеріал втулок – бронза CuSn5Zn5Pb5.

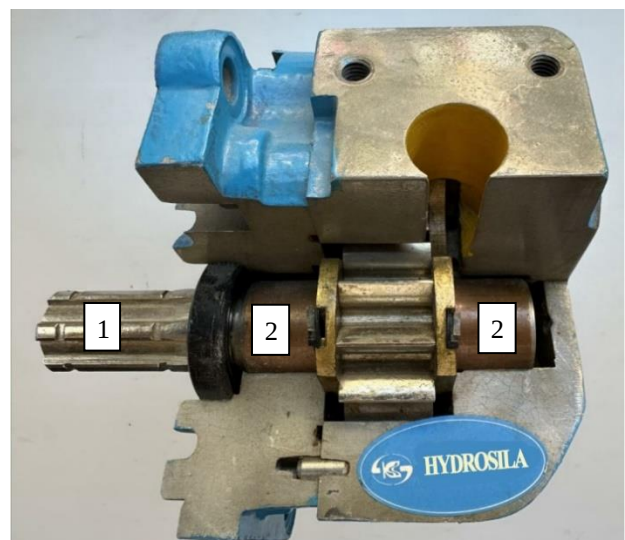


Рис. 1 – Досліджувані зразки бронзових втулок у розрізі гідравлічного шестеренного насоса типу НШ-32:

1 – привідний вал насоса НШ-32; бронзові втулки

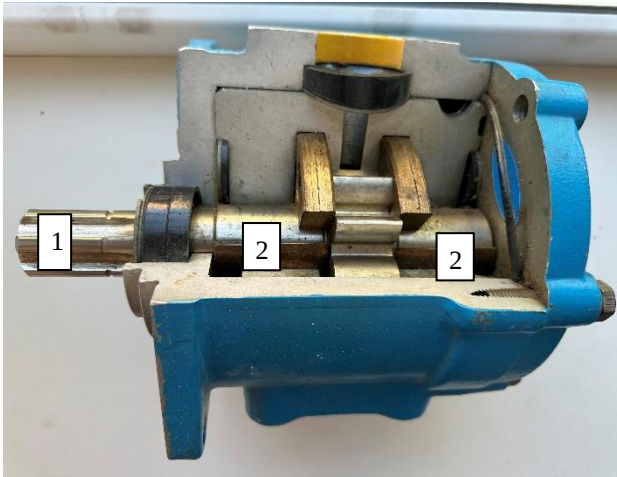


Рис. 2 – Досліджувані зразки бронзових втулок у розрізі гідравлічного шестеренного насоса типу НШ-100:
1 – привідний вал; 2 – бронзові втулки

Під час використання таких та подібних гідравлічних шестеренних насосів в sprzęженні підшипників ковзання шестеренних валів відбувається абразивний знос (рис. 3). Відомо, що інтенсивність та неоднорідність такого зносу залежить від якості оливи в гідравлічних системах та наявності домішок у оливі з абразивною природою.

Відновлення sprzęження «бронзова втулка – шестеренний вал» гідравлічного насоса може бути виконане як шліфуванням частини валу з виготовленням ремонтної бронзової втулки, так і виготовленням нової бронзової втулки номінального розміру при відновленні робочої поверхні шестеренного валу до номінальних параметрів шляхом напilenня чи наплавлення з подальшим шліфуванням.

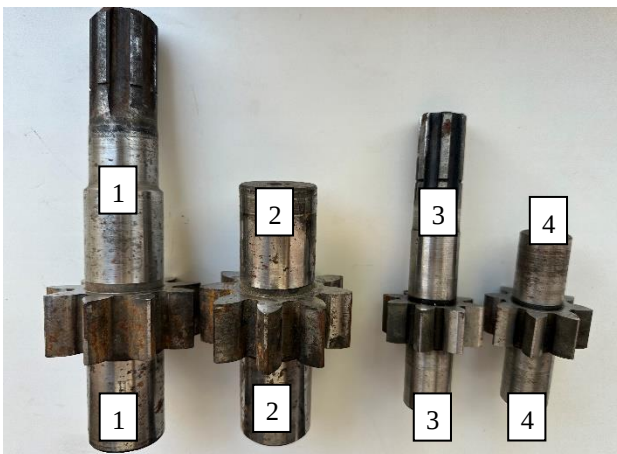


Рис. 3 – Сліди зношування поверхонь тертя ковзання на валах гідравлічних насосів типу НШ-100 (праворуч) та НШ-32 (ліворуч): 1 – сліди зносу привідного валу НШ-100; 2 – сліди зносу веденого валу НШ-100; 3 – сліди зносу привідного валу НШ-32; 4 – сліди зносу веденого валу

Експериментальні дослідження щодо обробки робочих поверхонь бронзових втулок підшипників ковзання шестеренних валів гідравлічних насосів було проведено з використанням спеціальних пуансонів, що виготовлені з урахуванням геометричних розмірів бронзових втулок. Приклад одного з пуансонів показано на рис. 4. Матеріал пуансонів – інструментальна сталь У7.



Рис. 4 – Приклад виготовленого експериментального пуансону, що було використано для обробки тиском – вібраційним пластичним деформуванням робочих поверхонь бронзових втулок підшипників ковзання шестеренних валів гідравлічних насосів

Особливістю елементів технології виготовлення таких пуансонів є використання термічної обробки – загартування, де попередньо нагрітий до температури $780\text{--}800^{\circ}\text{C}$ пуансон охолоджувався і загартовувався в оливі. Другим етапом термічної обробки пуансона було проведення термічного відпуску за температурного режиму $400\text{--}420^{\circ}\text{C}$ та часового інтервалу $15\text{--}20$ хв з подальшим охолодженням. Актуальними елементами пропонованої технології виготовлення експериментальних пуансонів є отримання за рахунок конструкційного матеріалу та термічної обробки твердості робочих поверхонь в межах 55-58 HRC, а твердість хвостовиків експериментальних пуансонів відповідно складала 40-45 HRC.

Основна робоча поверхня пуансона (рис. 4) має конічну форму. При проведенні досліджень щодо пластичного вібраційного зміцнення робочої поверхні бронзових втулок гідравлічних насосів типу НШ важливим моментом було врахування суттєвості кореляційних взаємозв'язків між зміною кута ухилу конуса робочої поверхні пуансона та отриманих міцнісних характеристик обробленої пластичним вібраційним деформуванням робочих поверхонь бронзових втулок гідравлічних шестеренних насосів.

Такий кут змінювався шляхом використання в межах $\beta = 8^{\circ}, 9^{\circ}, 10^{\circ}$.

Низку досліджень щодо пошуку оптимальних режимів при застосуванні пластичного вібраційного зміцнення робочій поверхні проведено на спеціально розробленій експериментальній установці (рис. 5, 6). Щодо основних елементів експериментальної установки для проведення досліджень по вивченню дії вібраційних коливань на якість пластичного деформування та зміцнення робочих поверхонь кінематичних пар є вібратор коливань 1, основа 2, гідропривід вібраційної частини установки 3.



Рис. 5 – Експериментальна установка щодо пошуку оптимальних режимів вібраційної пластичної деформації робочих поверхонь бронзових втулок гідравлічних шестеренних насосів (система пуансон-матриця (розріз))

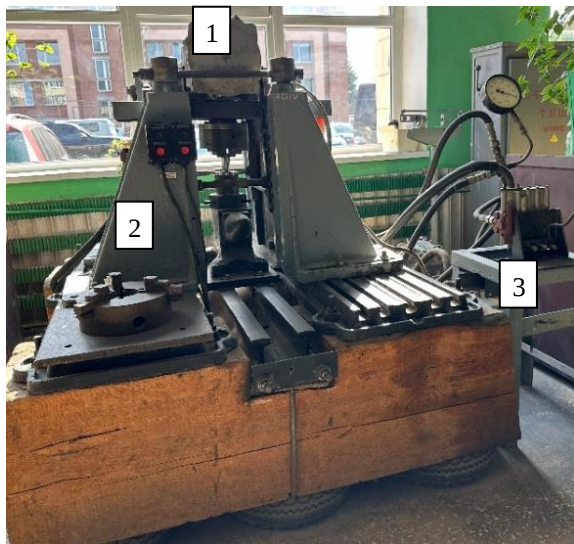


Рис. 6 – Експериментальна установка щодо пошуку оптимальних режимів вібраційної пластичної деформації робочих поверхонь бронзових втулок гідравлічних шестеренних насосів (силова вібраційно-гідравлічна система (загальний вигляд))

Використання спряження: пуансон з конічною голівкою – циліндрична матриця з набором спеціальних вставок під розміри бронзових втулок гідравлічних насосів дає можливість досліджувати та визначати оптимальні режими пластичного вібраційного зміцнення робочих поверхонь бронзових втулок з варіюванням в межах границь плану експерименту швидкістю руху вібраційного вузла, частотою коливань віброзбуджувача.

Відмінністю методики експериментального дослідження в нашому випадку є те, що досліді виконувались як із застосуванням змащувальних технологічних рідин (мінеральне мастило М10Г2), так і при сухому терті.

Методами порівняння досліджено якість робочих поверхонь бронзових втулок підшипників ковзання гідравлічних шестеренних насосів (на прикладі бронзових втулок гідравлічного насосу НШ-100).

Як описано в [12], щодо механічних та антифрикційних властивостей бронзи, то їх можливо досліджувати і за допомогою вивчення мікроструктури таких багатокомпонентних сплавів, а саме фазовим складом таких сплавів.

Методичні складові по пошуку та порівнянню механічних, антифрикційних та міцнісних характеристик бронзових втулок підшипників ковзання гідравлічних шестеренних насосів, виготовлених із застосуванням пластичного вібраційного зміцнення та звичайною технологією досліджувались на зразках таких втулок з використанням, в тому числі, металографічного мікроскопу МІМ-8М з кратністю збільшення зображення 100-400.

Порівнювали нову бронзову втулку з бронзовою втулкою, робоча поверхня якої зміцнена за допомогою пластичного вібраційного деформування. При цьому металографічні дослідження проведено на шліфах, що виготовлені зі зразків бронзових втулок вищезгаданих гідравлічних насосів.

Отже, зображення зразків мікроструктури спеціально підготовлених і протравлених азотною кислотою елементів бронзових втулок гідравлічних шестеренних насосів подано на рис. 7.

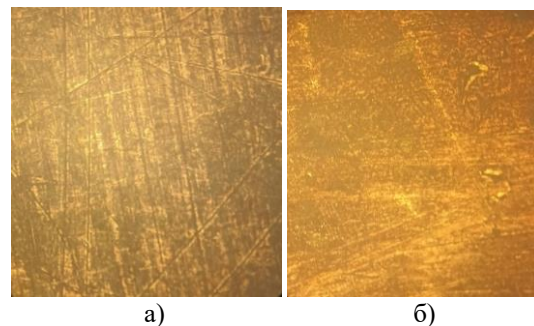


Рис. 7 – Мікроструктура зразків поверхні бронзи CuSn5Zn5Pb5 за умови збільшення $\times 100$: а – звичайне деформування; б – вібраційне деформування

За такими дослідженнями визначено: технологічна операція з обробки тиском робочої поверхні бронзових втулок гідравлічних шестеренних насосів, а саме – пластичне вібраційне зміцнення призводить до збільшення ступеня рівномірності основних компонентів мікроструктури бронзового сплаву та стає більш дрібнозернистою в порівнянні зі звичайною бронзою, обробленою точінням чи штампуванням.

Ще одним важливим домінуючим фактором щодо якості роботи спряження поверхні ковзання сталений вал – бронзова втулка гідравлічного насоса є шорсткість поверхонь тертя. В нашому випадку кількісне значення шорсткості поверхні тертя, за умови отримання останньої як механічною обробкою, так і звичайним та вібраційним деформуванням, вимірювалася з використанням профілометра моделі 296, вимірювальний параметр – Ra.

Для проведення порівняльних експериментальних досліджень відносно інтенсивності зношування

поверхонь тертя в спряженні ковзання вал – бронзова втулка гідравлічного насоса, було використано машину тертя типу МІ-1М.

Режим роботи змодельовано у відповідності до роботи досліджуваної кінематичної пари тертя у гідравлічних шестеренних насосах типу НШ: оберти ролика близько 2000 хв⁻¹, навантаження на пару тертя – 400 Н.

Проведення експериментальних порівняльних досліджень за даною методикою було здійснено мінімум з десятикратною повторюваністю. При цьому також досліджувались закономірності та взаємозв'язки між кількістю зсунутого з обробленої поверхні металу бронзової втулки гідравлічного насоса; варіацією величиною кута ухилу робочої поверхні пуансона β та заданого діапазону припуску з урахуванням можливості подальшої обробки та впливу швидкості вібраційної пластичної деформації (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльні результати експериментального дослідження на зносостійкість зразків бронзових втулок шестеренних валів гідравлічних насосів типу НШ

Пара тертя	Вид обробки	Знос колодки, г	Знос ролика, г	Середній знос колодки, г	Середній знос ролика, г
1	Нові втулки	0,0799	0,0586	0,0805	0,05746
2		0,0815	0,0574		
3		0,0803	0,0547		
4		0,0808	0,0581		
5		0,0800	0,0585		
6	Оброблені звичайним деформуванням	0,1035	0,0660	0,09978	0,06728
7		0,1006	0,0671		
8		0,0960	0,0665		
9		0,1008	0,0690		
10		0,0980	0,0678		
11	Оброблені вібраційним деформуванням	0,0872	0,0583	0,08176	0,05802
12		0,0851	0,0576		
13		0,0802	0,0589		
14		0,0807	0,0580		
15		0,0756	0,0573		

Спостерігалось збільшення маси зсунутого шару бронзи при збільшенні поступальної швидкості руху пуансона щодо вібраційної пластичної деформації поверхневого шару бронзової втулки гідравлічного шестеренного насоса. Припуск на подальшу обробку встановлено в межах 0,4 мм.

Графічне відтворення основних результатів експериментальної частини дослідження щодо визначення закономірностей впливу зміни кута конуса робочих поверхонь пуансонів на кількість зсунутої з обробленої пластичним вібраційним деформуванням бронзи містить рис. 8.

З урахуванням отриманих результатів, зазначено: оптимальним кутом робочих конусних поверхонь

сталених пуансонів за вимогою мінімізації маси зсунутої з робочої поверхні втулки бронзи при пластичному у вібраційному деформуванні став кут $\beta = 9^\circ$. Також застосування вібрації в технологіях зміцнення поверхні тертя бронзових втулок гідравлічних шестеренних насосів типу НШ дає змогу до суттєвого зменшення кількості зсунутого бронзового сплаву в порівнянні із застосуванням звичайного пластичного деформування.

Нами виявлено, що оптимальними режимами пластичного вібраційного деформування при зміцненні робочих поверхонь (поверхонь тертя) бронзових втулок шестеренних насосів є: кут нахилу конуса пуансона $\beta = 9^\circ$, припуск на подальшу обробку $\Pi = 0,4$ мм.

Порівняння величини зсунутої бронзи, обробленої вібраційним та звичайним пластичним деформуванням, різнилося у 4,5 рази на користь застосування вібрації.

Наступним етапом експериментального дослідження було оцінювання взаємозалежності між

зусиллями, необхідними для виконання руху пунсона під час вібраційного та звичайного пластичного деформування бронзових втулок гідравлічних насосів з різними параметрами припусків на подальшу механічну обробку зміцнених поверхонь бронзових втулок гідравлічних насосів типу НШ (рис. 9).

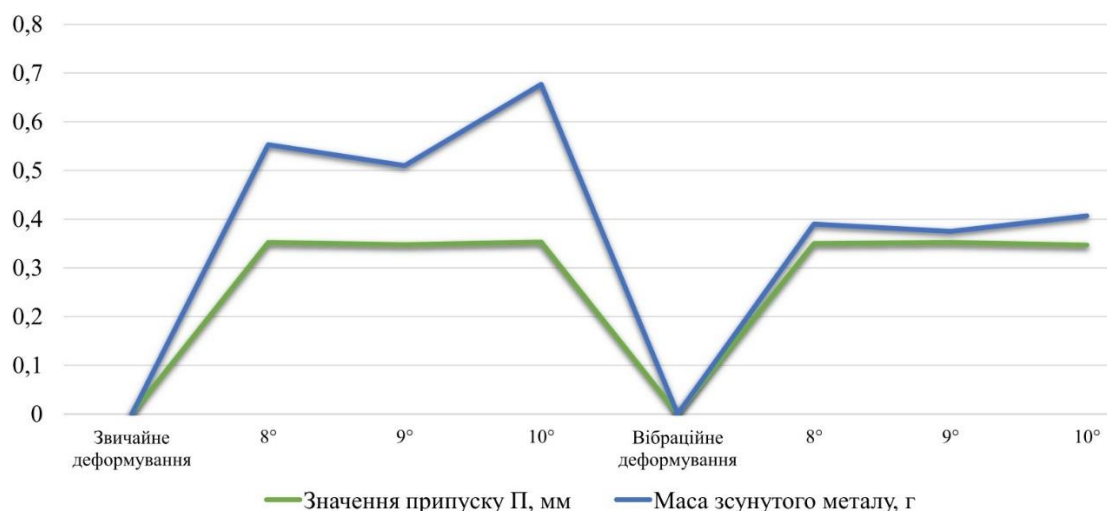


Рис. 8 – Графічне відтворення основних результатів експериментальної частини дослідження щодо визначення закономірностей впливу зміни кута конуса робочих поверхонь пуансонів на кількість зсунутої з обробленої пластичним вібраційним деформуванням бронзи

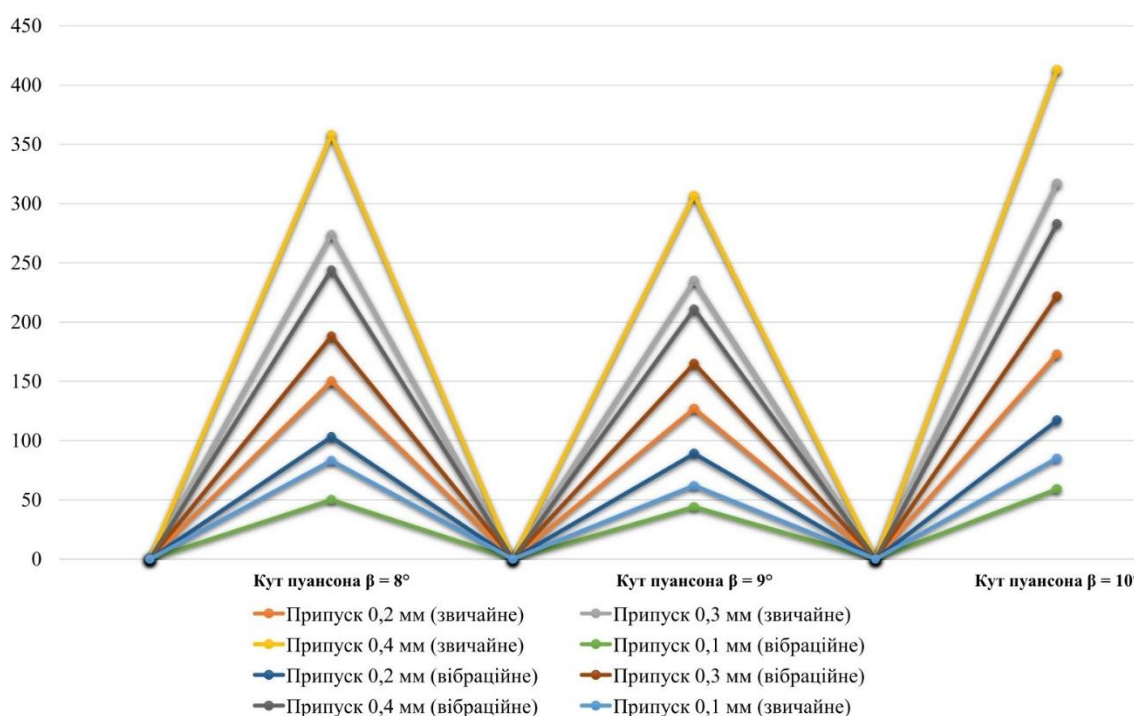


Рис. 9 – Порівняльні графічні залежності впливу на зусилля проходження пуансона при зміцненні поверхонь тертя бронзових втулок гідравлічних насосів типу НШ варіації кутів конуса пуансона та припуску на подальшу обробку зміцнених поверхонь при звичайному та вібраційному деформуванні

Вимірювання кількісних значень зусиль, необхідних для стабільного проходження пуансона при здійсненні звичайного та вібраційного пластичного деформування, здійснювалось за допомогою показників манометра гідравлічного приводу експериментальної вібраційної установки (рис. 5) з подальшим перерахунком.

Основними результатами таких експериментів стали наступні: необхідна сила щодо стабільного проходження пуансона при деформуванні поверхонь тертя зразків втулок гідравлічних насосів, виготовлених із бронзи CuSn5Zn5Pb5, з припуском на подальшу механічну обробку $\Pi = 0,4$ мм, кутом нахилу конусу пуансонів $\beta = 9^\circ$ – відповідно у 4 та 1,44 рази є меншою, за умови порівняння конусів пуансона з кутами нахилу робочих поверхонь $\beta = 8^\circ$ і $\beta = 9^\circ$. Тобто виявлено, що ступінь пластичної деформації бронзи по глибині впливає на додаткове зміцнення приконтактних шарів бронзового сплаву робочої поверхні втулки гідравлічних шестеренних насосів.

При застосуванні додатково вібраційного впливу на зміцнення робочої поверхні тертя бронзової втулки гідравлічного шестеренного насосу, інтенсивність досліджуваних процесів зміцнення шарів бронзи збільшується у рази. Звичайне пластичне деформування щодо кількості зсунутого робочою поверхнею конуса пуансона бронзового сплаву має досить розгалужену зону розсіювання та стохастичну природу експериментальних значень. За умови застосування вібраційних коливань характер досліджуваних описаних процесів стає більш наближеним до пропорційних залежностей.

Умова отримання мінімально можливої масової кількості зсунутого конусом пуансона сплаву бронзи та бронзи, що налипла на такий пуансон, виконується при куті нахилу конуса $\beta = 9^\circ$ як для звичайного, так і для вібраційного пластичного деформування. Закономірності подібних технологічних процесів вібраційного поверхневого зміцнення бронзових втулок гідравлічних насосів типу НШ можливо пояснювати таким чином, що наслідком зменшення кута нахилу робочої поверхні конуса пуансона є збільшення поверхні контакту «бронзова втулка – пуансон». Отже при цьому спостерігаємо збільшення маси бронзи, що налипла на конус пуансона.

Значне збільшення вищезгаданого куту нахилу конуса сталого пуансона призводить до пропорційного зменшення площі контакту «бронзова втулка – пуансон», як наслідок – питомі значення тиску від поверхні пуансона на оброблювану поверхню бронзової втулки також зростають. Останнє також сприяє налипанню часточок бронзового сплаву на конус пуансона.

При застосуванні вібраційного пластичного деформування бронзової втулки гідравлічних насосів, характер, циклічність за знакозмінність руху пуансона відносно оброблюваної поверхні бронзової втулки гідравлічного насосу призводить до зменшення сили тертя поверхні контакту «бронзова втулка – пуансон». Таким чином зменшуються і кількісні показники зсунутого

бронзового сплаву на торець оброблюваної бронзової втулки; пластична деформація у радіальному напрямку при цьому зростає.

Отже, така частина експериментального дослідження дає змогу зробити наступні твердження: використання, з метою зміцнення, пластичного вібраційного деформування робочої поверхні бронзових втулок гідравлічних насосів типу НШ призводить до вирівнювання складових мікроструктури бронзового сплаву в сторону зменшення зернистості останнього; таким чином, застосування вібраційних коливань збільшує ступінь зміцнення поверхневого шару оброблюваної поверхні.

Висновки

1. Низка експериментальних досліджень, що присвячені порівнянню процесів поверхневого пластичного зміцнення втулок гідравлічних насосів типу НШ з метою підвищення якості оброблюваних робочих поверхонь тертя таких втулок, доводять доцільність використання саме вібраційного пластичного деформування.
2. Оптимальним кутом робочих конусних поверхонь сталених пуансонів за вимогою мінімізації маси зсунутої з робочої поверхні втулки бронзи при пластичному вібраційному деформуванні став кут $\beta = 9^\circ$. При цьому маса зсунутого бронзового сплаву, що налипла на робочу поверхню пуансона у випадку застосування вібрації в рази менша у порівнянні зі звичайною обробкою тиском – пластичним деформуванням.
3. Більш рівномірна дрібнозерниста структура бронзового сплаву втулок гідравлічних шестеренних насосів типу НШ, поверхня яких зміцнена вібраційним пластичним деформуванням, призводить до збільшення ресурсу використання спряження підшипників ковзання «шестеренний вал – бронзова втулка» на 10...15%.
4. Отримані результати можуть бути використані для здійснення пластичного вібраційного зміцнення інших бронзових деталей гідравлічних насосів / моторів, наприклад, аксіально-плунжерного чи радіально-плунжерного типу гідростатичної трансмісії.

Перелік використаних джерел

- [1] Hebda A., Łagoda T., Małecka J. Investigating the effects of preliminary overloading and fatigue on the mechanical strength and fractographic characteristics of CuSn7Zn4Pb7 bronze alloy fractures. *Engineering Failure Analysis*. 2024. Vol.163, Part B. Article 108593. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eng-failanal.2024.108593>.
- [2] Improving a Process for Completing a Positive Connection of Hub-Shaft Type Using Combine Methods / Tarelnyk V., Haponova O., Mościcki T., Tarelnyk N. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII: Proceedings of the 7th International Conference*,

- Pilsen, Czech Republic, 4-7 June 2024. Pp. 392-402. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9_34.
- [3] Extra-ductile and strong tin bronze alloy via high-density intragranular ultra-nano precipitation with minimal lattice misfit / K. Chen et al. *Scripta Materialia*. 2023. Vol. 234. Article 115535. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2023.115535>.
- [4] The hot deformation of c83600 tin bronze alloy based on Arrhenius constitutive models / Y. Zeng et al. *Proceedings of the 4th International Conference on Mechanical Engineering, Intelligent Manufacturing and Automation Technology*, Guilin, China, 20-22 October 2023. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3026109>.
- [5] Marquis G. Fatigue strength improvement of steel structures by high-frequency mechanical impact: proposed fatigue assessment guidelines. *Welding in the World*. 2013. № 57(6). Pp. 803-822. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40194-013-0075-x>.
- [6] Effect of vibro-impact strengthening on the fatigue strength of metallic surfaces / M. Djema et al. *Metal*. 2012. № 5. Pp. 23-25.
- [7] Stotsko Z., Kussy J., Topilnytskyj V. Research of vibratory-centrifugal strain hardening on surface quality of cylindric long-sized machine parts. *Journal of Manufacturing and Industrial Engineering*. 2012. Vol. 11. Pp. 15-17.
- [8] Mathematical simulation of motion of working medium at finishing-grinding treatment in the oscillating reservoir / A. Mamalis et al. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014. Vol. 70(1). Pp. 263-276. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5257-6>.
- [9] Effect of the Velocity of Rotation in the Process of Vibration Grinding on the Surface State / K. Hamouda et al. *Materials Science*. 2016. Vol. 52. Pp. 216-221. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-016-9946-9>.
- [10] Gichan V. Active control of the process and results of treatment. *Journal of Vibroengineering*. 2011. Vol. 13, iss. 2. Pp. 371-375.
- [11] Jurcius A., Valiulis A., Kumslytis V. Vibratory stress relieving – It's advantages as an alternative to thermal treatment. *Journal of Vibroengineering*. 2008. Vol. 10(1). Pp. 123-127.
- [12] The Impact of Mechanical Vibration on the Hardening of Metallic Surface / M. Djema et al. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 626. Pp. 90-94. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.626.90>.
- [13] Basics of energy balance of impact contact of metal shot with elastic-plastic half-space / Goryk O., Brykun O., Herashchenko Ye., Tykhonenko V. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. Vol. 27, № 4. Pp. 200-207. DOI: <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.33>.

RESTORATION AND IMPROVEMENT OF ELEMENTS OF HYDRAULIC PUMPS OF THE TYPE «NSH» USING PLASTIC DEFORMATION

Burlaka O.A.	PhD (Engineering), associate professor, Poltava State Agrarian University, Poltava, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2296-7234 , e-mail: oleksii.burlaka@pdau.edu.ua ;
Kelemesh A.O.	PhD (Engineering), associate professor, Poltava State Agrarian University, Poltava, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9429-8570 , e-mail: anton.kelemesh@pdau.edu.ua ;
Liashenko S.V.	PhD (Engineering), associate professor, Poltava State Agrarian University, Poltava, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3227-3738 , e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua ;
Honcharenko O.O.	PhD (Engineering), associate professor, Poltava State Agrarian University, Poltava, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4325-2705 , e-mail: oleksandr.honcharenko@pdau.edu.ua

This article reviews the results of a scientific study on the feasibility of using plastic vibration deformation of the working surfaces of bronze bushings of sliding bearings of hydraulic gear pumps of the "NSh" type. Such hydraulic pumps have become widely used in modern automobile and tractor manufacturing. In the designs of hydraulic gear pumps, there is a tendency to increase the use of non-ferrous metals and multi-component alloys based on such metals as structural materials. The purpose of the study is considered to be the search for optimal modes of technological processes for plastic vibration hardening of the working surface of bronze bushings of sliding bearings of shafts of hydraulic gear pumps of the "NSh" type. The expected results in this case are an increase in the service life and operational reliability of the hardened working surfaces of bronze bushings. The subject of our research was bronze bushings of sliding bearings of gear shafts of hydraulic pumps NSh-32 and NSh-100. The material of the bushings is bronze CuSn5Zn5Pb5. Experimental research on the processing of working surfaces of bronze bushings of sliding bearings of gear shafts of hydraulic pumps was carried out using special punches, which are made taking into account the geometric dimensions of bronze bushings. The material of the punches is tool steel U7. The relevant elements of the proposed technology for manufacturing experimental punches are obtaining, due to the structural material and heat treatment, the hardness of the working surfaces within 55-58 HRC. The main components of the experimental research are aimed at studying the patterns of the influence

of plastic vibration deformation on the friction surface of bronze bushings of hydraulic gear pumps. Vibrational plastic deformation of the working surface layer of bronze is considered as one of the important elements that can be used in the restoration of bronze bushings or the manufacture of new such bushings for sliding bearings of gear hydraulic pumps. The optimal angle of the working conical surfaces of steel punches in accordance with the requirement of minimizing the mass displaced from the working surface of the bronze bushing during plastic vibrational deformation was the angle $\beta = 9^\circ$. The results obtained can be used to implement plastic vibrational strengthening of other bronze parts of hydraulic pumps/motors, for example, axial-plunger or radial-plunger pumps/motors of hydrostatic transmission.

Keywords: hydraulic pump, bronze bushing, vibration deformation, plasticity, wear, wear resistance, recovery, plastic deformation.

References

- [1] A. Hebda, T. Łagoda, and J. Małecka, "Investigating the effects of preliminary overloading and fatigue on the mechanical strength and fractographic characteristics of CuSn7Zn4Pb7 bronze alloy fractures," *Engineering Failure Analysis*, vol.163, part b, article 108593, 2024. doi: [10.1016/j.eng-failanal.2024.108593](https://doi.org/10.1016/j.eng-failanal.2024.108593).
- [2] V. Tarel'nyk, O. Haponova, T. Mościcki, and N. Tarel'nyk, "Improving a Process for Completing a Positive Connection of Hub-Shaft Type Using Combine Methods," in *Proc. of the 7th Int. Conf. «Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII»*, Pilsen, Czech Republic, June 4-7, 2024, pp. 392-402. doi: [10.1007/978-3-031-63720-9_34](https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9_34).
- [3] K. Chen et al., "Extra-ductile and strong tin bronze alloy via high-density intragranular ultra-nano precipitation with minimal lattice misfit," *Scripta Materialia*, vol. 234, article 115535, 2023. doi: [10.1016/j.scriptamat.2023.115535](https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2023.115535).
- [4] Y. Zeng et al., "The hot deformation of c83600 tin bronze alloy based on Arrhenius constitutive models," in *Proceedings of the 4th International Conference on Mechanical Engineering, Intelligent Manufacturing and Automation Technology*, Guilin, China, Oct. 20-22, 2023. doi: [10.1117/12.3026109](https://doi.org/10.1117/12.3026109).
- [5] G. Marquis, "Fatigue strength improvement of steel structures by high-frequency mechanical impact: proposed fatigue assessment guidelines," *Welding in the World*, № 57(6), pp. 803-822, 2013. doi: [10.1007/s40194-013-0075-x](https://doi.org/10.1007/s40194-013-0075-x).
- [6] M. Djema, K. Hamouda, A. Babichev, D. Saidi, and D. Halimi, "Effect of vibro-impact strengthening on the fatigue strength of metallic surfaces," *Metal*, № 5, pp. 23-25, 2012.
- [7] Z. Stotsko, J. Kusyj, and V. Topilnytskyj, "Research of vibratory-centrifugal strain hardening on surface quality of cylindric long-sized machine parts," *Journal of Manufacturing and Industrial Engineering*, vol. 11, pp. 15-17, 2012.
- [8] A.G. Mamalis, A.I. Grabchenko, A.V. Mitsyk, V.A. Fedorovich, and J. Kundrak, "Mathematical simulation of motion of working medium at finishing-grinding treatment in the oscillating reservoir," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 70(1), pp. 263-276, 2014. doi: [10.1007/s00170-013-5257-6](https://doi.org/10.1007/s00170-013-5257-6).
- [9] K. Hamouda, H. Bournine, M.A. Tamarkin, A.P. Babichev, D. Saidi, and H.E. Amrou, "Effect of the Velocity of Rotation in the Process of Vibration Grinding on the Surface State," *Materials Science*, vol. 52, pp. 216-221, 2016. doi: [10.1007/s11003-016-9946-9](https://doi.org/10.1007/s11003-016-9946-9).
- [10] V. Gichan, "Active control of the process and results of treatment," *Journal of Vibroengineering*, vol. 13, iss. 2, Pp. 371-375, 2011.
- [11] A. Jurcius, Valiulis A., and V. Kumslytis, "Vibratory stress relieving – It's advantages as an alternative to thermal treatment," *Journal of Vibroengineering*, vol. 10(1), pp. 123-127, 2008.
- [12] M. Djema, K. Hamouda, A. Babichev, D. Saidi, and D. Halimi, "The Impact of Mechanical Vibration on the Hardening of Metallic Surface," *Advanced Materials Research*, vol. 626, pp. 90-94, 2013. doi: [10.4028/www.scientific.net/AMR.626.90](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.626.90).
- [13] O. Goryk, O. Brykun, Ye. Herashchenko, and V. Tykhonenko, "Basics of energy balance of impact contact of metal shot with elastic-plastic half-space," *Scientific Progress & Innovations*, vol. 27, № 4, pp. 200-207, 2024. doi: [10.31210/spi2024.27.04.33](https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.33).

Стаття надійшла 23.09.2025

Стаття прийнята 15.10.2025

Стаття опублікована 30.10.2025

Цитуйте цю статтю як: Відновлення та удосконалення елементів гідравлічних насосів типу «НШ» за допомогою пластичного деформування / Бурлака О. А., Келемеш А. О., Ляшенко С. В., Гончаренко О. О. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2025. Вип. 51. С. 321-330. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.51.2025.344986>.