

Іванкова О. В., Федін В. О.

*Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

У наш час існує потреба в удосконаленні системи технічного обслуговування агропромислових підприємств. Збільшення ресурсу машин є пріоритетним завданням галузі технічного обслуговування. Розробка прогресивних технологій ремонту техніки є першочерговим завданням для нашої країни.

Досягнення високого рівня надійності та довговічності обладнання можливе тільки через комплексне вирішення завдань галузі технічного обслуговування. Потрібні сучасні високопродуктивні та ресурсозберігаючі технології відновлення ресурсу обладнання, ремонту машин та відновлення зношених деталей.

Використання методів пластичної деформації в процесах виготовлення та ремонту деталей машин дозволяє отримувати високоякісне та ефективне формування. Процеси пластичної деформації при відновленні зношених деталей мають обмежене застосування. Існує потреба в дослідженнях застосування пластичної деформації у відновленні конкретних деталей.

Шестеренні насоси є важливою частиною гідравлічних систем машин. Основні несправності агрегатів гідравлічної системи: падіння в об'ємній ефективності, погіршення керування та порушення регулювань агрегату. Необхідно розробити оптимальну технологію відновлення втулок.

У статті представлено аналіз умов експлуатації шестеренних насосів та характерних дефектів і зносу втулок. Це показує, що зношені втулки можна відновити. Були розроблені робочі інструменти для виконання процесу відновлення зношених втулок.

Обґрунтували режими відновлення втулок та запропонували режим термічної обробки: штучне витримання протягом 6 годин за температури 180°C. Зроблено висновок про можливість використання пластичної деформації для відновлення втулок.

**Ключові слова:** насос, ресурс, спряження, втулка, відновлення, довговічність, зношування, об'єм, пластичне деформування, роздача, осаджування.

### ВСТУП

Велика кількість деталей сільськогосподарської техніки, зокрема, агрегатів гідравлічних систем двигунів внутрішнього згорання, працює в умовах доволі жорстких циклічних навантажень та інтенсивного тертя. Тому, розробка технологічних процесів відновлення розмірів та зміцнення поверхонь саме таких деталей видається одним із важливих шляхів у досягненні високого рівня довговічності деталей [1,2].

Метод пластичного деформування для відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки формує зносостійку поверхневу структуру, практично виключає утворення зони термічного впливу. До того ж має високі економічні та екологічні параметри технологічного процесу.

При розробці процесів пластичного деформування: роздачі або осаджування деталей типу втулок нас цікавить характер деформації при цьому. Важливими є дані про напружено-деформований стан матеріалу деталей (заготовок) та вплив на нього різних параметрів режиму технологічного процесу [8].

Технологічний процес осадження втулок полягає у компенсації зношеного шару матеріалу зменшенням висоти втулки. Тому, при осаджуванні деталей типу втулок особливо важливим є виявлення характеру залежності зміни об'єму втулки від зміни параметрів обробки.

Для дослідження характеру деформації, характеру залежності зміни його від зміни параметрів обробки деталей при здійсненні процесів пластичного деформування можуть використовуватися різноманітні методи: аналітичні, експериментальні, імітаційного моделювання. З точки зору ефективності та точності найкраще зарекомендували себе комбіновані експериментально-розрахункові методи [2,14]. Все вище сказане обумовлює актуальність проведення дослідження характеру залежності зміни об'єму втулки від зміни параметрів обробки при осаджуванні деталей.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Вирішенню завдань підвищення надійності деталей машин присвячена велика кількість робіт видатних вчених. Над дослідженнями відновлення надійності деталей машин працює багато науковців, а також інженерів-практиків. Дослідження базуються на аналізі теоретико-розрахункових досліджень та випробованні результатів на практиці.

Літературні джерела містять дані, які ґрунтуються на результатах теоретичних, експериментальних досліджень і на досвіді експлуатації деталей машин.

У літературних джерелах є велика кількість результатів проведених досліджень по використанню методів пластичного деформування у машинобудуванні. Переважно висвітлюється використання технологій обробки із застосуванням пластичного деформування окремих видів деталей при їх виготовленні. Застосування ж пластичної деформації у галузі технічного сервісу при відновленні деталей машин висвітлено, на нашу думку, недостатньо.

Пластичне деформування можна здійснювати через різноманітні схеми навантаження деталей.

Питання дослідження міцності, пластичності, пошкоджуваності матеріалу під час деформування, оцінки напружено-деформованого стану розглядаються у великій кількості наукових робіт

Над вивченням трибофізичних основ підвищення надійності мобільної сільськогосподарської, автотранспортної техніки та розробкою технологій відновлення працює професор Аулін В.В. [11].

Дослідженнями немонотонної пластичної деформації в процесах обробки металів тиском з метою отримання оцінки напружено-деформованого стану деталей займаються Р. І. Сивак, В. А. Огородніков, Т. Ф. Архіпова [1,12,14,15].

Науковці Матвийчук В. А., Михалевич В. М. у своїх працях досліджували механізм розвитку процесів локального деформування заготовок. Також розробили критерії оцінювання деформованості матеріалу заготовок при прямому і зворотному витискуванні методом штампування обкочуванням металевих зразків [1,2,11].

Визначенням залишкових напружень у пластично деформованих деталях займаються Вахрушева В. С., Малиш О. Д., Грузін Н. В. та інші науковці [13].

Дослідження по зміцненню поверхневим пластичним деформуванням циліндричних довгомірних деталей, зокрема стабілізаторів колісних візків залізничних вагонів проводять Афтаназів І., Шевчук Л., Строган О. [2].

Питаннями підвищення ресурсу зношених деталей типу втулок шляхом вібраційного деформування успішно займаються науковці школи професора Дуднікова А.А. [9,10].

Одним із найменш вивчених питань у теорії та практики використання пластичного деформування залишається вивчення характеру деформації при відновленні.

#### **МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Метою даної роботи є вивчення характеру деформації при відновленні пластичним деформуванням втулок шестеренних шестеренних насосів. Для цього необхідно:

- дослідити умови експлуатації насосів, характерних дефектів і зносів втулок насосів;
- провести аналіз методів відновлення зношених втулок;
- розробити робочі інструменти для деформування втулок;
- розглянути зміцнення при деформуванні втулок;
- обґрунтувати режими відновлення втулок.

#### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Шестеренні насоси є частиною гідравлічних систем машин. Призначення шестеренчастого насосу - нагнітання та перекачування робочих рідин, переважно мінеральних масел. Вони встановлюються у механізмах рульового керування, приводів керування причіпними та навісними знаряддями тракторів, дорожніх та інших машин [3].

Принцип дії: в корпусі насосу ведуча та ведена шестерні, які мають однакові довжини, знаходяться в зачепленні з мінімальним зазором. Бокові стінки корпусу прилягають до торцевих поверхонь цих шестерень. При роботі насоса, рідина, що перекачується, заповнює впадини між зубцями шестерень, переміщується з порожнини всмоктування по внутрішній поверхні корпусу у порожнину нагнітання.

Основними несправностями агрегатів гідросистем є: падіння об'ємного коефіцієнта корисної дії нижче за норму, зазначену в технічних умовах, погіршення управління, наявність граничних зносів деталей, порушення регулювань агрегатів. Основні види зношування деталей гідроагрегатів — абразивний та гідроабразивний. Зношування деталей та старіння гумових ущільнень агрегатів і вузлів веде до виникнення зовнішніх і внутрішніх протікань робочої рідини, через що падає об'ємний коефіцієнт корисної дії [4,7].

Несправності агрегатів гідросистеми виявляють переважно діагностуванням, так як розбирання негативно впливає на герметичність з'єднань, і знижує довговічність агрегатів. Технічний стан

насосів перед ремонтом визначають випробуванням на стендах. Якщо під час випробування коефіцієнт подачі насоса менше 0,65, то насос ремонтують [5, 6].

Шестеренні масляні насоси типу мають зношування стінок колодязів корпусу зі сторони камери всмоктування в з'єднаннях із шестернями, втулками, опорною поверхнею під втулками і поверхнями під ущільнювальною манжетою. Крім того, можуть бути тріщини і раковини на поверхні деталей, а також зрив або зноси різьби під болти кріплення кришок та приєднувальних муфт до корпусу. Основні зноси втулок: знос поверхні торця, яка працює в спряженні з шестернею, знос внутрішньої циліндричної поверхні, знос малої циліндричної поверхні хвостовика втулки, зноси великої циліндричної поверхні і малої торцевої поверхні в спряженні з ущільнювальною манжетою та корпусом.

Нами було проведено дослідження (зокрема, мікрометраж) 10 пар втулок по зносу зовнішньої та торцевої поверхонь. В результаті цього виявили найбільше значення зносу спряження торцевих поверхонь втулки та шестерні. На рисунку 1 приведена діаграма результатів мікрометражу 20 шт. втулок насосів по зовнішньому діаметру. А рисунок 3 - діаграма зносу поверхні торця зношених втулок.

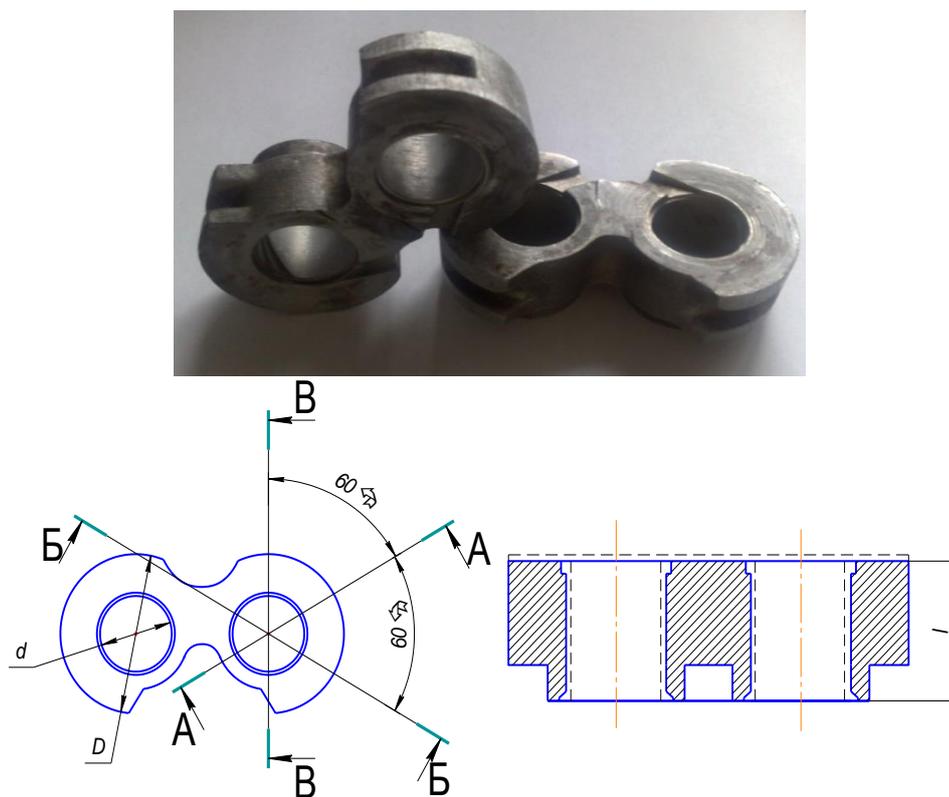


Рисунок 1-Зовнішній вигляд зношених втулок та схема мікрометражу

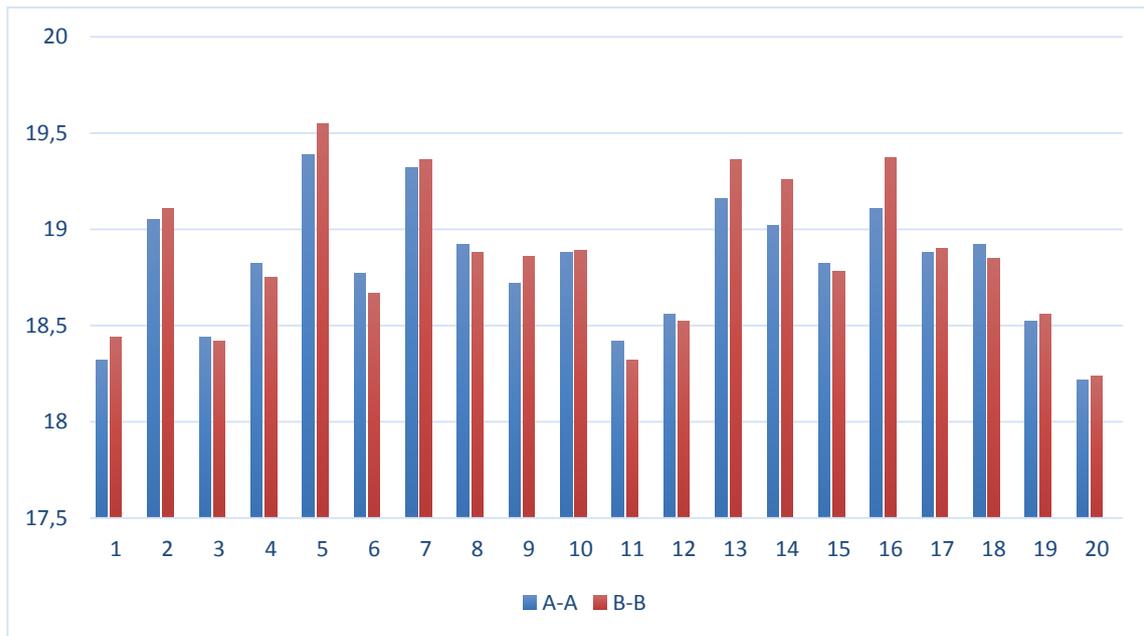


Рисунок 2 – Результати мікрометражу зношених втулок насоса по зовнішньому діаметру

Втулки шестеренного насоса сприймають як абразивне, так і теплове зношування. Тепловий знос є наслідком відносних переміщень спряжених поверхонь з великими швидкостями. Пара тертя при цьому сприймає дію значного питомого навантаження.

При досягненні температури тертя  $300^{\circ}\text{C}$  і вище починається суттєве зниження міцності робочих поверхонь втулок. Тоді теплове зношування характеризується контактним захопленням і пластичним руйнуванням поверхні з налипанням і розмиванням металу на поверхнях тертя.

У разі інтенсивного розвитку зносу з утворенням задириків і натирань алюмінію та налипання м'яких часточок алюмінію на сталі шестірні, зростає коефіцієнт тертя. А це може стати причиною заклинювання і виходу з ладу спряжених деталей

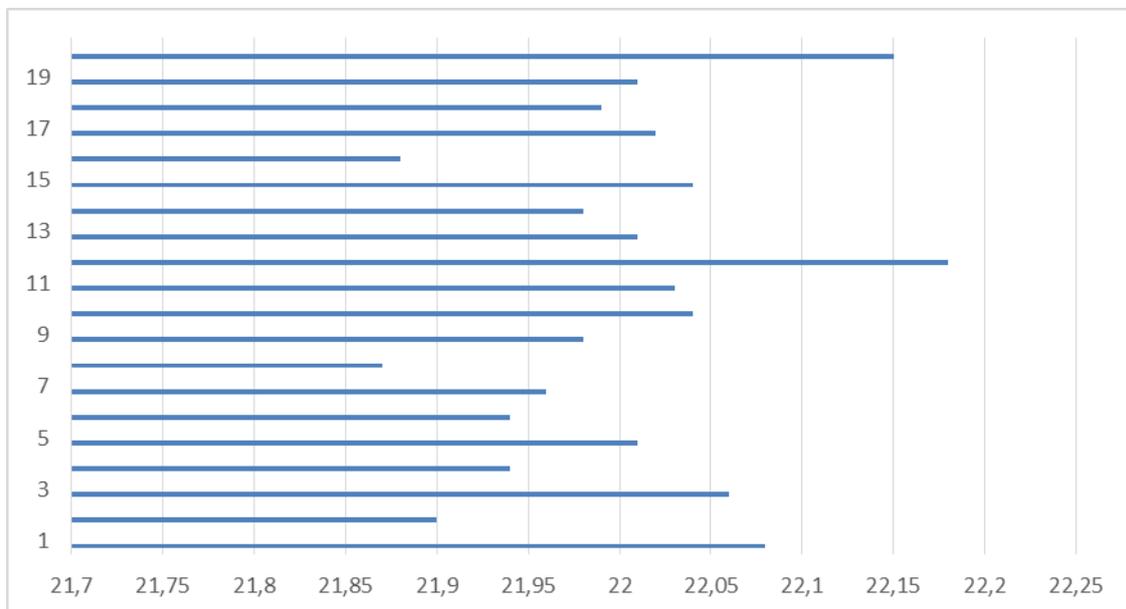


Рисунок 3 – Діаграма зносу поверхні торця зношених втулок

В результаті наших досліджень дійшли до висновку, що середній знос внутрішнього діаметру втулки складає  $0,14 \dots 0,21$  мм, знос зовнішнього діаметра втулки становить  $0,08 \dots 0,16$  мм. Спостерігається конусність зовнішнього діаметра втулок в межах  $-0,02 \dots 0,03$  мм.

Найбільш інтенсивно зношування відбувається у спряженні «торець шестерні - торець втулки», але за умови наявності автокомпенсації торцевих зазорів він не чинить істотного впливу на зниження коефіцієнта подачі насоса.

Якість відновлення втулок мають безпосередній вплив на роботоздатність і довговічність шестерінчастого насоса після ремонту.

Є декілька способів відновлення втулок шестерінчастого насоса: 1- переплавленням, 2 – нарощуванням, 3 - пластичним деформуванням [8,9].

Спосіб відновлення переплавленням втулок з вибракуваних зараз широко використовується, але має недоліки: суттєві витрати енергії та на механічну обробку переплавленої втулки. Під час переплавлення вигорають легуючі елементи алюмінієвого сплаву, в результаті порушується хімічний склад, тому цей спосіб не можемо вважати прогресивним.

Нарощування зношених втулок можна виконати: гальванічними покриттями, покриттям полімерами, мідненням, термодифузійною металізацією, а також методом додаткових ремонтних деталей.

Відновлення деталей методом пластичного деформування ґрунтується на їх здатності змінювати форму і розміри за рахунок перерозподілу металу деталі. Цими методами деталі відновлюють як в холодному, так і в гарячому стані [8,15].

Суть способу осаджування заключається в компенсації зношеного шару матеріалу зменшенням висоти втулки. Висоту втулки можливо відновити або постановкою алюмінієвої шайби, або зменшити висоту колодязів корпусу.

Осаджування втулок проводиться на гідравлічному пресі П474Б при тиску  $P=430...450$  МПа і з витримкою втулки під тиском протягом  $t=2...3$  с. Перед осадженням втулки нагрівають до температури  $T=450...500^{\circ}\text{C}$ , так як алюмінієвий сплав АМО-7-3 (ISO 209-1) при холодній деформації має схильність до розтріскування.

Переваги: порівняна простота виконання і незначні затрати допоміжного металу. Недоліки: потреба у додатковій алюмінієвій шайбі, а також погіршення механічних властивостей поверхонь, що були відновлені.

В процесі осаджування всередині втулки повинен бути циліндричної форми пуансон для обмеження перетікання металу у внутрішню порожнину.

Після осадження внутрішній діаметр втулки повинен бути оброблений спеціальним дорном до потрібного ремонтного розміру. Після цього втулка встановлюється на спеціальну оправку токарно-гвинторізного верстата 1К62, де проточується зовнішня поверхня на до необхідного розміру

Форма і розміри втулок і пластичні властивості металів, із яких вони виготовлені, дозволяють використовувати окремі не робочі поверхні чи спеціально передбачені для запасу металу при відновленні їх методом пластичного деформування. Об'єм металу деталі залишається постійним.

Вивчення характеру деформації при відновленні

Навантаження, які діють на об'єкти, являють собою сили або пари сил (моменти), які можуть розглядатися як зосереджені або розподілені.

Так як у природі зосереджених сил не буває, усі реальні сили - це сили, розподілені за деякою площею або об'ємом. Зосереджені, та розподілені навантаження можуть бути як статичними, так і динамічними.

Закони зміни навантажень у часі може мати дуже складний характер. [12,14].

При обробці металів тиском відбувається значна зміна розмірів деталі, що пояснюється виникненням деформацій. При цьому повна деформація визначається як сума малих деформацій за весь процес деформації.

При відновленні пустотілого зразка деформаційний стан характеризується трьома головними деформаціями: двома деформаціями стиснення в радіальному напрямку і деформацією розтягування в осьовому напрямку. Характерним для даного процесу деформування є рівність деформацій які виникають в радіальному напрямку [12,13].

При розрахунку сумарної деформації по перетину використовується закон постійності об'єму [7,13,14]:

$$V = d_0 \cdot D_0 \cdot l_0 = d_1 \cdot D_1 \cdot l_1, \quad (1)$$

де  $d_0, D_0, l_0$  - відповідно внутрішній, зовнішній діаметр і довжина зразка до деформації;

$d_1, D_1, l_1$  - відповідно внутрішній, зовнішній діаметр і довжина зразка після деформації.

В ході розробки процесу формозміни зразка визначаються загальний (сумарна) ступінь деформації. При цьому точне рішення можна отримати при використанні інтегральних показників ступеня деформацій. Основна перевага цих показників ступеня в тому, що вони пропорційні формозміни окремих обсягів зразка і можуть додаватися, що дозволяє підрахувати загальну ступінь деформації. Логарифмуючи в натуральних логарифми рівняння (1) одержимо:

$$\ln \frac{d_1}{d_0} + \ln \frac{D_1}{D_0} + \ln \frac{l_1}{l_0} = 0, \quad (2)$$

де

$$\ln \frac{d_1}{d_0} = \int_{d_0}^{d_1} \frac{dd}{d} = \varepsilon_1.$$

$$\ln \frac{D_1}{D_0} = \int_{D_0}^{D_1} \frac{dD}{D} = \varepsilon_2.$$

$$\ln \frac{l_1}{l_0} = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = \varepsilon_3.$$

$$\text{Отже } \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0.$$

З рівняння (2) випливає, що інтегральний показник ступеня деформації описує процес формозміни технологічної операції стиснення.

Загальну (сумарну) ступінь деформації по поздовжньому перетину зразка знаходимо з рівняння:

$$\varepsilon_{i\acute{a}} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_i, \quad (3)$$

де  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_i$  - інтегральні ступені деформації окремих переходів.

Максимальний ступінь деформації, для коротких і середніх по довжині втулок (довжина яких не перевищує 1,5 - 2 діаметрів), можна визначити з умови, що осьові стискаючі напруги в не деформованій частині зразка не повинні перевищувати межі пропорційності металу, тобто повинна справджуватися рівність:

$$\sigma_z = \frac{P}{F} \leq \sigma_{d\sigma}, \quad (4)$$

де  $\sigma_z$  - значення осьової напруги;

$\sigma_{d\sigma}$  - межа пропорційності оброблюваного зразка.

При порушенні цієї рівності і зростанні осьової напруги до значення, рівного межі текучості, почнеться обтиснення зразка.

При обробці втулок, довжина яких перевищує 1,5 - 2 зовнішнього діаметра, необхідно враховувати стійкість заготовки. Для цього використовується формула Ейлера, що визначає значення критичної сили для порожнього стержня, який піддається осьовому здавлюванню [16]:

$$P_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \acute{O}}{(k \cdot l)^2}, \quad (5)$$

де  $P_k$  - значення критичної сили, при якій прямолінійна форма рівноваги стержня перестав бути стійкою;

$E$  - модуль пружності;

$\acute{O}$  - момент інерції поперечного перетину стержня;

$k$  - коефіцієнт довжини, що залежить від характеру закріплення кінців стержня;

$l$  - розрахункова довжина стержня (оброблюваної втулки).

У цьому випадку максимальний ступінь деформації визначимо з умови, що зусилля деформації не повинно перевищувати критичної сили  $P_k$ .

Перед початком виконання операції пластичної деформації втулки нагрівають в муфельній електропечі МП-8 до температури 380°C, щоб збільшити пластичні властивості металу з якого вони виготовлені (сплав АМО-3-7 системи Al-Cu-Sn).

#### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Встановлено, що для цього сплаву мінімальна твердість і відповідна їй максимальна пластичність, при яких потрібно робити пластичну деформацію, перебувають в інтервалі температури 450-500 °С.

Пластичне деформування.

Після нагрівання втулок масляних насосів проводиться їх осаджування на пресі. Для цього нагріту втулку поміщають в попередньо підігріту до температури 100-120 °С матрицю. Потім в торці втулки з боку торця шестерні, зібраними в касету пуансонами, видаляють колодязі у вигляді радіатора (рис. 4).

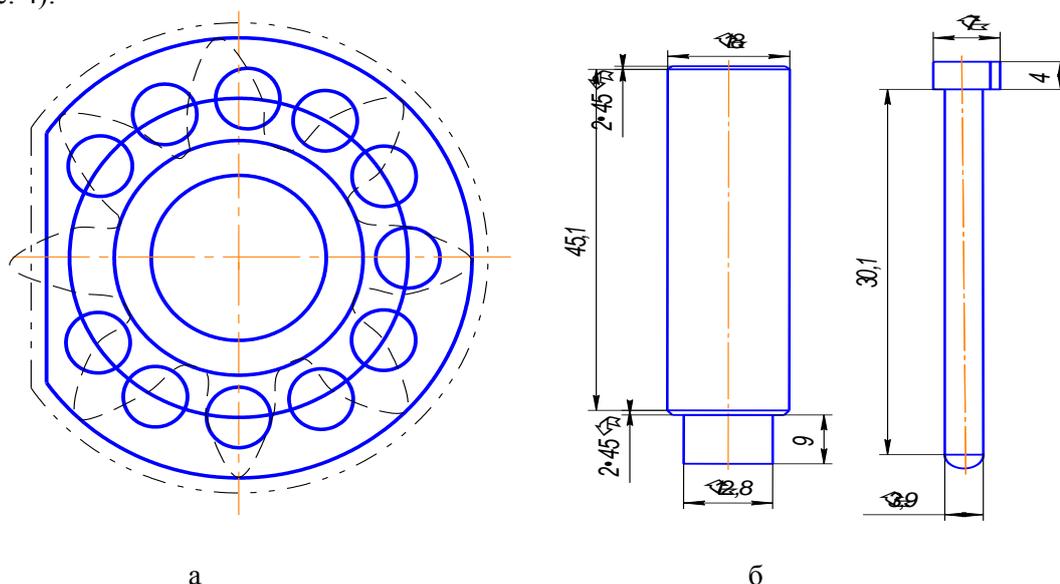


Рисунок 4 – Схема деформування втулки: а - зібрані в касету пуансони, б - пуансон;

Після процесу пластичного деформування проводиться штучне старіння [17] протягом 6 годин при температурі 180°C, чим досягається максимальна твердість матеріалу. Вплив температури старіння на твердість відновлених втулок показано на рис. 5.

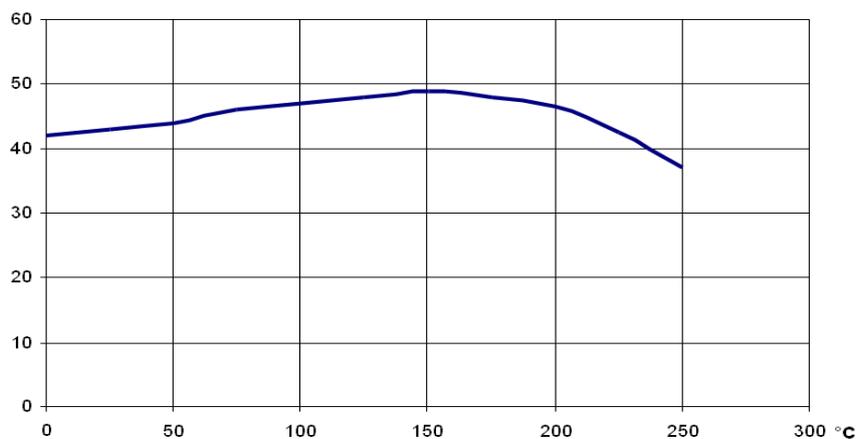


Рисунок 5 – Вплив температури старіння на твердість відновлених втулок

Аналізуючи графік можемо зробити висновок про оптимальні температури витримки (старіння) відновлених втулок: оптимальними є температури від 100 до 200°C.

## ВИСНОВКИ

Отже, статтю ми присвятили аналізу характеру деформації при відновленні пластичним деформуванням втулок шестеренних насосів, в результаті:

1). провели аналіз умов роботи масляних насосів, характерних дефектів і зносів втулок масляних насосів показує, що зношені втулки можуть бути відновлені. Максимальний знос склав 148 мкм.

2). визначили, що найбільш перспективним методом відновлення зношених втулок є пластичне деформування.

3). розробили робочі інструменти для деформування втулок.

4). розглянули вплив зміцнення на фізико-механічні властивості металів: проведеними дослідженнями встановлено що твердість деформованого шару відновленої втулки складає НВ 450 - 550 МПа.

5). обґрунтували режими відновлення втулок: на основі результатів запропонували режим термічної обробки - штучне старіння протягом 6 годин при температурі 180°C, чим досягається максимальна твердість матеріалу.

6). зробили висновок про те, що спосіб пластичної деформації для відновлення втулок масляних насосів на ремонтних підприємствах можна використовувати для підвищення післяремонтного ресурсу насосів.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Матвийчук В.А., Михалевич В. М. Розвиток процесів локального деформування : монографія: Теорія і практика обробки матеріалів тиском. Запоріжжя, вид. АТ «Мотор Січ», 2016. С. 339– 363

2. Афтаназів І.С., Гавриш А.П., Киричок П.О. та ін. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням: Навчальний посібник. Житомир: ЖІТІ, 2001. 516 с.

3. Шестерний насос – призначення і особливості. <https://kammash.com/ua/shesternij-nasos-priznachennya-i-osoblivosti/> (дата звернення: 07.05. 2025).

4. Технологічні особливості ремонту гідросистем тракторів. Щомісячний журнал AGROEXPERT <https://agroexpert.ua/tehnolohichni-osoblyvosti-remontu-hidrosystem-traktoriv/> (дата звернення: 10.05. 2025).

5. Устюянов П.Д., Домуці Д. П. Діагностування гідравлічної системи тракторів. Аграрний вісник причорномор'я. 2016. Вип. 80. С.76-81

6. Павлюк-Мороз, В. А. Стенд для перевірки ресурсу шестеренних насосів / В. А. Павлюк-Мороз, Р. А. Осін, В. Я. Чабанний // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кіровоград: КНТУ, 2008. Вип. 38. С. 97-99

7. Тимчик Г.С., Філіппова М.В., Демченко М.О. Діагностика напружено-деформованого стану металевих конструкцій [монографія] / Г.С. Тимчик, М.В. Філіппова, М.О. Демченко // Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. 168 с.

8. Хітров І.О., Кононогов Ю.А. Відновлення деталей пластичним деформуванням та способи для його здійснення. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки Том 35 (74) № 1 2024. С. 191-196.*

9. Дослідження методів відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки. / Іванкова О.В. та ін. Вісник ПДАА. 2020. № 4. С. 283–292. doi: 10.31210/visnyk 2020.04.36

10. Dudnikov A.A., Ivankova O.V., Gorbenko O.V., Kelemesh A.O. Effect of vibration treatment on increasing the durability of tillage equipment working bodies. Eastern-European journal of enterprise technologies № 2/1 (110), 2021, P. 104-108. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228606.

11. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення: монографія /Аулін В. В. [та ін.] ; за ред. проф. Ауліна В. В. Кропивницький : Лисенко В. Ф. [вид.], 2016. 303 с.

12. Сивак Р. І., Огородніков В. А., Архіпова Т. Ф. Немонотонна пластична деформація в процесах обробки металів тиском: монографія. Вінниця: ВНАУ, 2022. 202 с.

13. Вахрушева В. С., Малиш О. Д., Грузін Н. В. Визначення залишкових напружень у трубах. *Металознавство та термічна обробка металів № 1 (100), 2023. С. 8-13. DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.280323.8.939*

14. Михалевич В. М. Математичні моделі граничних деформацій в залежності від виду напруженого стану / В. М. Михалевич // *Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти : матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції*. Київ ; Херсон, 2018. С. 98–101.
15. Sivak R. Evaluation of metal plasticity and research of the mechanics of pressure treatment processes under complex loading. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. 6/7 (90). P. 34-41.
16. Мельнікова О.Г. Підсумовуюча формула Ейлера та її застосування.//Фізико-математична освіта: Науковий журнал. 2017.Випуск 4 (14). С.225-228.
17. Технічні характеристики алюмінієвих сплавів. <https://alupro.ua/faq-ua/tehnycheskye-harakterystyky-alyumynnyevykh-splavov-kak-vybrat-nayluchshyj-splav-dlya-konkretnogo-proekta> (дата звернення: 09.05. 2025)

#### REFERENCES

1. Matviychuk V.A., Mykhalevych V.M. (2016). Development of local deformation processes: monograph: Theory and practice of pressure processing of materials. Zaporizhzhia, published by JSC "Motor Sich". 339–363.
2. Aftanaziv I.S., Gavrish A.P., Kyrychok P.O. and others. (2001). Increasing the reliability of machine parts by surface plastic deformation: Textbook. Zhytomyr: ZHITI. Gear pump - purpose and features. 516 p.
3. Gear pump – purpose and features. <https://kammash.com/ua/shesternij-nasos-priznachennya-i-osoblivosti/> (access date: 07.05.2025).
4. Technological features of tractor hydraulic system repair. Monthly magazine AGROEXPERT <https://agroexpert.ua/tekhnologichni-osoblyvosti-remontu-hidrosystem-traktoriv/> (access date: 10.05. 2025).
5. Ustyanov P.D., Domuschi D. P. (2016). Diagnostics of the hydraulic system of tractors. Agrarian Bulletin of the Black Sea Region. Issue 80. 76-81.
6. Pavlyuk-Moroz, V. A. (2008). Stand for checking the resource of gear pumps / V. A. Pavlyuk-Moroz, R. A. Osin, V. Ya. Chabannyi // *Design, production and operation of agricultural machines: all-state interdepartmental scientific and technical collection*. Kirovograd: KNTU. Issue 38. 97-99.
7. Tymchyk G.S., Filippova M.V., Demchenko M.O. (2023) Diagnostics of the stress-strain state of metal structures [monograph] / G.S. Tymchyk, M.V. Filippova, M.O. Demchenko // Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Publishing House "Polytechnics". 168.
8. Khitrov I.O., Kononogov Yu.A. (2024) Restoration of parts by plastic deformation and methods for its implementation. *Scientific notes of the V.I. Vernadsky TNU. Series: Technical Sciences Vol. 35 (74) No. 1*. 191-196.
9. Research on methods for restoring worn parts of agricultural machinery. / Ivankova O.V. et al. (2020). *Bulletin of the Ukrainian Agricultural Academy*. No. 4. 283–292.
10. Dudnikov A.A., Ivankova O.V., Gorbenko O.V., Kelemesh A.O. (2021) Effect of vibration treatment on increasing the durability of tillage equipment working bodies. *Eastern-European journal of enterprise technologies № 2/1 (110)*. 104-108.
11. Aulin V. V. (2016). Tribophysical foundations of increasing the reliability of mobile agricultural and motor vehicle equipment using tribotechnical restoration technologies: monograph / edited by Prof. Aulin V. V. Kropyvnytskyi: Lysenko V. F. 303 p.
12. Sivak R. I., Ogorodnikov V. A., Arkhipova T. F. (2022). Nonmonotonic plastic deformation in metal pressure processing processes. Vinnytsia: VNAU. 202 p.
13. Vakhrusheva V. S., Malyshev O. D., Gruzin N. V. (2023) Determination of residual stresses in pipes. *Metallurgy and Heat Treatment of Metals No. 1 (100)*. 8-13.
14. Mykhalevych V. M. (2018) Mathematical models of limit deformations depending on the type of stress state / V. M. Mykhalevych // *Theoretical and practical problems in pressure processing of materials and the quality of professional education: proceedings of the IX International Scientific and Technical Conference*. Kyiv; Kherson. 98–101.
15. Sivak R. (2017). Evaluation of metal plasticity and research of the mechanics of pressure treatment processes under complex loading. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 6/7 (90). 34-41.
16. Melnikova O. G. (2017) Summary of Eulers Formula end Its Application // *Physics and Mathematics Education: Scientific Journal*. Issue 4 (14). 225-228.

17. Technical characteristics of aluminum alloys. <https://alupro.ua/faq-ua/tehnycheskye-harakterystyky-alyumynvevyh-splavov-kak-vybrat-nayluchshyj-splav-dlya-konkretnogo-proekta> (access date: 09.05. 2025)

**O. Ivankova., V. Fedin. Research of parameters of the technology of restoration of parts by plastic deformation**

Nowadays, there is a need to improve the technical maintenance system of agro-industrial enterprises. Increasing the service life of machines is a priority task of the technical maintenance industry. Developing progressive technologies for repairing machinery is a priority task for our country.

Achieving a high level of reliability and durability of equipment is possible only through a comprehensive solution to the tasks of the technical maintenance industry. Modern high-performance and resource-saving technologies for restoring equipment life, repairing machines and restoring worn parts are needed.

The use of plastic deformation methods in the processes of manufacturing and repairing machine parts allows for high-quality and effective shaping. Plastic deformation processes in the restoration of worn parts have limited application. There is a need for research into the application of plastic deformation in the restoration of specific parts.

Gear pumps are an important part of hydraulic systems of machines. The main malfunctions of hydraulic system units are: a drop in volumetric efficiency, deterioration of control, and violations of unit adjustments. Wear of pump bushings leads to a drop in volumetric efficiency, deterioration of control, and violations of unit adjustments. Wear of pump bushings leads to a drop in volumetric efficiency, deterioration of control, and disruption of unit regulation. It is necessary to develop an optimal technology for bushing restoration.

The paper presents an analysis of the operating conditions of oil pumps and the characteristic defects and wear of bushings. It shows that worn bushings can be restored. Working tools have been developed to carry out the process of settling worn bushings.

To carry out the process of sedimentation of worn bushings, working tools were developed. We substantiated the modes of restoration of bushings and proposed a heat treatment mode. Artificial aging for 6 hours at a temperature of 180°C. It was concluded that plastic deformation could be used to restore bushings.

**Keywords:** pump, resource, bushing, recovery, durability, wear, volume, plastic deformation, distribution, sedimentation.

*ІВАНКОВА Олена Володимирівна* – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту Полтавського державного аграрного університету (вул. Г. Сковороди 1/3, Полтава, 36003, Україна, e-mail: [olena.ivankova@pdau.edu.ua](mailto:olena.ivankova@pdau.edu.ua))

*ФЕДІН Віталій Олексійович* – здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії спеціальності 133 Галузеве машинобудування. ОНП Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва Полтавського державного аграрного університету (вул. Г. Сковороди 1/3, Полтава, 36003, Україна)

*Olena IVANKOVA* - Ph.D, Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering and Road Transport Poltava State Agrarian University. 1/3 G. Skovorody St., Poltava, 36003, Ukraine

*Vitaliy FEDIN* – postgraduate, specialty 133 Industrial mechanical engineering educational and scientific program Machinery and means of mechanization of agricultural production. Poltava State Agrarian University. 1/3 G. Skovorody St., Poltava, 36003, Ukraine

Дата надходження статті до видання: 14.10.2025

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 31.10.2025

DOI 10.36910/automash.v2i25.1923