



УДК 621.787

**DETERMINATION OF RESIDUAL INTERNAL STRESSES
OF CYLINDRICAL DETAILS IN THE PROCESS OF THEIR
DISTRIBUTION****ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ ВНУТРІШНІХ НАПРУЖЕНЬ
ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕСІ ЇХ РОЗДАЧІ****Ivankova O.V. / Іванкова О. В.***s. t. s. as. prof / к. т. н., доц.*

ORCID ID (0000-0003-1825-0262)

ResearcherID (Q-6470-2016)

Obshchyy YA. O. / Общій Я. О.**Kisil Yu.Yu. / Кисіль Ю.Ю.****Fedin V.O. / Федін В.О.***Poltava State Agrarian University, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36000, Ukraine**Полтавський державний аграрний університет, Полтава, в. Сковороди 1/3, 36003*

Анотація. Важливою задачею технічного сервісу є підвищення надійності сільськогосподарської техніки.

Вдосконалення ремонтного виробництва потребує впровадження високопродуктивних процесів відновлення зношених деталей машин. Раціональним видається спосіб роздачі зношених деталей сільськогосподарської техніки. Дослідження технологічного процесу роздачі пустотілих деталей включають визначення напруженого стану деталей.

Дослідження по з'ясуванню виду і величини внутрішніх напружень у матеріалі деталей, які були пластично деформовані при відновленні є актуальними. Зроблений аналіз способів визначення залишкових напружень після деформування. Проведені дослідження по визначенню ступеню зміцнення поверхневого шару відновлених деталей.

Рівень залишкових напружень у матеріалі досліджували за методом розточування. Провели дослідження зміни ступеню зміцнення експериментальних сталевих та бронзових зразків-втулок.

Результати свідчать про, що пластичне деформування здатне досягнути значний ступінь зміцнення та властивості поверхневих шарів зразків. Але вплив залишкових внутрішніх напружень має великий вплив. Вивчення цього впливу є надважливим завданням і потребує проведення додаткових досліджень.

Ключові слова: роздача, пластична деформація, внутрішні напруження, ступінь поверхневого зміцнення, поверхневий шар, надійність.

Постановка проблеми.

Сучасні методи зміцнення з використанням прогресивних технологічних процесів дають нам змогу керувати показниками якості поверхневих та приповерхневих шарів матеріалу деталей.

Досягнення високої довговічності можливе формуванням та оптимізацією параметрів поверхонь і приповерхневих шарів, зокрема: мікротвердістю, глибиною і знаком залишкових напружень.

У літературі є цілий ряд досліджень по обґрунтуванню вимог до зміцненого шару деталей [3, 5, 6, 8]. У цих роботах показана необхідність досягнення такого рівня твердості та залишкових напружень по глибині поверхневого шару, який би максимально відповідав експлуатаційним вимогам.

Одним із найбільш ефективних методів підвищення ресурсу деталей машин є зміцнення їх пластичним деформуванням.



Основними характеристиками пластичної деформації є параметри, що характеризують статичну або динамічну схеми деформування.

У технічній літературі, в основному, висвітлюються технології зміцнення пластичним деформуванням окремих типів деталей у машинобудуванні при їх виготовленні. Необхідно зазначити, що використання пластичного деформування у технічному сервісі при відновленні зношених деталей машин описано недостатньо. Отже, процеси пластичного деформування при ремонті деталей машин потребують самостійних досліджень [8]. Найбільшою мірою це стосується досліджень залишкових напружень матеріалу деталей при різних схемах деформування деталей типу втулок.

Мета досліджень. Метою наших досліджень є вивчення впливу залишкових напружень в пустотілих циліндричних деталях в процесі їх роздачі на надійність і довговічність конструкції.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні задачі: проаналізувати способи визначення внутрішніх напружень при деформуванні втулок, провести дослідження напруженого стану деталей при деформуванні конкретних зразків вибрати основні параметри процесу пластичного деформування відновлюваних деталей.

Результати досліджень.

Основні переваги процесу роздачі деталей типу втулок як одного з методів розмірно-зміцнювальної обробки:

- 1) кінематична простота схеми обробки: роздача здійснюється за рахунок осьового переміщення інструменту (пуансона);
- 2) висока продуктивність процесу за рахунок високої швидкості роздачі: 1...30 м/хв.
- 3) необхідний розмір можна отримати за один прохід інструменту, підвищивши точність обробленої втулки в 10-25 разів, що практично неможливо при застосуванні інших методів поверхнево-пластичного деформування (ППД);
- 4) шорсткість обробленої, зміцненої поверхні порівнянна з шорсткістю, що забезпечується на фінішних операціях обробки отворів [6].

До недоліків процесу роздачі втулок відносяться:

- утворення залишкових напружень, сформованих в процесі роздачі;
- зниження точності зовнішніх поверхонь деталей [8].

Роздача деталей типу втулок знижує трудомісткість обробки отворів приблизно в 2-4 рази, зменшує витрату матеріалу; на 15...30%, підвищує довговічність оброблених деталей [2]. Роздача широко використовується при ремонті зношених деталей: штоків гідроциліндрів, поршневих пальців двигунів внутрішнього згоряння, карданних валів, хрестовин та ін.

Під впливом внутрішнього тиску деталей пластично деформується до необхідного розміру. Одночасно відбувається зміцнення металу. Це дає роздачі деталей типу втулок важливу техніко-економічну перевагу над іншими технологічними процесами [3,8]. Тому дослідження внутрішніх напружень в дослідних деталях є вкрай важливим для впровадження розробленої технології у виробництво.



У процесі роздачі відбувається зменшення товщини стінки і довжини заготовки в зоні пластичної деформації, яка охоплює ділянку зі збільшеними поперечними розмірами. При роздачі втулки в центрі деформації виникають і радіальні стискуючі та розтягуючі окружні напруження [2].

Формозміна заготовок оцінюється коефіцієнтом роздачі, показуючи собою відношення найбільшого діаметра деформованої її частини D_p до діаметру заготовки D [1,2]:

$$K_p = \frac{D_p}{D} \quad (1)$$

У нашому випадку зона пластичної деформації охоплює ділянку заготовки зі змінним поперечним перерізом. А циліндрична її частина деформується пружно. Зовнішня частина заготовки не має навантаження від дії деформуючих сил. Зусилля, яке передає пуансон, у разі малої відносної товщини стінки невелике в порівнянні з напруженням текучості. Отже, можна вважати, що напружений стан при роздачі, характерний стискуванням в осьовому і окружному напрямках нормальними напруженнями σ_r і σ_T (рисунок 1).

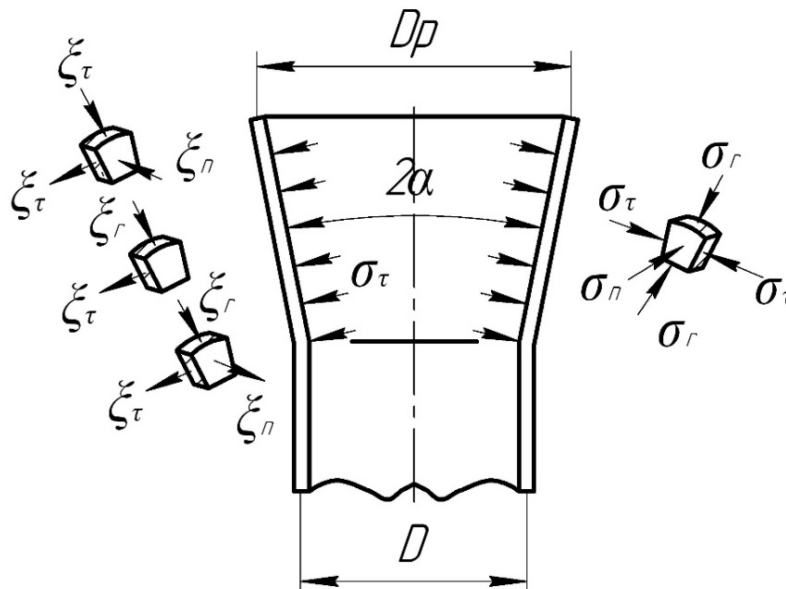


Рисунок 1 - Схеми деформованого і напруженого стану при роздачі

Джерело: [2]

Залишкові внутрішні напруження умовно розділені на макронапруження і мікронапруження. Напруження від зовнішніх навантажень відносяться до макронапружень.

Велика кількість методів оцінки характеру розподілу і визначення величини залишкових напружень в металі деталей, застосовуються сьогодні, зокрема: метод Закса, рентгенівський метод, методи розточування та звільнення, метод отворів, голографічна інтерферометрія, електронна спекл-інтерферометрія [1,2]. Усі вони мають високу точність, але вимагають застосування складного обладнання, дуже високої точності вимірювань і громіздких розрахунків.

Співробітники кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту ПДАУ протягом тривалого часу вивчають застосування пластичної деформації для відновлення зношених деталей з метою підвищення їх довговічності.



Експерименти проводяться з використанням експериментальної установки деформування деталей [7]. Деформування виконували пуансонами з інструментальної вуглецевої сталі твердістю робочої поверхні 62...65 HRC. Пуансони мали різні кути (β) нахилу твірної конуса: 10° , 11° та 12° . Мащення здійснювали мастилом М-10Г2 з додаванням ПАВ – 4.

Результати експериментів після математичної обробки дозволили отримати емпіричні залежності зусилля деформації від величини припуску на обробку, коефіцієнта деформації зразків-втулок по зовнішньому діаметру та значення кута нахилу твірної пуансона.

Якість поверхневого шару деталей оцінювали по мікроструктурі до і після обробки, твердості обробленої поверхні. Ступінь зміцнення матеріалу деталей оцінювали за глибиною деформованого шару. Виконуючи дослідження роздачі циліндричних деталей, нам було важко достовірно оцінити характер розподілу і величини залишкових напружень у матеріалі деталей. Характер розподілу та рівень залишкових напружень у матеріалі досліджували за методом розточування [1,2].

Кожне розточування приводить до зняття залишкових напружень певного знаку проходить зміна величини зовнішнього діаметра та довжини зразка, і в тому перерізі стінки, що залишається, настає новий рівноважний стан. За даними послідовних розточувань у залежності від глибини кожного загартованого шару встановлюємо граничну товщину стінки: 0,6-0,8 мм. [2].

Провели дослідження зміни ступеню зміцнення експериментальних сталей та бронзових зразків-втулок (рисунок 3). Досліджували також зміни шорсткості оброблених зразків в залежності від висоти калібруючого пояса пуансона. Нами також на основі математичної обробки результатів експериментальних досліджень розроблена математична модель залежності ступені деформації ε матеріалу та глибини h зміцнення, з частотою коливань n пуансона і амплітуди A його коливання, твердості HV матеріалу та [8,9]:

$$\varepsilon = 0,325 + 0,004n - 0,347 \frac{HV}{1000} + 0,005 \lg A \quad (2)$$

Джерело: [8]

Результати досліджень залишкових напружень сталеної втулки приводимо у вигляді діаграми (рисунок 2)

На рисунку 3 приводимо зміни ступеню зміцнення експериментальних зразків у залежності від глибини деформованого шару сталей втулок-зразків.

Дослідженнями було встановлено, що характер зміни ступеню зміцнення зразків після поверхневого пластичного деформування насамперед залежить від властивостей матеріалу деталі та режимів обробки. Але, вплив внутрішніх напружень матеріалу на якість відновлених деталей все ще залишається недостатньо дослідженим питанням. Схема дії напружень матеріалу деталі змінюється у процесі пластичної деформації. Залишкові напруження змінюються у процесі пластичного деформування через об'ємні зміни матеріалу деталі. При роздачі циліндричних деталей у центрі деформації виникають розтяжні окружні та стискувачі радіальні напруження металу [10,11].

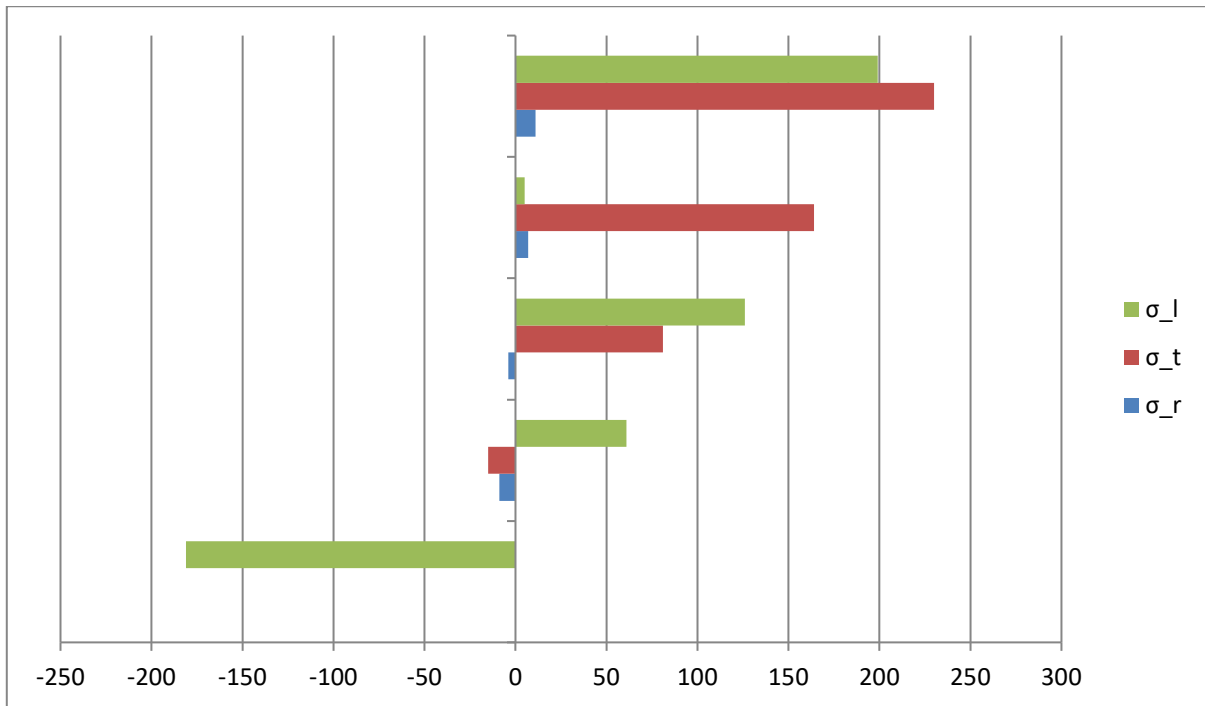


Рисунок 2- Діаграма залишкових напружень сталюго зразка, Мпа: радіальних σ_r , тангенціальних σ_t , осьових σ_l

Авторська розробка

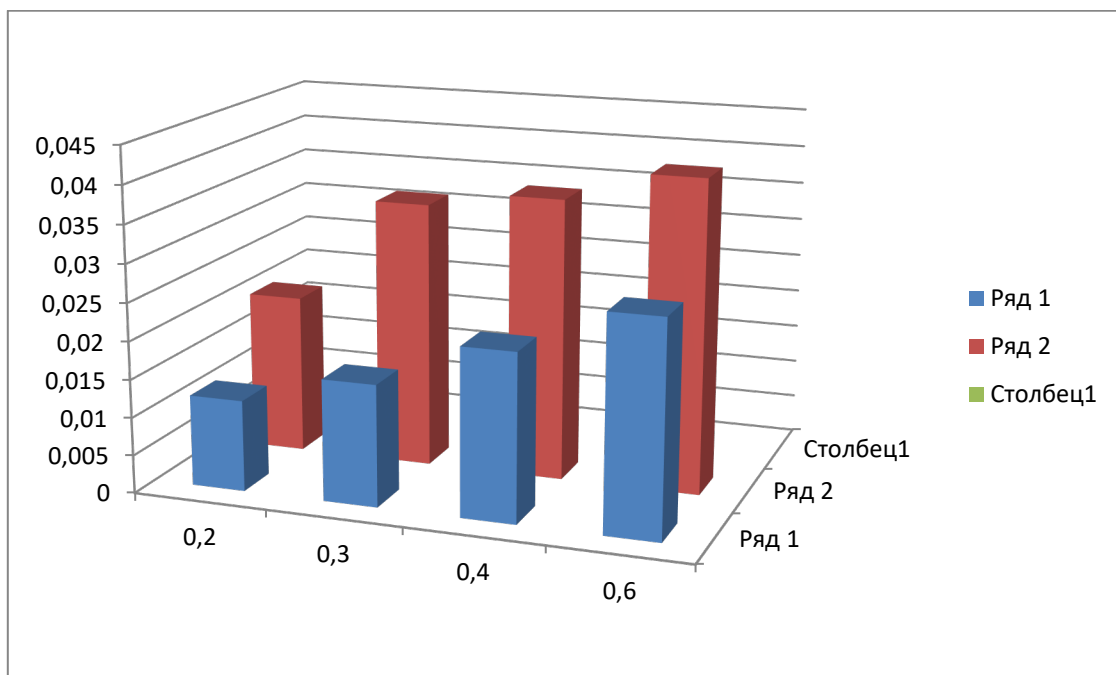


Рисунок 3 - Діаграма зміни ступеню зміцнення експериментальних зразків по глибині деформованого шару

Ряд 1 – сталюні зразки; ряд 2 – бронзові зразки

Авторська розробка

Отже, є позитивні результати досліджень, які вже знайшли застосування у технологіях відновлення при ремонті конкретних деталей автомобілів, тракторів та сільськогосподарських машин.



Величина та схема розміщення залишкових напружень матеріалу впливають на надійність деталі. І для відновлення деталей методом пластичного деформування це надзвичайно важливо. Так як стискуючі залишкові напруження збільшують втомну міцність, розтягуючі залишкові напруження мають негативний вплив, тобто знижують втомну міцність.

Висновки.

Були розглянуті:

- переваги процесу роздачі деталей типу втулок як одного з методів розмірно-зміцнювальної обробки;
- основні характеристики пластичної деформації деталей-втулок;
- способи визначення внутрішніх напружень при деформуванні втулок;
- вплив конструктивних і технологічних параметрів інструментів на показники якості поверхні.

Були отримані:

- ✓ висновок про розподіл залишкових напружень сталю зразка;
- ✓ емпіричні залежності (математична модель) залежності ступені деформації матеріалу та глибини зміцнення, твердості матеріалу;
- ✓ оцінку зміцнення матеріалу деталей за глибиною деформованого шару.

Отже, залишкові внутрішні напруження у матеріалі деталей мають значний вплив на міцність деталей та надійність вузлів і агрегатів. Це також надзвичайно важливо для деталей, відновлених методом пластичного деформування.

Література:

1. Шваб'юк В.І. Опір матеріалів: навчальний посібник. К.: Знання, 2009. 380с.
2. Посвятенко Е.К., Будяк Р.В., Мельник О.В. Фізичні методи вивчення властивостей матеріалів : підручник. К. НТУ, 2019. 184 с.
3. Скобло Т. С., Власовец В. М., Науменко А. О., Дудников И. А. Исследование влияния виброобработки на упрочнение структурных составляющих стали 10. *Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарства імені Петра Василенка*. 2015. Вип. 158. С. 279–287
4. Рибак Т. І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин. Тернопіль: ВАТ«ТВПК», 2003, 332с.
5. Іванкова О. В., Гаращук О. В., Куценко В. І., Щербина В. В., Чижевський Д. В., Бабич Я. В., Тіхонов М. О. Дослідження методів відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки. *Вісник ПДАА*. 2020. № 4. С. 283–292. doi: 10.31210/visnyk2020.04.36
6. Effect of vibration treatment on increasing the durability of tillage equipment working bodies/Anatolii Dudnikov, Olena Ivankova, Oleksandr Gorbenko, Anton Kelemesh// *Eastern-European journal of enterprisetechologies*. 2/1 (110) 2021 С. 104-108. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228606
7. Іванкова О.В. Патент на корисну модель № 59687. «Спосіб відновлення та зміцнення сталюх втулок». 25.05.2011. Бюл. 310. МПК 2011.01 С21Д 1/06



(2006.01) V23R6/00.

8. Дудніков А.А., Дудник В.В., Біловод О.І., Іванкова О.В., Лапенко Т.Г. Зміцнення матеріалу деталей пластичним деформуванням. *Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки»*. Луцьк. 2019. Випуск 66. С.95-97.

9. Дудніков А.А., Іванкова О.В., Бурлака О.А., Канівець О.В., Дудник В.В. Роль поверхневого деформування деталей у підвищенні їх ресурсу. Наукові нотатки. *Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»)*. 2021. № 71. С. 191-195

10. Іванкова, О., В. Бартош, Я. Общій, Ю. Кисіль. «Відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки пластичним деформуванням». *Modern Engineering and Innovative Technologies*, вип. 1, вип. 25-01, Лютий 2023, с. 23-29, doi:10.30890/2567-5273.2023-25-01-073 . <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2023-25-01-073>

11. Іванкова О.В., Бартош В.Ю. Дослідження впливу зміцнюючих технологій відновлення деталей на ресурс машин. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків. РВВ ХНТУСГ. 2019. Вип. 199. С. 54–61.

References

1. Shvab'yuk V. I. Opir materialiv: navchal'nyy posibnyk. K.: Znannya, 2009. 380 s.
2. Posvyatenko E.K., Budyak R.V., Mel'nyk O.V. Fizychni metody vyvchennya vlastyvostey materialiv : pidruchnyk. K. NTU, 2019. 184 s.
3. Skoblo T. S., Vlasovets V. M., Naumenko A. O., Dudnykov Y. A. Yssledovanye vlyyanyya vybroobrotky na uprochnenye strukturnykh sostavlyayushchykh staly 10. Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil's'koho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. 2015.V. 158. S.279–287
4. Rybak T. I. Poshukove konstruyuvannya na bazi optymizatsiyi resursu mobil'nykh sil's'kohospodars'kykh mashyn. Ternopil': VAT«TVPK», 2003, 332s
5. Ivankova O. V., Harashchuk O. V., Kutsenko V. I., Shcherbyna V. V., Chyzhevs'ky D. V., Babych YA. V., Tikhonov M. O. Doslidzhennya metodiv vidnovlennya znoshenykh detaley sil's'kohospodars'koyi tekhniky. Visnyk PDAA. 2020. № 4. S. 283–292.
6. Effect of vibration treatment on increasing the durability of tillage equipment working bodies/Anatolii Dudnikov, Olena Ivankova, Oleksandr Gorbenko, Anton Kelemesh// *Eastern-European journal of enterprisetechnologies*. 2/1 (110) 2021 S. 104-108. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228606
7. Ivankova O.V. Patent na korysnu model' № 59687. «Sposib vidnovlennya ta zmitsnennya stal'nykh vtulok». 25.05.2011. Byul. 310. MPK 2011.01 S21D 1/06 (2006.01) V23R6/00.
8. Dudnikov A.A., Dudnyk V.V., Bilovod O.I., Ivankova O.V., Lapenko T.H. Zmitsnennya materialu detaley plastychnym deformuvannyam. Mizhvuzivs'kyu zbirnyk naukovykh prats' «Naukovi notatky». Luts'k. 2019. Vypusk 66. S.95-97.
9. Dudnykov A.A., Ivankova O.V., Burlaka O.A., Kanivets' O.V., Dudnyk V.V. Rol' poverkhnevoho deformuvannya detaley u pidvyshchenni yikh resursu. Naukovi notatky. Mizhvuzivs'kyu zbirnyk (za haluzyamy znan' «Mashynobuduvannya ta metaloobrobka», «Inzhenerna mekhanika», «Metalurhiya ta materialoznavstvo»). 2021. № 71. S. 191-195
10. Ivankova, O., V. Bartosh, YA. Obshchyy, YU. Kysil'. «Vidnovlennya znoshenykh detaley sil's'kohospodars'koyi tekhniky plastychnym deformuvannyam». *Modern Engineering and Innovative Technologies*, vyp. 1, vyp. 25-01, Lyutyu 2023, s. 23-29, doi:10.30890/2567-5273.2023-25-01-073 .



11. Ivankova O.V., Bartosh V.YU. Doslidzhennya vplyvu zmitsnyuyuchykh tekhnolohiy vidnovlennya detaley na resurs mashyn. Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil's'koho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. Kharkiv. RVV KHNTUS·H. 2019. Vyp. 199. S. 54–61

Abstract. *An important task of the technical service is to increase the reliability of agricultural machinery.*

The improvement of repair production requires the implementation of high-performance processes of restoration of worn machine parts. The method of distribution of worn parts of agricultural machinery seems to be rational. Studies of the technological process of distributing hollow parts include the determination of the stress state of the parts. Research on the determination of the type and magnitude of internal stresses in the material of parts that were plastically deformed during restoration is relevant. An analysis of methods for determining residual stresses after deformation was made. Studies were conducted to determine the degree of strengthening of the surface layer of restored parts. The level of residual stresses in the material was studied by the boring method. The study of changes in the degree of strengthening of experimental steel and bronze bushing samples was carried out. The results show that plastic deformation can achieve a significant degree of strengthening and properties of the surface layers of the samples. But the influence of residual internal stresses has a great influence. Studying this effect is an important task and requires additional research.

Key words: *distribution, plastic deformation, internal stresses, degree of surface hardening, surface layer, reliability.*

Стаття відправлена: 25.05.2024 р.

© Іванкова О.В.