



УДК 621.787

**RESEARCH OF APPLICATION OF SURFACE DEFORMATION
TECHNOLOGY AT RESTORATION OF WEAR DETAILS OF
AGRICULTURAL MACHINERY****ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПОВЕРХНЕВОГО
ДЕФОРМУВАННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ****Ivankova O.V. / Іванкова О. В.***c. t. s. as. prof / к. т. н., доц.*

ORCID ID (0000-0003-1825-0262)

ResearcherID (Q-6470-2016)

Velyt I. A. / Велит І. А.*c. t. s. as. prof / к. т. н., доц.*

ORCID ID (0000-0003-1825-0262)

ResearcherID (Q-6470-2016)

Bartosh V. Yu. / Бартош В. Ю.*Automotor company, 12, Komarova str., Poltava, 36008, Ukraine**Автомоторна компанія, м. Полтава, вул. Комарова, 12, 36008***Obshchyy YA. O. / Общій Я. О.***Poltava State Agrarian Academy, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36000, Ukraine**Полтавська державна аграрна академія, Полтава, в. Сковороди 1/3, 36003*

Анотація. Підвищення довговічності деталей сільськогосподарської техніки є актуальною проблемою сьогодення. Сучасний рівень розвитку галузі технічного сервісу потребує розробки нових технологій відновлення зношених деталей з метою підвищення довговічності машин. У статті проведено аналіз стану проблеми підвищення довговічності деталей сільськогосподарської техніки різними технологічними методами. Розглянуто сучасні способи поверхневого зміцнення деталей. Проведені дослідження по визначенню зусилля деформації, твердості, шорсткості поверхні, залишкових напружень та структури поверхневої зони до і після обробки. Результати показують, що відновлені вібраційним пластичним деформуванням деталі мають вищу зносостійкість і сприяють підвищенню довговічності машин. Поверхнєве пластичне вібраційне деформування це метод, що має широкі технологічні можливості й дозволяє досягати суттєвих результатів.

Ключові слова: технологія, відновлення, пластична деформація, поверхнєве пластичне зміцнення, вібрація, довговічність.

Вступ

Підвищення довговічності деталей сільськогосподарської техніки, тракторів, автомобілів та технологічного обладнання є актуальною проблемою сьогодення. В процесі експлуатації машин та механізмів їх деталі зношуються. Поверхневий шар деталей сучасних машин сприймає теплові, механічні, та інші впливи зовнішнього, часто агресивного середовища. Завдяки чому змінюється структура металу, виникають залишкові внутрішні напруження, змінюється рельєф поверхонь зношування, утворюються та ростуть мікротріщини, відбувається знеміцнення приповерхневої зони. Із зносу та корозії поверхневого шару починається руйнування деталі. Ці явища мають суттєвий вплив на довговічність машин і зумовлюють підвищення вимог до їх надійності [2, 3]. Часткове або повне усунення цих негативних впливів на деталі машин може підвищити зносостійкість, корозійну стійкість та втомну міцність.



Покращання властивостей поверхневих шарів деталей можливе шляхами: вдосконалення конструкції машин та механізмів із застосуванням якісніших матеріалів з високими фізико-механічними властивостями; розробка нових технологій зміцнення поверхонь деталей.

Термін експлуатації сільськогосподарської техніки до капітального ремонту в значній мірі залежить від зносостійкості її деталей та вузлів. Ресурс деталей, які швидко зношуються, визначає термін експлуатації сучасних машин [3, 4]. На обслуговування, ремонт сільськогосподарської техніки та на запасні частини витрачаються значні матеріальні ресурси.

Мета. У зв'язку з цим актуальними є дослідження по виявленню впливу стану поверхневого шару деталей на їх зносостійкість. Актуальним є проведення досліджень по застосуванню сучасних методів підвищення довговічності деталей сільськогосподарської техніки поверхневим зміцненням.

Об'єкт дослідження: технологічний процес відновлення деталей методом пластичного деформування з вібрацією.

Для реалізації мети необхідно:

- провести аналіз відомих методів зміцнення деталей машин;
- вивчити вплив параметрів обробки на результати поверхневої пластичної деформації та оцінити показники зносостійкості та довговічності оброблених деталей;
- виявити технологічні фактори та закономірності їх впливу, що визначають міцність обробленого шару та впливають на його якість.

Виклад основного матеріалу.

У літературі є ряд робіт, що присвячуються дослідженням по підвищенню довговічності деталей сільськогосподарської техніки. Питання поверхневого зміцнення, впливу стану поверхневого шару деталей на їх зносостійкість досліджені у численних працях науковців, зокрема Аніловича В.Я., Войтюка В.Д., Єрмолова Л.С., Молодика М.В., Науменка О.А., Петрова Ю.Н., Черноіванова В.І, Скобло Т.С. та інших. Ними були сформульовані основні вимоги і технологічні основи підвищення довговічності техніки які гарантують отримання заданих властивостей їх поверхонь.

Сучасні можливості управління довговічністю деталей машин при проектуванні, виготовленні, експлуатації та ремонті широкі. В більшості випадків деталі відновлюють при зносі однієї або декількох робочих поверхонь, застосовуючи методи зміцнення поверхонь, зокрема: механічну обробку, пластичну деформацію та інші методи.

Отже, методи поверхневого зміцнення деталей машин є одним із напрямків підвищення довговічності техніки, які гарантують отримання заданих властивостей їх поверхонь.

Використання сучасних методів зміцнення дає змогу оптимізувати параметри поверхні та приповерхневих шарів, зокрема: глибину і напрямок дії залишкових напружень, мікротвердість, шорсткість [2].

Найперспективнішими з них є зміцнення шляхом зміни структури приповерхневого шару. До цих методів належать: фізико-термічна, електрофізична, механічна обробка та наплавка легованим металом [5].



До методів фізико-термічної обробки належать технологічні процеси обробки лазерним променем, струменем плазми та інші. До електрофізичної обробки належать такі процеси, як електроконтактна, електроерозійна та ультразвукова обробка. Технології зміцнення вібрацією, дробоструминне зміцнення, обробка вибухом відносяться до класу механічної обробки [5, 6].

Методи фізико-термічної обробки з використанням теплової енергії дозволяють виконати більшість ремонтних впливів. Найбільш широке застосування в галузі технічного сервісу знайшли технології, які реалізуються шляхом нанесення на зношену поверхню нового шару металу. Це дозволяє відновити розмір до номінального значення. Це такі технології: зварювання, наплавлення, вакуумне, плазмове напилення, електроіскрове нарощування, газотермічні та гальванічні методи [8, 10, 11].

Зварювання і наплавлення пов'язані з істотним нагріванням деталей, що збільшує імовірність виникнення залишкових напружень і зміни фізико-механічних властивостей поверхневих шарів матеріалу деталі та появи мікрodefektів.

Вакуумне напилення передбачає використання дорогого технологічного обладнання і доволі низьку продуктивність процесу. Крім того, і наплавлення і напилення не рідко має недостатню міцність зчеплення покриття з основним металом. Також наплавлення та напилення потребують високої якості підготовки поверхні деталі до здійснення процесу.

Технологія зміцнення поверхонь лазерним променем ґрунтується на локальному нагріванні ділянки поверхні лазерним випромінюванням і охолодження цієї ділянки із високою швидкістю, з тепловідводом у внутрішні шари металу. Проте, цій прогресивній технології притаманні певні недоліки, зокрема висока вартість технологічного обладнання. Однією з найперспективніших є технологія зміцнення поверхонь деталей машин плазмовим струменем, яка успішно розвивається як в нашій країні, так і за кордоном.

Електроіскрове зміцнення використовують для покращання фізико-механічних властивостей поверхонь: підвищення зносостійкості, корозійної стійкості, жаростійкості, тощо. Перевагою електроіскрового зміцнення є можливість управління властивостями покриття шляхом зміни фізичних, хімічних і структурних характеристик матеріалів електродів. Основний недолік електроерозійного зміцнення - обмежена продуктивність процесу.

Технологія гальванічних покриттів (нікелювання, хромування, залізнення) також не є оптимальною для відновлення багатьох деталей машин, так як застосовується для відновлення та зміцнення деталей, які мають незначну величину зносу.

У практиці технічного сервісу останнім часом набув поширення спосіб відновлення деталей методом нанесення газотермічних покриттів, зокрема металізацією, при якому на зношену поверхню може бути нанесений шар завтовшки від 0,03мм до кількох міліметрів. При цьому перегрівання металу не відбувається. Металізацією відновлюють зношені шийки валів, місця посадки підшипників та ін.



Суть процесу зміцнення деталей поверхневою пластичною деформацією (ППД) полягає в деформації мікрогеометрії та заповненні металом мікрозападин робочої поверхні. В результаті підвищується твердість поверхневого шару, виникають сприятливі стискуючі напруження, які сприяють підвищенню втомної міцності та зносостійкості, знижується шорсткість поверхні.

Таким чином, проведений аналіз методів відновлення деталей сільськогосподарської техніки у технічному сервісі показав загальні їх недоліки та проблеми. Отже, враховуючи загальні недоліки способів відновлення, а саме: громіздке технологічне обладнання; значна трудомісткість та висока енергоємність, ми приходимо до висновку про необхідність приділити особливу увагу підвищенню довговічності деталей при їх відновленні з використанням інноваційних технологій. Найперспективнішим напрямом, на нашу думку, є використання вібраційної обробки.

Найбільш поширені способи зміцнення пластичною деформацією при виготовленні та ремонті деталей машин [1, 9, 10]:

- обкатка робочих поверхонь кульками або роликами;
- алмазне вигладжування робочих поверхонь;
- зміцнення наклепуванням;
- обробка струменем з твердими частками;
- ультразвукове зміцнення;
- статико-імпульсна обробка (CIO).

Хоча ці способи не є рівноцінними, але всі вони часто використовуються у виробництві деталей та у галузі технічного сервісу. Відрізняються високою ефективністю, економічністю та доступністю. Застосування поверхневого пластичного деформування дозволяє деформувати їх поверхневий шар із покращеними показниками якості.

У літературних джерелах, переважно, наводяться технології зміцнення деталей машин при їх виготовленні. Необхідно зазначити, що застосування вібраційного пластичного деформування при відновленні зношених деталей висвітлено недостатньо, що вимагає проведення самостійних досліджень [7,12,13].

На кафедрі технологій та засобів механізації аграрного виробництва Полтавської державної аграрної академії проводяться дослідження впливу вібраційних коливань на процес пластичного деформування при роздачі деталей типу втулок. Дослідження направлені на підвищення зносостійкості та довговічності відновлених деталей [9, 15, 16].

Дослідження процесу відновлення зношених деталей пластичним деформуванням із використанням вібрацій проводилися у два етапи. Перший – досліджувалися зразки – втулки, виготовлені зі сталей: Ст. 3, 45, і бронзи БрАЖ9-4. Одна група зразків - втулок без термообробки, а друга група була гартована у мінеральному маслі з наступним відпусканням. Втулки виготовлялися різними розмірами, а саме по зовнішньому діаметру від 13,50 мм до 45,00мм і довжиною 50,00; 75,00 і 100,00 мм.



На другому етапі досліджень деформувалися зношені деталі машин: бронзові втулки рідинних насосів, поршневі пальці автотракторних двигунів, втулки висівних апаратів зернових сівалок.

Деформування (роздача втулок) здійснювалось інструментом - пуансонами, які були виготовленими зі сталі У8, і термооброблені до 58...62 HRC. Пуансони були виготовлені з кутом нахилу твірної конуса пуансона у межах 10° ... 13° .

Деформування здійснювалося на експериментальній установці, що складається з трьох основних вузлів: вібратора ІВ-105, який забезпечує збурюючу силу 9,4...24,5 кН; системи гідравлічного підйому та допоміжного обладнання [14].

Величина деформації при здійсненні технологічного процесу є одним з основних параметрів роздачі і визначається значенням припуску на обробку для компенсації зносу втулок.

Встановлено, що величина зусилля деформації залежить від методу обробки, кута нахилу твірної пуансона і припуску на обробку (рис.1).

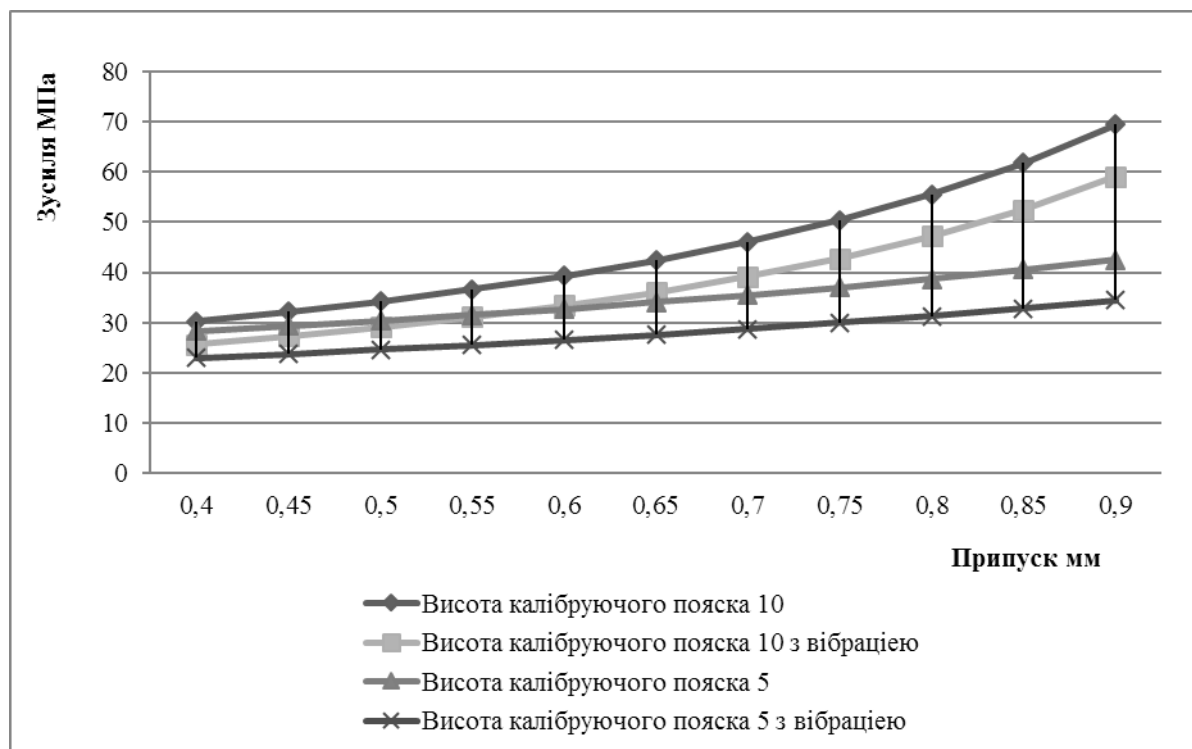


Рис. 1 - Характер зміни зусилля деформування бронзових втулок в залежності від висоти калібруючого пояса пуансона, припуску на обробку і методу деформування.

Авторська розробка

В результаті математичної обробки експериментальних результатів нами були отримані емпіричні залежності зусилля деформування від припуску (II), коефіцієнта деформації втулки по зовнішньому діаметру (K_L) та кута нахилу твірної пуансона ($tg \beta$) для випадків відновлення без вібрації та з вібрацією відповідно (табл. 1).



Таблиця 1

Емпіричні залежності зусилля деформування

Деталь	Зусилля деформування	
	без вібрації	з вібрацією
Втулки ролика КТН-2В	$P = 18,9446(0.4 + \operatorname{tg}\beta) \cdot x + 4,0018$	$P = 70,8258(0.4 + \operatorname{tg}\beta)\bar{I} - 3,4015$
Поршневі пальці СМД-60(62)	$P = K_L [1882(0.4 + \operatorname{tg}\beta)\Pi + 52.2]$	$P = K_L [404(0.4 + \operatorname{tg}\beta)\Pi + 46.6]$
Поршневі пальці КамАЗ	$P = K_L [1078(0.4 + \operatorname{tg}\beta)\Pi + 68,2]$	$P = K_L [417(0.4 + \operatorname{tg}\beta)\Pi + 108,5]$
Поршневі пальці ЗМЗ-405 (406)	$P = K_L [91(0.4 + \operatorname{tg}\beta)\bar{I} + 54,9]$	$P = K_L [124(0.4 + \operatorname{tg}\beta)\Pi + 21,2]$
Втулки рідинних насосів	$P = K_L [(0.7 + \operatorname{tg}\beta)\Pi + 52,2]$	$P = K_L [(0.4 + \operatorname{tg}\beta)\Pi + 42]$

Авторська розробка

Отримані емпіричні залежності з достатнім рівнем точності можуть застосовуватися для визначення зусилля деформування деталей, виготовлених з низько- і середньо вуглецевих та легованих сталей шляхом введення коефіцієнтів пропорційності, відповідно до модулів пружності їх матеріалу.

Якість зміцненого шару оцінювали по показниках: твердість, шорсткість поверхні, залишкові напруження та структура поверхневої зони до і після обробки. Ступінь зміцнення (величину наклепу) матеріалу деталей оцінювали у відповідності до значення твердості HV і мікротвердості H_ц по глибині h. Характер зміни твердості поверхневого шару після поверхневого пластичного деформування залежить від властивостей матеріалу і режимів обробки [16, 17].

Дослідженнями встановлено, що при ідентичних початкових умовах процесу глибина деформованого шару складала при деформуванні без вібрації 550 мкм, а при деформуванні з вібрацією 820 мкм, тобто у 1,49 рази більше.

Шорсткість залежить від припуску на обробку, кута нахилу твірної пуансона, зусилля і швидкості деформування.

Залишкові напруження у матеріалі визначалися методом послідовного видалення шарів матеріалу розточуванням зразків. Цей метод дозволяє визначити характер розподілу та величину тангенціальних (найбільш небезпечних) залишкових напружень по всій товщині стінки деталі.

Після кожного розточування в результаті зняття залишкових напружень певного знаку змінюється зовнішній діаметр і довжини деталі. А у перерізі стінки настає новий рівноважний стан. Глибина кожного розточування складала 0,6-0,8 мм. По даних послідовних розточувань встановлено граничну товщину стінки, при якій розточування припиняли.

На основі проведених досліджень параметрів процесу поверхневого пластичного деформування виявлені технологічні фактори, що визначають міцність обробленого шару та впливають на його якість: кут нахилу твірної пуансона та висота його калібруючого пояса, швидкість деформування, амплітуда та частота коливань пуансона.



Заключення та висновки:

- проведений огляд відомих методів зміцнення деталей машин свідчить, що одним із найефективніших і найекономічніших способів зміцнення є ППД;
- виявлено, що вібраційне деформування має позитивний вплив перебіг пластичної деформації, на структуру та властивості матеріалу, чинить зміцнюючий вплив на поверхню деталей
- виявлені закономірності впливу величини припуску на обробку, параметрів робочого інструменту і деталей, амплітуди коливання на величину зусилля обробки, зокрема, виявлені закономірності зміни зусилля обробки та отримані емпіричні залежності зусилля деформування;
- виявлено, що поверхнєве пластичне деформування матеріалу при відновленні деталей дозволяє підвищити міцність поверхні, що сприяє підвищенню довговічності машин;
- визначено, що поверхнєве пластичне деформування – це один із найперспективніших методів відновлення зношених деталей техніки, який досягати суттєвих результатів при мінімальних витратах енергії. Може знайти використання як у виробництві, так і у галузі технічного сервісу при відновленні деталей машин, схильних до підвищеного зносу.

Можливості вібраційної зміцнювальної обробки на сьогодні повністю не вивчені. А, так як досі не була виконана узагальнююча оцінка поведінки різних конструкційних матеріалів при вібраційному пластичному деформуванні, то доцільним є проведення перспективних досліджень в цьому напрямку.

Література:

1. Баби́чев А. П. Основы ви́брационной технологии. - Ростов н Д.: Издательский центр ДГТУ - 2008. - 694с.
2. Логинов П.К. Способы и технологические процессы восстановления изношенных деталей: учеб. пособие / П.К. Логинов, О.Ю. Ретюнский // Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 217 с.
3. Міцність та надійність машин. [Анілович В. Я., Грінченко О.С., Карабін В.В.] та ін.; за ред. В. Я. Аніловича -К.: Урожай, 1996.-288с.
4. Надійність машин в завданнях та прикладах [Анілович В. Я., Грінченко О.С., Литвиненко В. Л.] та ін.; за ред. В. Я. Аніловича - Харків: Око, 2001.-320с.
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. Surface Hardening of 40KH Steel by Electric-Spark Alloying / S. I. Kryshchtopa, D. Y. Petryna, I. M. Bogatchuk, I. B. Prun'k. // Eastern-European journal of enterprise technologie. – 2017. – С. 40–45. DOI:10.15587/1729-4061.2017.91615
7. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 2002. 300с.
8. Саржанов Б. А. Новый способ повышения качества покрытий при відновленні деталей методом електроерозійного легування / Б. А. Саржанов.



//Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2019. – С. 96–102

9. Substantiation of parameters for the technological process of restoring machine parts by the method of plastic deformation / A. A. Dudnikov, V. V. Dudnik, O. V. Ivankova, O. A. Burlaka. // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2019. – С. 75–80. DOI:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156779>.

10. Афанасьев И. А. Шляхи підвищення післяремонтної надійності турбокомпресорів автотракторних двигунів / И. А. Афанасьев, Є. В. Калганков //Zbior artykułow naukowych. Konferencji Miedzyn arodowej Naukowo Praktycznej. -Warszawa –2016. –С. 6–11

11. Сулима А. М., Шулов В. А., Ягодкин Ю. Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. М. : Машиностроение, 1988. 240с.

12. Афтаназів І.С., Струтинська Л.Р., Клименко О.Д. Ефективність зміцнення зубчастих коліс вібраційно-відцентровою зміцнювальною обробкою //Розвідка та розробка нафтових і газових копалин: Всеукр. щоквартальний наук.-техн. журн. –2003. – № 2 (7). – С. 22–28.

13. Карпов М.Я., Воронин А.А. Вибрационный метод деформирования //Кузнечно-штамповочное производство.- 2000.-№6.- С.3-8.

14. Іванкова О.В. Патент на корисну модель № 59687. «Спосіб відновлення та зміцнення сталених втулок». 25.05.2011. Бюл. 310. МПК 2011.01 С21Д 1/06 (2006.01) В23Р6/00.

15. 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

16. 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.

Abstract. Improving the durability of agricultural machinery parts is an urgent problem today. The current level of development of the technical service industry requires the development of new technologies for the restoration of worn parts in order to increase the durability of machines. The article analyzes the state of the problem of increasing the durability of parts of agricultural machinery by various technological methods. Modern methods of surface hardening of details are considered. Studies have been carried out to determine the deformation force, hardness, surface roughness, residual stresses and surface area structure before and after processing. The results show that the parts restored by vibrational plastic deformation have higher wear resistance and increase the durability of machines. Surface plastic vibration deformation is a method that has a wide range of technological capabilities and allows to achieve significant results.

Key words: technology, restoration, plastic deformation, surface plastic hardening, vibration, durability.

Стаття відправлена 23.03.2021р.

© Іванкова О. В.