Дудніков А. А.
к.т.н., професор

Дудник В. В.
к.т.н., доцент

Горбенко О.В.
к.т.н., доцент

Келемеш А.О.
к.т.н., доцент

Полтавська державна аграрна академія

Dudnikov A.
Dudnik V.
Gorbenko O.
Kelemesh A.

Poltava State Agrarian Academy (PSAA)

УДК 621.43
DOI: 10.37128/2306-8744-2021-1-2

ВІБРАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

В роботі розглянуті питання застосування вібраційних коливань при відновленні робочих органів сільськогосподарських ґрунтообробних машин, що працюють в умовах підвищеного абразивного зношування.

Виконано аналіз існуючих способів їх відновлення, дано обґрунтування використання вібраційної зміцнюючої обробки в ремонтному виробництві.

Проведені дослідження по вибору оптимальних параметрів вібраційного зміцнення ріжучих робочих органів, що сприяють підвищенню зносостійкості і надійності ґрунтообробної техніки.

За результатами досліджень встановлено зміну твердості по глибині поверхневого шару ріжучих елементів наступних сільськогосподарських ґрунтообробних машин: плужних лемішів, дисків сошників зернових сівалок та культиваторних лап.

Експериментально визначено й обґрунтовано оптимальні значення основних параметрів вібраційної обробки ріжучих елементів зазначених робочих органів, що знижують величину їх зносу: амплітуда А і частота коливань обробного інструменту n, час зміцнення t.

Показано зміну величини лінійного зношування по ширині ріжучих елементів зазначених деталей, а також наведені дані інтенсивності їх зношування.

Експериментально отримані дані абсолютного і відносного зносу діаметра і товщини леза дисків сошників, що дозволило вибрати більш ефективну технологію їх відновлення.

За результатами досліджень встановлено, що найменше значення зносу мали зазначені деталі ґрунтообробної техніки відновлені приварюванням шин, пластин або сегментів зі сталі 45 з наступним наплавленням сормайтом і зміцненні вібраційним деформуванням.

Результати роботи будуть використані для розробки технологічних процесів відновлення інших робочих органів ґрунтообробних машин методом вібраційного деформування.

Ключові слова: *параметри вібраційного зміцнення, твердість і мікротвердість, знос поверхні, надійність, ступінь зміцнення.*

Постановка проблеми. Вібраційні технології засновані на використанні коливань, які безпосередньо впливають на об'єкт обробки. Вони суттєво відрізняються від традиційних методів обробки і сприяють розробці чистих ресурсозберігаючих технологій, що відрізняються більш високою інтенсивністю і продуктивністю.

Область використання вібраційних технологій в різних областях діяльності дуже багатогранна і має тенденцію до подальшого розширення.

Застосування зміцнюючих технологій в сільськогосподарському виробництві забезпечує створення запасу надійності технологічного процесу відновлення, так як застосуванням спеціальних операцій досягаються більш високі експлуатаційні властивості деталей сільськогосподарських машин [1].

Тому актуальними є дослідження з розробки зміцнюючих технологій відновлення зношених деталей сільськогосподарських машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При відновленні робочих органів сільськогосподарських машин головне завдання полягає у виборі найбільш ефективного технологічного процесу, що забезпечує високу зносостійкість в процесі експлуатації.

У літературі наводиться ряд способів відновлення ґрунтообробних робочих органів: заточка, гартування, наплавлення сормайтом, газоплазмове наплавлення [2-4] та ін.

Особливий інтерес представляють робочі органи ґрунтообробних машин, технічний стан яких значно впливає на врожайність сільськогосподарських культур. Як правило, вони схильні до інтенсивного абразивного зношування ґрунтом.

При відновленні зазначених деталей необхідно забезпечити їх якість на рівні нових і вище, що може бути досягнуто розробкою і застосуванням прогресивних технологій, що дозволяють значно підвищити якісні показники відновлюваних деталей сільськогосподарських машин [5].

Актуальність теми підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин обумовлена необхідністю розробки і застосуванням ефективних в експлуатації методів відновлення і зміцнення.

Актуальними є дослідження по виявленню режимних параметрів вібраційного деформування і визначення оптимальних параметрів технологічного процесу зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин. Тому, створення і застосування нових технологій зміцнення ріжучих елементів ґрунтообробних машин з використанням вібраційних коливань, є важливим і актуальним для агропромислового комплексу України.

Формування мети досліджень. До числа ефективних методів підвищення ресурсу плужних лемішів, дисків сошників зернових сівалок та культиваторних лап слід віднести технологію відновлення даних робочих органів ґрунтообробних машин з використанням вібраційних коливань. Тому, вельми актуальним являються дослідження по визначенню оптимальних параметрів технологічного процесу вібраційного деформування.

В цьому зв'язку ця технологія може бути віднесена до числа актуальних завдань для підвищення довговічності деталей сільськогосподарських ґрунтообробних машин. Метою досліджень являється визначення і обґрунтування оптимальних значень параметрів вібраційного деформування ріжучих елементів робочих органів ґрунтообробних машин.

Виклад основного матеріалу. Для досягнення поставленої мети в роботі визначено вирішення наступних завдань: виявити особливості зношування робочих органів ґрунтообробних машин; досліджувати вплив вібраційної обробки на характер зміцнення матеріалу зазначених деталей; розробити технологічний процес відновлення їх робочих органів, що забезпечить підвищену довговічність.

Основне завдання при відновленні робочих органів полягає у виборі ефективного технологічного процесу, що дозволяє відновити не тільки задані геометричні параметр, але і забезпечити їх високу зносостійкість.

Аналіз публікацій по відновленню зношених деталей ґрунтообробних машин дозволив виявити основні напрямки досліджень: розробка і використання високоефективних технологічних процесів відновлення зношених поверхонь ріжучих елементів ґрунтообробних машин; підвищення їх надійності шляхом застосування розробленої вібраційної технології зміцнення.

Вибір технології відновлення обґрунтовується з урахуванням характеру дефектів і величини зносу робочих поверхонь ріжучих елементів, їх матеріалу, твердості, точності обробки і собівартості відновлювальних (ремонтних) робіт.

Важливим фактором при виборі технологічного процесу відновлення робочих органів ґрунтообробних машин є визначення параметрів їх обробки, що знижують величину зносу ріжучого елемента.

Статистичну обробку отриманих даних здійснювали за допомогою програми Microsoft Excel.

Зміцнення поверхні дисків сошників, плужних лемішів і культиваторних лап залежить від багатьох факторів, дослідження вплив кожного з яких має високе значення для розробки технологічного процесу їх відновлення.

Були визначені і обґрунтовані три основних параметри вібраційного зміцнення: амплітуда A, частота коливань робочого органу n і час зміцнення t.

На підставі експериментальних досліджень були встановлені оптимальні режими вібраційного зміцнення зазначених деталей (табл. 1).

Таблиця 1

Основні параметри вібраційного зміцнення

Відновлювані деталі	Частота коливань обробного інструмента *n*, $хв^{-1}$	Амплітуда коливань *A*, мм	Час зміцнення *t*, с
1. Плужний леміш	1400	0,5	35
2. Диск сошника сівалки	1400	0,5	20
3. Культиваторна лапа	1400	0,75	30

Дослідження зміни мікротвердості зразків здійснювалися методом Роквелла через 1 мм в різних місцях основного і наплавленого матеріалів для встановлення ступеня зміцнення робочого шару по його перетину (табл. 2).

Таблиця 2

Результати вимірювання мікротвердості

Плужний леміш				Культиваторна лапа			
Глибина шару, мм	0,5	1,5	2,5	Глибина шару, мм	0,5	1,5	2,0
Матеріалу наплавлення				Матеріалу наплавлення			
Мікротвердість, $Н/мм^2$	740	422	306	Мікротвердість, $Н/мм^2$	695	396	328
Матеріалу основи леміша				Матеріалу основи лапи			
Мікротвердість, $Н/мм^2$	619	380	280	Мікротвердість, $Н/мм^2$	617	379	321

Результати вимірювань твердості за глибиною поверхневого шару ріжучого елемента ґрунтообробних машин, відновлених приварюванням пластин зі сталі 45 з наплавленням сормайтом і вібраційних зміцненням наведені на рис. 1.

Як видно з рисунка, зміна твердості за глибиною матеріалу зазначених робочих органів сільськогосподарської техніки носить ідентичний характер.

Твердість матеріалу на поверхні леза становила: культиваторної лапи 77...79 HRC; плужного леміша 73...75 HRC; диска сошника 56...58 HRC. Твердість матеріалу зазначених деталей на глибині 2 мм відповідно склала: 30...31 HRC; 27...28 HRC; 15...16 HRC.

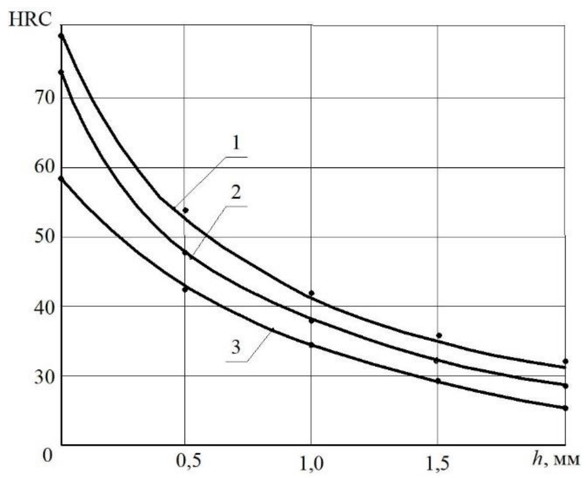

Рис. 1. Зміна твердості за глибиною *h*: 1 – культиваторної лапи; 2 – плужного леміша; 3 – диска сошника зернової сівалки, відновлених приварюванням пластин (сегментів) із сталі 45 з наплавленням сормайтом і вібраційним зміцненням

Результати зношування ширини ріжучої кромки плужного леміша представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Зміна зносу по ширині ріжучої кромки леміша

Варіант леміша	$\frac{\text{Знос по ширині, мм}}{\text{Інтенсивність зношування, мм/год}}$			
	6 год.	12 год.	18 год.	24 год.
1. Новий із сталі 65 без зміцнення	$\frac{0{,}50}{0{,}083}$	$\frac{0{,}94}{0{,}078}$	$\frac{1{,}27}{0{,}070}$	$\frac{1{,}62}{0{,}067}$
2. Відновлені приварюванням шин із сталі 45 с наплавленням сормайтом і вібраційним зміцненням	$\frac{0{,}26}{0{,}043}$	$\frac{0{,}57}{0{,}047}$	$\frac{0{,}62}{0{,}034}$	$\frac{0{,}84}{0{,}035}$

Аналіз отриманих даних свідчить, що знос по ширині робочого елемента зростає зі збільшенням часу роботи, що перш за все, залежить від виду обробки, матеріалу і технологічних режимів зміцнення.

Для лемішів зі сталі 65, відновлених приварюванням шин зі сталі 45 з наплавленням сормайтом і вібраційним зміцненням, величина зносу після 6 год роботи в 1,9 рази менше в порівнянні з новими зразками зі сталі 65 Г.

Зменшення величини зносу лемішів, підданих вібраційній обробці їх ріжучих елементів, можна пояснити зміцненням (ущільненням) металу внаслідок зміни його структури при вібраційному навантаженні.

Визначення величини зносу лез і носків культиваторних лап проводили через кожні 6 год напрацювання. Глибина обробітку ґрунту склала 12-17 см, а швидкість руху 2,2 м/с. Вологість суміші в ґрунтовому каналі коливалася в межах 10-12 %.

Результати змін конструктивних параметрів експериментальних лап наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Зміна лінійного зносу по ширині ріжучого елемента лап

Варіант культиваторної лапи	$\frac{\text{Знос по ширині, мм}}{\text{Інтенсивність зношування, мм/год}}$			
	6 год.	12 год.	18 год.	24 год.
1. Нові із сталі 65 Г	$\frac{1{,}52}{0{,}253}$	$\frac{3{,}02}{0{,}252}$	$\frac{4{,}58}{0{,}254}$	$\frac{6{,}05}{0{,}252}$
2. Відновлені приварюванням кутових пластин сталі 45, наплавленням сормайтом і вібраційним зміцненням	$\frac{1{,}16}{0{,}193}$	$\frac{2{,}31}{0{,}193}$	$\frac{3{,}48}{0{,}194}$	$\frac{4{,}63}{0{,}193}$

Експериментальні дослідження показали, що для лап, відновлених приварюванням кутових пластин зі сталі 45, наплавленням сормайтом і вібраційним зміцненням за вказаний термін роботи величина лінійного зносу в 1,3 рази менше в порівнянні з новими зразками.

Визначення товщини різальної кромки дисків сівалки здійснювали за методикою Рабіновича [6].

Дослідженню піддавалися нові диски зі сталі 65 Г діаметром 300, 350 і 400 мм, а також диск зазначених розмірів, відновлених приварюванням сегментів зі сталі 45 з наплавленням сормайтом і вібраційним зміцненням.

Методикою дослідження було передбачено наступні варіанти дисків (табл. 5):

1, 2, 3 – нові диски зі сталі 65 Г з віброзміцненням робочої поверхні;

4, 5, 6 – відновлені приварюванням сегментів зі сталі 45 з наплавленням сормайтом і вібраційним зміцненням.

Стендовими випробуваннями було встановлено, що для всіх варіантів дисків найменшу величину зносу мали диски діаметром 350 мм. Для всіх варіантів дисків середня величина зносу їх діаметра 350 мм в 1,12 і 1,22 рази менше, ніж дисків діаметром 300 і 400 мм.

Зміна товщини леза діаметром 350 мм мало менше значення відповідно в 1,12 і 1,19 рази.

Таблиця 5

Дані зносу дисків сошників при стендових випробуваннях

Номер варіанта	Знос діаметра *D*		Знос товщини леза α	
	Абсолютний знос, мм	Відносний знос, мм	Абсолютна зміна товщини, мм	Відносна зміна товщини, мм
1	0,25	0,0008	0,31	0,102
2	0,24	0,0006	0,22	0,087
3	0,28	0,0007	0,29	0,112
4	0,30	0,0010	0,27	0,110
5	0,24	0,0007	0,26	0,103
6	0,33	0,0008	0,29	0,116

Проведені стендові випробування дозволили визначити оптимальні значення діаметра і товщини леза диска сошника, а також вибрати більш ефективний технологічний процес його відновлення.

Висновки. Аналіз даних, отриманих при стендових випробуваннях, дозволяє зробити висновок, що зносостійкість, а отже, і ресурс досліджуваних деталей залежить як від їх параметрів, так і в значній мірі від способу відновлення, а також від поєднання основного і наплавленого матеріалу.

Список використаних джерел

1. Дудник В.В., Беловод О.І., Дудніков І.А., Канівець О.В. До питання зносостійкості відновлених робочих органів сільськогосподарських машин. *Наукові нотатки.* 2011. Вип. 31. С. 33-36.

2. Беликов И.А. Повышение долговечности рабочих органов плуга керамическими материалами: автореф. дис. на получение наук. степени к-да. техн. наук: 05.20.03. Москва, 2002. 20 с.

3. Пасюта А.Г. Определения Характера износа режущих элементов почвообрабатывающих машин. *Технологический аудит и резервы производства*. 2014. № 6/1 (20). С. 8-11.

4. Канівець О.В. Вплив методу зміцнення на напружений стан оброблюваної поверхні. *Земля України – потенціал енергетичної та екологічної безпеки держави*. Вінниця: ВНАУ, 2011. С. 35-41.

5. Проблеми реалізації технічної політики в агропромисловому комплексі / за ред. Я.К. Білоуська. Київ: ННУ «ІАЕ», 2007. 215 с.

6. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. Москва: Машиностроение, 1995. 311 с.

Reference

1. Dudnyk V. V., Belovod O. I., Dudnikov I. A., Kanivets' O. V. (2011). Do pytannya znosostiykosti vidnovlenykh robochykh orhaniv sil's'kohospodars'kykh mashyn. *Naukovi notatky*. 31. 33-36. [In Ukrainian]

2. Belikov I. A. (2002). Povysheniye dolgovechnosti rabochikh organov pluga keramicheskimi materialami [Increasing the durability of the plow working bodies with ceramic materials]. Extended abstract of candidate's thesis. Moskva. [In Russian]

3. Pasyuta A. G. (2014). Opredeleniya kharaktera iznosa rezhushchikh elementov pochvoobrabatyvayushchikh mashin. *Tekhnologicheskiy audit i rezervy proizvodstva*. 6/1 (20). 8-11. [In Russian]

4. Kanivets' O. V. (2011). Vplyv metodu zmitsnennya na napruzhenyy stan obroblyuvanoyi poverkhni. *Zemlya Ukrayiny – potentsial enerhetychnoyi ta ekolohichnoyi bezpeky derzhavy*. (pp. 35-41) Vinnytsya: VNAU. [In Ukrainian]

5. Bilous'ka Ya. K. (Ed.) (2007). Problemy realizatsiyi tekhnichnoyi polityky v ahropromyslovomu kompleksi. Kyyiv: NNU «IAE». [In Ukrainian]

6. Reznik N.Ye. (1995). Teoriya rezaniya lezviyem i osnovy rascheta rezhushchikh apparatov. Moskva: Mashinostroyeniye. [In Russian]

ВИБРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

В работе рассмотрены вопросы применения вибрационных колебаний при восстановлении рабочих органов сельскохозяйственных почвообрабатывающих машин, работающих в условиях повышенного абразивного износа.

Выполнен анализ существующих способов их восстановления, дано обоснование использования вибрационной упрочняющей обработки в ремонтном производстве.

Проведенные исследования по выбору оптимальных параметров вибрационного укрепления режущих рабочих органов, способствуют повышению износостойкости и надежности почвообрабатывающей техники.

По результатам исследований установлено изменение твердости по глубине поверхностного слоя режущих элементов, следующих сельскохозяйственных почвообрабатывающих машин: плужных лемех, дисков сошников зерновых сеялок и культиваторных лап.

Экспериментально определены и обоснованы оптимальные значения основных параметров вибрационной обработки режущих элементов указанных рабочих органов, что снижают величину их износа: амплитуда А и частота колебаний обрабатывающего инструмента n, время упрочнения t.

Показано изменение величины линейного износа по ширине режущих элементов указанных деталей, а также приведены данные интенсивности их износа.

Экспериментально полученные данные абсолютного и относительного износа диаметра и толщины лезвия дисков сошников, что позволило выбрать более эффективную технологию их восстановления.

По результатам исследований установлено, что наименьшее значение износа имели указанные детали почвообрабатывающей техники восстановлены приваркой шин, пластин или сегментов из стали 45 с последующей наплавкой сормайтом и упрочненные вибрационным деформированием.

Результаты работы будут использованы для разработки технологических процессов восстановления других рабочих органов почвообрабатывающих машин методом вибрационного деформирования.

Ключевые слова: *параметры вибрационного упрочнения, твердость и микротвердость, износ поверхности, надежность, степень упрочнения.*

VIBRATION TECHNOLOGIES IN THE RESTORATION OF THE WORKING BODIES OF AGRICULTURAL MACHINES

The paper deals with the use of vibration vibrations in the restoration of the working bodies of agricultural tillage machines operating under conditions of increased abrasive wear.

The analysis of the existing methods of their restoration is carried out, the substantiation of the use of vibration hardening treatment in repair production is given.

The research carried out on the choice of the optimal parameters of vibration strengthening of the cutting working bodies contributes to an increase in the wear resistance and reliability of soil cultivation equipment.

According to the research results, the change in hardness along the depth of the surface layer of cutting elements of the following agricultural tillage machines: plow shares, opener discs of grain seeders and cultivator paws was established.

Optimal values of the main parameters of vibration processing of cutting elements of the specified working bodies are experimentally determined and substantiated, which reduce the amount of their wear: amplitude A and vibration frequency of the processing tool n, hardening time t.

The change in the magnitude of linear wear along the width of the cutting elements of these parts is shown, as well as data on the intensity of their wear.

Experimentally obtained data on the absolute and relative wear of the diameter and thickness of the blade of the opener discs, which made it possible to choose a more efficient technology for their restoration.

According to the research results, it was found that the specified parts of soil cultivation equipment had the least wear value; they were restored by welding tires, plates or segments from steel 45, followed by surfacing with sormite and strengthened by vibration deformation.

The results of the work will be used to develop technological processes for the restoration of other working bodies of tillage machines by the method of vibration deformation.

Keywords: *parameters of vibration hardening, hardness and microhardness, surface wear, reliability, degree of hardening.*

Відомості про авторів

Дудніков Анатолій Андрійович – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри технології та засоби механізації аграрного виробництва Полтавської державної аграрної академії (вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, e-mail: anatolii.dudnikov@pdaa.edu.ua)
Дудников Анатолий Андреевич – кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры технологии и средства механизации аграрного производства Полтавской государственной аграрной академии (ул. Сковороды, 1/3, г. Полтава, 36003, e-mail: anatolii.dudnikov@pdaa.edu.ua)

Dudnikov Anatoly – Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology and Means of Mechanization of Agricultural Production of the Poltava State Agrarian Academy (1/3 Skovoroda St., Poltava, 36003, e-mail: anatolii.dudnikov@pdaa.edu.ua)

Дудник Володимир Васильович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності Полтавської державної аграрної академії (вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, e-mail: volodymyr.dudnyk@pdaa.edu.ua)

Дудник Владимир Васильевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Полтавской государственной аграрной академии (ул. Сковороды, 1/3, г. Полтава, 36003, e-mail: volodymyr.dudnyk@pdaa.edu.ua)

Dudnyk Volodymyr – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Life Safety of Poltava State Agrarian Academy (1/3 Skovoroda St., Poltava, 36003, e-mail: volodymyr.dudnyk@pdaa.edu.ua)

Горбенко Олександр Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технології та засоби механізації аграрного виробництва Полтавської державної аграрної академії (вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, e-mail: oleksandr.gorbenko@pdaa.edu.ua)

Горбенко Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и средств механизации аграрного производства Полтавской государственной аграрной академии (ул. Сковороды, 1/3, г. Полтава, 36003, e-mail: oleksandr.gorbenko@pdaa.edu.ua)

Gorbenko Oleksandr – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technology and Means of Mechanization of Agricultural Production of Agricultural Production of Poltava State Agrarian Academy (1/3 Skovoroda St., Poltava, 36003, e-mail: oleksandr.gorbenko@pdaa.edu.ua)

Келемеш Антон Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології та засоби механізації аграрного виробництва Полтавської державної аграрної академії (вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, e-mail: anton.kelemesh@pdaa.edu.ua)

Келемеш Антон Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и средства механизации аграрного производства Полтавской государственной аграрной академии (ул. Сковороды, 1/3, г. Полтава, 36003, e-mail: anton.kelemesh@pdaa.edu.ua)

Kelemesh Anton – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology and Means of Mechanization of Agricultural Production of Poltava State Agrarian Academy (1/3 Skovoroda St., Poltava, 36003, e-mail: anton.kelemesh@pdaa.edu.ua)