

УДК 621.43

А.А. Дудніков, В.В. Дудник, О.В. Канівець, О.У. Дрожжана*Полтавська державна аграрна академія***ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ВІБРАЦІЙНИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ***Розглянуто способи підвищення зносостійкості дисків сошників зернових сіялок за рахунок зміцнення їх матеріалу вібраційним деформуванням**Ключові слова: поверхневий шар, зносостійкість, вібраційне зміцнення, ступінь зміцнення, довговічність***А.А. Дудников, В.В. Дудник, О.В. Канивец, О.У. Дрожжаная***Полтавская государственная аграрная академия***УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ВИБРАЦИОННЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ***Рассмотрены способы повышения износостойкости дисков сошников зерновых сеялок за счет упрочнения их материала вибрационным деформированием.**Ключевые слова: поверхностный слой, износостойкость, вибрационное упрочнение, степень упрочнения, долговечность.***A. Dudnikov, V. Dudnyk, V. Kanivets, O. Drozhchana***Poltava State Agrarian Academy***STRENGTHENING DETAILS BY VIBRAND PLASTIC DEFORMATION***Ways to improve the wear resistance of the disks of the openers of grain seeders due to the hardening of their material by vibration deformation are considered.**Keywords: surface layer, wear resistance, vibration hardening, degree of hardening, durability.*

Постановка проблеми. При експлуатації машин існує проблема виходу з ладу деталей внаслідок зношування зовнішніх поверхонь. Тому при їх відновленні для отримання належної якості ремонту необхідно все більшу увагу звертати на зміцнення поверхневого шару.

Можливість створення поверхневого шару з рівномірним зміцненням, а також формування поверхневим пластичним деформуванням (ППД) твердості оброблюваного матеріалу і зміцнюючих залишкових напружень стиску до цього часу залишається не повністю реалізованою.

Забезпечити цю можливість можна регулюванням режимів обробки і, відповідно, показниками якості поверхневого шару матеріалу деталей за рахунок динамічного навантаження.

Проблемність успішного використання динамічних методів ППД полягає в регулюванні показників якості поверхневого шару. Керування процесом динамічного деформування оброблюваної поверхні деталей дозволить підвищити коефіцієнт корисної дії процесу і збільшити точність регулювання отриманих показників якості по глибині матеріалу.

Тому, розробка зміцнюючих технологій, які сприяють підвищенню ресурсу сільськогосподарських машин, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведено ряд досліджень [1, 2, 3] по обґрунтуванню вимог до зміцненого шару. У роботах вказано на необхідність отримання твердості і залишкових напружень по глибині поверхневого шару, що максимально відповідають експлуатаційним вимогам.

Перспективи створення поверхневого шару з рівномірним зміцненням засобами поверхневого пластичного деформування, а також формування твердості матеріалу і залишкових напружень до нашого часу залишаються не до кінця реалізованими. Здійснити дані можливості можна за рахунок регулювання режимів обробки і показників якості поверхневого шару [4].

Так як енергія удару, що витрачається на пластичну деформацію, має менші значення у порівнянні із статичною роботою, то для отримання зміцненого поверхневого шару із більшим зміцненням і глибиною, на нашу думку, доцільніше досліджувати ППД із динамічними навантаженнями [5].

Необхідно відмітити, що в літературі недостатньо розкриті питання застосування поверхневого пластичного деформування в ремонтному виробництві при відновленні робочих органів ґрунтообробних машин, що надають можливості проведення самостійних досліджень [6].

Постановка завдань. Метою роботи є підвищення довговічності деталей сільськогосподарських машин із використанням зміцнюючої технології пластичного деформування.

Викладення основного матеріалу. Низька якість поверхневого шару деталей машин, як правило, призводить до його руйнування та втрати працездатності виробів [1].

Дослідженнями [7] та ряду інших вчених доведено взаємозв'язок показників якості поверхневого шару з його експлуатаційними властивостями, які, зазвичай, характеризуються опором втоми і зносостійкістю.

Для оцінки якості поверхневого шару використовуються наступні показники: хімічний склад, структура, твердість, залишкові напруження, параметри шорсткості.

Твердість – одна із характеристик стану робочої поверхні. Від значення твердості залежать експлуатаційні властивості деталей. Залежно від виду і величини зношування матеріалу деталей визначається глибина поверхневого шару із підвищеною твердістю.

Низька твердість серцевини матеріалу деталі може призвести до підвищеної деформації зміцненого шару: чим твердіше серцевина, тим тонше може бути шар.

Зміцнення матеріалу поверхневим пластичним деформуванням дозволяє запобігти появі втомних тріщин, а також значно знизити шкідливий вплив зовнішніх дефектів і шорсткості поверхні.

На нашу думку, основне завдання при обробці поверхонь полягає у створенні мікрогеометрії, що забезпечує мінімальний знос під час припрацювання.

При забезпеченні якості поверхневого шару важливу роль відіграє вибір способу зміцнення поверхневим пластичним деформуванням. Технологія ППД дозволяє економити дорогі метали. Вона вирізняється досить високою точністю і стабільністю режимів, а також забезпечує плавну зміну залишкових напружень та мікротвердості по глибині оброблюваного шару деталі.

Зміна твердості поверхневого шару матеріалу після ППД залежить, перш за все, від властивостей оброблюваного матеріалу і режимів обробки.

Як показує аналіз способів ППД найбільші діапазони регулювання показників якості поверхневого шару мають способи, що використовують енергію удару, які забезпечують високу якість обробленої поверхні деталі і оптимальну гетерогенно зміцнену структуру.

Технологія зміцнення, що розробляється, повинна забезпечувати можливість регулювання показниками якості для підвищення надійності роботи машин.

Зміцнення поверхні деталей залежить від багатьох факторів, дослідження впливу кожного з яких має важливе значення для розробки технологічного процесу їх відновлення. Такими факторами є: амплітуда A , частота коливання робочого інструменту n і час зміцнення t .

В якості критеріїв оптимізації у багатофакторному експерименті були обрані знос по діаметру ΔD і товщині Δa нових дисків сошників із сталі 65Г з віброзміцненням робочої поверхні та відновлених приварюванням сегментів із сталі 45 з наплавкою сормайтм і вібраційним зміцненням.

Результати експериментальних досліджень наведені в табл.1.

В результаті проведеного регресійного аналізу отримані наступні рівняння взаємозв'язку основних параметрів вібраційного зміцнення:

– знос ΔD_1 нового диска із сталі 65Г:

$$\Delta D_1 = 1,3086 - 1,5709x_1 - 0,0005x_2 - 0,0343x_3 + 1,5531x_1^2 + 1,9 \cdot 10^{-7}x_2^2 + 0,0009x_3^2; \quad (1)$$

– знос Δa_1 нового диска із сталі 65Г:

$$\Delta a_1 = 1,3946 - 1,4865x_1 - 0,0005x_2 - 0,0447x_3 + 1,5019x_1^2 + 1,64 \cdot 10^{-7}x_2^2 + 0,001x_3^2; \quad (2)$$

– знос ΔD_2 відновленого диска приварюванням сегментів із сталі 45 з наплавкою сормайтм:

$$\Delta D_2 = 1,3819 - 1,6535x_1 - 0,0005x_2 - 0,0393x_3 + 1,6531x_1^2 + 1,77 \cdot 10^{-7}x_2^2 + 0,0007x_3^2; \quad (3)$$

– знос Δa_2 відновленого диска приварюванням сегментів із сталі 45 з наплавкою сормайтм:

$$\Delta a_2 = 1,4904 - 1,9109x_1 - 0,00065x_2 - 0,0344x_3 + 1,9201x_1^2 + 2,18 \cdot 10^{-7}x_2^2 + 0,0007x_3^2, \quad (4)$$

де x_1 – фактор амплітуди робочого органу; x_2 – фактор частоти коливання робочого органу; x_3 – фактор часу обробки.

Отримуємо математичні моделі зміни зносів по діаметру ΔD і товщині Δa нових дисків сошників із сталі 65Г з вібраційним зміцненням робочої поверхні та відновлених приварюванням сегментів із сталі 45 з наплавкою сормайтм і вібраційним деформуванням:

$$\Delta D_1 = 1,3086 - 1,5709A - 0,0005n - 0,0343t + 1,5531A^2 + 1,9 \cdot 10^{-7}n^2 + 0,0009t^2; \quad (5)$$

$$\Delta a_1 = 1,3946 - 1,4865A - 0,0005n - 0,0447t + 1,5019A^2 + 1,64 \cdot 10^{-7}n^2 + 0,001t^2; \quad (6)$$

$$\Delta D_2 = 1,3819 - 1,6535A - 0,0005n - 0,0393t + 1,6531A^2 + 1,77 \cdot 10^{-7}n^2 + 0,0007t^2; \quad (7)$$

$$\Delta a_2 = 1,4904 - 1,9109A - 0,00065n - 0,0344t + 1,9201A^2 + 2,18 \cdot 10^{-7}n^2 + 0,0007t^2. \quad (8)$$

Рівняння регресій (5-8) дають можливість графічно побудувати поверхні відгуків залежності величини зносу від часу зміцнення t , амплітуди A і частоти n коливань робочого органу. Для

відновленого диска приваркою сегментів із сталі 45 з наплавкою сормайтотом і вібраційним зміцненням поверхні відгуків показані на рис. 1–3.

Таблиця 1.

Дані дослідження зношення дисків сошників

Номер досліджу	Амплітуда робочого органу A , мм	Частота робочого органу n , хв^{-1}	Час зміцнен ня t , с	Величина зносу I , мм			
				варіанти дисків			
				сталь 65Г		сталь 45 з наплавкою сормайтотом	
				ΔD_1	Δa_1	ΔD_2	Δa_2
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,25	700	10	0,46	0,50	0,49	0,55
2	0,25	700	20	0,34	0,41	0,37	0,40
3	0,25	700	30	0,45	0,46	0,48	0,52
4	0,25	1400	10	0,35	0,39	0,41	0,44
5	0,25	1400	20	0,23	0,28	0,27	0,32
6	0,25	1400	30	0,31	0,36	0,30	0,34
7	0,25	2100	10	0,49	0,52	0,51	0,56
8	0,25	2100	20	0,29	0,32	0,33	0,38
9	0,25	2100	30	0,41	0,43	0,45	0,49
10	0,5	700	10	0,34	0,46	0,37	0,46
11	0,5	700	20	0,22	0,27	0,26	0,34
12	0,5	700	30	0,30	0,35	0,33	0,39
13	0,5	1400	10	0,26	0,29	0,29	0,24
14	0,5	1400	20	0,27	0,31	0,31	0,34
15	0,5	1400	30	0,21	0,26	0,25	0,29
16	0,5	2100	10	0,33	0,37	0,37	0,44
17	0,5	2100	20	0,26	0,23	0,22	0,27
18	0,5	2100	30	0,28	0,34	0,32	0,39
19	0,75	700	10	0,43	0,47	0,48	0,54
20	0,75	700	20	0,34	0,38	0,40	0,44
21	0,75	700	30	0,42	0,47	0,48	0,55
22	0,75	1400	10	0,34	0,49	0,40	0,44
23	0,75	1400	20	0,28	0,32	0,34	0,39
24	0,75	1400	30	0,31	0,33	0,35	0,40
25	0,75	2100	10	0,50	0,53	0,52	0,58
26	0,75	2100	20	0,41	0,38	0,36	0,45
27	0,75	2100	30	0,46	0,49	0,47	0,50

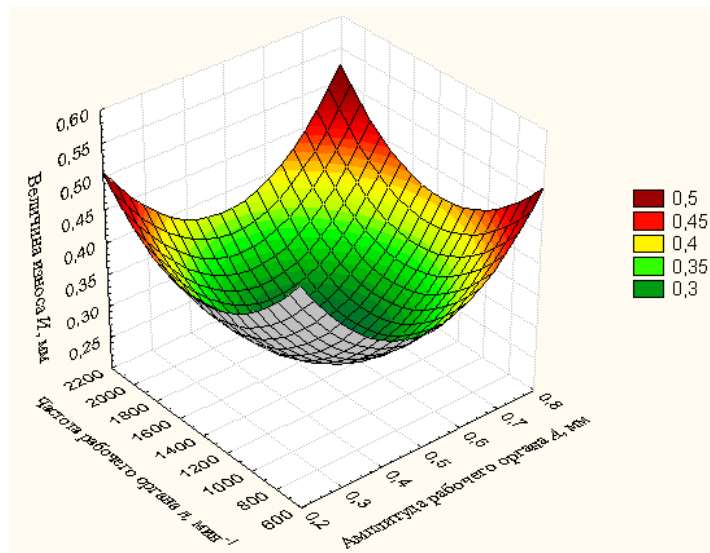


Рис. 1. Поверхня відгуку залежності величини зносу від амплітуди A і частоти n коливань робочого органу

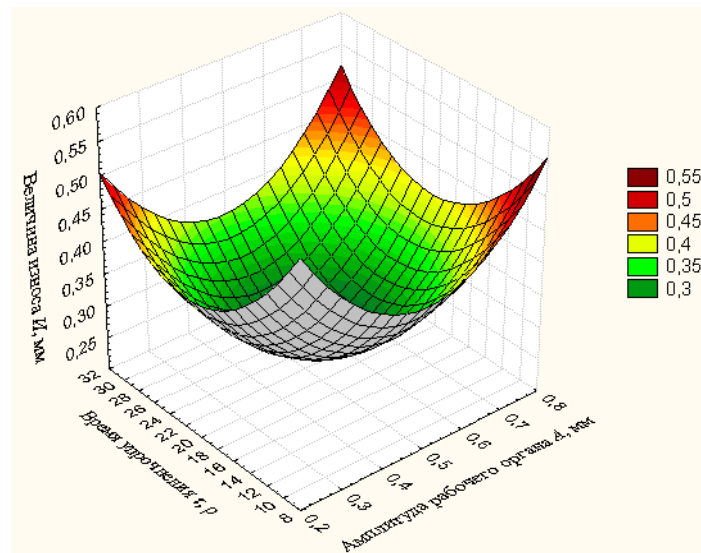


Рис. 2. Поверхня відгуку залежності величини зносу від часу зміцнення t і амплітуди A коливань робочого органу

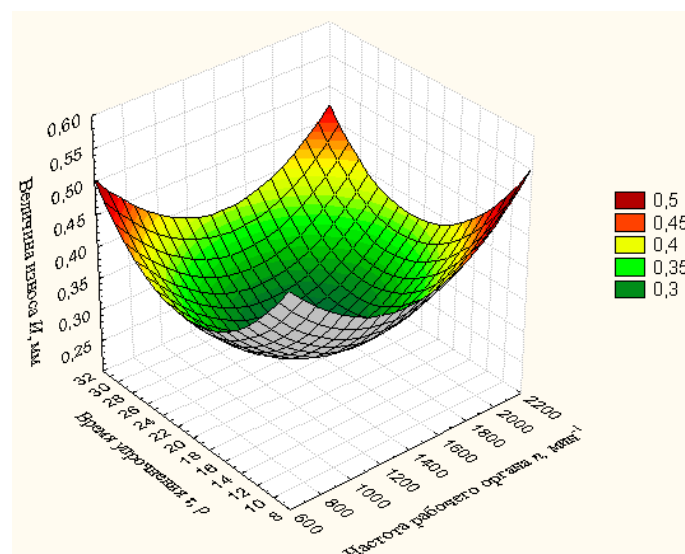


Рис. 3. Поверхня відгуку залежності величини зносу від часу зміцнення t і частоти n коливань робочого органу

Провівши дослідження на екстремуми отриманих поверхонь встановлено, що оптимальними режимами вібраційного зміцнення є: частота коливань робочого органу $n = 1400 \text{ хв}^{-1}$; амплітуда робочого органу $A = 0,5 \text{ мм}$; час зміцнення $t = 20 \text{ с}$.

При звичайному деформуванні зважаючи на постійний контакт оброблювального інструменту з оброблюваним металом траєкторії максимальних дотичних напружень розташовуються під кутом 90° до оброблюваної поверхні.

У процесі вібраційного деформування цей кут буде змінюватися від 45° до 90° і в момент відриву інструмента зусилля буде направлено до напрямку його руху під більшим кутом, що сприяє збільшенню деформації. Це, в свою чергу, викликає більше ущільнення оброблюваного матеріалу.

Після перетворення знаходимо:

$$\eta = \log_{\varepsilon} \frac{\sigma_s}{\sigma_T}. \quad (9)$$

де σ_T – границя текучості; σ_s – напруження текучості матеріалу; η – показник деформаційного зміцнення (ступінь зміцнення).

Розрахункові значення ступеня зміцнення, що отримані по залежності (9), наведені в табл. 2.

Встановлено, що ступінь зміцнення матеріалу дисків сошників, відновлених приварюванням сегментів з подальшим наплавленням сормайт при вібраційному деформуванні в 1,48 рази більше, ніж при звичайній обробці.

Таблиця 2.

Розрахункові значення ступеня зміцнення

Матеріал	Ступінь зміцнення η	
	звичайне деформування	вібраційне деформування
Сталь 65Г	0,108	0,144
Сталь 65Г, сормайт	0,085	0,126

В результаті дії абразивного середовища відбувається інтенсивне зношування ріжучої кромки дисків сошників, що викликає їх затуплення та призводить до погіршення технологічного процесу посіву. Для визначення зносу дисків сошників використовувалися наступні їх варіанти: 1 – нові диски із сталі 65Г діаметром 300 мм; 2 – нові диски із сталі 65Г діаметром 300 мм з віброзміцненням робочої поверхні; 3 – відновлені приварюванням сегментів із сталі 45 з напавкою сормайт і вібраційним зміцненням.

Приварку сегментів шириною 15 мм і товщиною 2,5 мм здійснювали на напівавтоматі А-765 дротом діаметром 2 мм марки 08ГС. Зміцнення проводили на вібраційній установці (кафедра технології та засобів механізації аграрного виробництва).

Дані лабораторних досліджень наведені в табл. 3.

Таблиця 3.

Дані зносу дисків під час стендових випробувань

Номер варіанта	Абсолютний знос діаметра, мм	Абсолютний знос товщини леза, мм
1	0,84	0,53
2	0,32	0,28
3	0,36	0,30

Дані стендових випробувань показали, що для вказаних варіантів найменшу величину зносу мали нові диски сошників із вібраційним зміцненням.

Проведені випробування дозволили визначити оптимальні значення діаметра $D = 300 \text{ мм}$ і товщини леза диска $a = 2,5 \text{ мм}$ та вибрати найбільш ефективний технологічний процес відновлення з використанням вібраційного зміцнення.

Висновки. Зносостійкість, а, отже, і ресурс дисків сошників залежить як від їх геометричних параметрів, так і, в значній мірі, від способу відновлення. Визначено основні параметри при відновленні деталей поверхневим пластичним деформуванням з використанням

механічних коливань оброблювального інструменту: частота $n = 1400 \text{ хв}^{-1}$; амплітуда $A = 0,5 \text{ мм}$; час зміцнення $t = 20 \text{ с}$. Встановлено, що ступінь зміцнення леза дисків сошників, відновлених приварюванням сегментів з подальшою наплавкою сормайтом при вібраційному деформуванні в 1,48 рази більше, ніж при звичайній обробці.

Список використаних джерел:

1. Овсеенко А. Н., Серебряков В. И., Гаек М. М. Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения: монография. М.: Янус-К, 2003. 296 с.
2. Олейник Н. В., Кычин В.П., Луговской А.Л. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин. К.: Техника, 1984. 151 с.
3. Дудников А. А., Беловод А. И., Дудник В. В., Канівець А. В. Повышение долговечности деталей машин пластическим деформированием. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). Луцьк: ЛНТУ, 2011. Вип. 32. С. 128–131.
4. Афтаназів І. С., Гавриш А. П., Киричокта П. О. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням: навч. посіб. Житомир: ЖІТІ, 2001. 516 с.
5. Скобло Т. С., Власовець В. М., Науменко А. О., Дудников И. А. Исследование влияния виброобработки на упрочнение структурных составляющих стали 10. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2015. Вип. 158. С. 279–287.
6. Чепан П. А. Технологические основы упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. Минск: Наука и техника, 1981. 128 с.
7. Бандура В. Н., Деревенько И. А. Схема напряжённого состояния в поверхностном пластически деформированном слое. Вібрації та техніці і технологіях. 2006. № 3 (45). С. 26–29.
8. Кислик В. А. Упрочнение и износостойкость. М.: Машиностроение, 1992. 287 с.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2019