




original article | UDC 621.43 | doi: 10.31210/visnyk2021.02.37

METHODS OF RESTORING PARTS OF AGRICULTURAL MACHINES
A. A. Dudnikov

 ORCID  [0000-0001-8580-657X](https://orcid.org/0000-0001-8580-657X)
I. A. Dudnikov

 ORCID  [0000-0002-0448-2241](https://orcid.org/0000-0002-0448-2241)
*V. V. Dudnyk**

 ORCID  [0000-0002-6553-2951](https://orcid.org/0000-0002-6553-2951)
O. A. Burlaka

 ORCID  [0000-0002-2296-7234](https://orcid.org/0000-0002-2296-7234)

Poltava State Agrarian Academy, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine

*Corresponding author

 E-mail: volodymyr.dudnyk@pdaa.edu.ua

How to Cite

 Dudnikov, A. A., Dudnikov, I. A., Dudnyk, V. V., & Burlaka, O. A. (2021). *Methods of restoring parts of agricultural machines. Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (2), 280–285. doi: 10.31210/visnyk2021.02.37

Restoration of worn parts of agricultural tillage equipment is technically and economically justified, because it can significantly reduce delay time, as well as improve the quality of repairs and positively affect the reliability of these machines. The purpose of this study is to increase the durability of the machining surface of the parts during vibration machining. The article shows the effect of friction on the deformation unevenness in the layers of deformed material. The expediency of details' restoration of tillage machines by more effective technologies, namely plastic deformation has been substantiated. The researches have been made based on the theory of dislocations as to deformation strengthening process of the machined material of farm tillage machines' details working in the conditions of the increased abrasive wear. The influence of dislocations on internal stresses' formation and strengthening of the surface layer of the machined detail has been shown. It has been established that the friction that occurs during the restoration, contributes to the surface deformation in the layer of the detail deformed material. It has been determined that the friction force that appears during the machining of the restored part depends on its material. The dependence on determining the force of contact friction between the surfaces of the tool for machining and the machined detail has been given. Calculations for determining the tangential stresses affecting the contact friction surfaces have been made. The mathematical value of contact friction has been established. The values of the friction coefficient at usual and vibrational deformation of the restored part have been given. It has been determined that the smallest value of the friction coefficient is at 0.5 mm amplitude of oscillations. Also, theoretical studies have shown that at vibration machining, the friction coefficient is reduced by 2.5 times. Reducing the friction coefficient helps to strengthen the surface of the machined part.

Key words: plastic deformation, coefficient of friction, vibration machining, degree of deformation, contact surface.

СПОСОБИ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН
A. A. Дудніков, I. A. Дудніков, В. В. Дудник, О. А. Бурлака

Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна

Відновлення зношених деталей сільськогосподарської ґрунтообробної техніки є технічно та економічно обґрунтованим, тому що дає змогу суттєво скоротити час простою, а також підвищити якість ремонту та позитивно впливати на показники надійності цих машин. Метою цього дослідження є забезпечення підвищення довговічності оброблювальної поверхні деталей при вібраційній

обробці. У статті показано вплив тертя на нерівномірність деформування в шарах деформованого матеріалу. Обґрунтовано доцільність проведення відновлення деталей ґрунтообробних машин більш ефективними технологіями, а саме пластичним деформуванням. Виконані дослідження процесу деформаційного зміцнення оброблювального матеріалу деталі сільськогосподарських ґрунтообробних машин, що працюють в умовах підвищеного абразивного зношування, на основі теорії дислокацій. Показано вплив дислокацій на утворення внутрішніх напружень та зміцнення поверхневого шару обробленої деталі. Встановлено, що тертя, яке відбувається під час відновлення, сприяє поверхневій деформації в шарі деформованого матеріалу деталі. Встановлено, що при здійсненні обробкою тиском змінювання властивостей обробленого шару деталі залежить від ступеня деформації. Визначено, що сила тертя, яка виникає при обробці відновлюваної деталі, залежить від її матеріалу. Наведена залежність з визначення сили контактної тертя між поверхнями інструменту для обробки та деталі, що обробляється. Запропоновано розрахунки з визначення дотичних напружень, що діють на контактних поверхнях тертя. Встановлена математична величина контактної тертя. Наведені значення коефіцієнта тертя при звичайному та вібраційному деформуванні відновлюваної деталі. Визначено, що найменше значення коефіцієнта тертя має місце при амплітуді коливань 0,5 мм. Також теоретичні дослідження свідчать, що при вібраційній обробці коефіцієнт тертя знижується у 2,5 рази. Зниження коефіцієнта тертя сприяє зміцненню поверхні деталі, що обробляється.

Ключові слова: пластичне деформування, коефіцієнт тертя, вібраційна обробка, ступінь деформації, контактна поверхня.

Вступ

Відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки є технічно та економічно обґрунтованим, тому що дає змогу суттєво скоротити час простою, а також підвищити якість ремонту та позитивно вплинути на показники надійності машин.

Доцільність відновлення деталей більш ефективними технологіями полягає у зменшенні вартості ремонту складальних одиниць, агрегатів та машин за рахунок зменшення витрат на придбання нових запасних частин та скороченні виробничих витрат при їхньому використанні.

Застосування прогресивних технологічних процесів дає змогу зменшити на 10 % час на відновлення та ремонт, на 22...25 % збільшити наробіток на машину та на 30...45 % збільшити її продуктивність [1].

Технічний стан робочих органів ґрунтообробної техніки має суттєвий вплив на урожайність сільськогосподарських культур. Якісне відновлення деталей машин дає змогу суттєво знизити затрати матеріалу на запасні частини, скоротити порівняно з виготовленням кількість технологічних операцій у 5...8 разів. Останнє твердження дозволяє отримати значний економічний ефект [2–6].

Під час відновлення зношених деталей необхідно забезпечити їх якість на рівні нових та вище. При цьому необхідно досягнути покращення геометрії посадочних місць, підвищення твердості та зносостійкості робочих поверхонь. Останнє може бути забезпечене застосуванням прогресивних технологій, які дають змогу значно підвищити якісні показники відновлення деталей та агрегатів сільськогосподарських машин [7–11].

Одним зі способів підвищення довговічності деталей є зміцнення поверхневого шару пластичним деформуванням [12–15].

Хоча багато питань щодо забезпечення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин вимагають проведення додаткових досліджень.

Особливої актуальності набули питання щодо виконання досліджень в умовах вібраційного деформування.

Метою цього дослідження є забезпечення підвищення довговічності оброблювальної поверхні деталей при вібраційній обробці. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Описати особливості вібраційної зміцнювальної обробки.
2. Дослідити вплив технологічних параметрів вібраційного деформування на якісні показники обробки поверхневого шару відновлювальних деталей.

Матеріали і методи досліджень

Аналіз публікацій щодо підвищення зносостійкості деталей ґрунтообробних машин дає змогу визначити такі напрями дослідження:

- розробка та дослідження високоефективних технологічних процесів відновлення зношених поверхонь ріжучих елементів робочих органів ґрунтообробних машин;
- застосування розробленої вібраційної технології зміцнення ріжучих елементів зазначених машин.

Вибір технології відновлення було обґрунтовано, зважаючи на характер дефектів та величину зношування робочих поверхонь ріжучих елементів, твердості їх матеріалу, геометричних розмірів, точності обробки та собівартості відновлення. Кількісне і якісне оцінювання надійності відновлених робочих органів виконано порівнянням з аналогічними показниками нових деталей.

Аналіз стану відновлених та нових деталей було виконано після їх зносу під час проведення досліджень.

Важливим фактором при виборі технологічного процесу відновлення деталей є визначення параметрів їхньої обробки, що зменшують величину зношування їх ріжучих елементів.

Статистичну обробку отриманих даних було проведено за допомогою комп'ютерного програмного забезпечення Microsoft Excel.

Результати досліджень та їх обговорення

Явища деформаційного зміцнення можна пояснити на основі теорії дислокації, що заснована на загальних припущеннях про їх вплив на формування внутрішніх напружень. Зміцнення оброблюваної поверхні пов'язано з утворенням бар'єрів для рухомих дислокацій між собою та іншими дефектами кристалічної решітки.

На думку академіка Т. С. Скобло, збільшення ступеня деформації оброблюваного матеріалу спричиняє зменшення шляху проходження дислокацій та, відповідно, збільшення їх пластичності. Останнє може призвести до зміцнення поверхневого шару [8].

Завдяки застосуванню тиску відбувається поновлення поверхні контактної інструмента для обробки з деформованим матеріалом оброблюваної деталі. При цьому величина та швидкість зміщення частини металу різняться в різних точках контакту. Також, чим більше опір тертю, тим більше необхідно зусилля деформації [16].

Необхідно зазначити, що тертя сприяє нерівномірній деформації: в шарах деформованого матеріалу, що наближені до поверхні, дія сил тертя, які створюють опір деформації, більше відносно шарів, віддалених відносно зон контакту з інструментом. При здійсненні обробкою тиском змінювання властивостей обробленого шару деталі залежить від ступеня деформації [12–18].

Сила тертя та напруження, що виникають, залежать від міцнісних властивостей деформованого тіла.

Під час вібраційного оброблення матеріалу поверхні виникає також інерційна сила, що періодично підсилює чи послаблює тиск інструменту під час обробки на контактну поверхню. При цьому відбувається певне розвантаження сил контактної тертя [19–21].

Відповідно до закону Амонтона-Кулона сила контактної тертя T обчислюється рівнянням:

$$T = fN, \quad (1)$$

де f – коефіцієнт тертя при пластичному деформуванні; N – нормальний тиск інструмента на поверхню металу.

З урахуванням опору зсуву τ_0 у поверхневому шарі і швидкості зміни дотичних напружень:

$$T = \tau_0 F_k + kN, \quad (2)$$

де F_k – площа контакту металу з інструментом для обробки; k – коефіцієнт, що враховує швидкість зміни дотичних напружень при зміні нормальних напружень.

Перший член рівняння характеризує зміну сили тертя внаслідок зміни площини зсуву, другий – зміну опору зсуву при зміні нормального тиску.

Після ділення складників рівняння (1) на площу контакту F_k , отримаємо:

$$\frac{T}{F_k} = f \frac{N}{F_k}, \quad (3)$$

де $T/F_k = \tau$ – відповідає дотичному напруженню, що діє на контактну поверхню; $N/F_k = \sigma_l$ – відпові-

дає нормальному напруженню, відповідно:

$$\tau = f \sigma_1. \quad (4)$$

Дотичне напруження τ не може бути більше ($\beta\sigma_s/2$):

$$\tau_{\max} \leq \frac{\beta\sigma_s}{2}, \quad (5)$$

де

$$\beta = \frac{2}{\sqrt{3 + \xi_\sigma^2}}, \quad (6)$$

де ξ_σ^2 – тензор напружень, рівний:

$$\xi_\sigma^2 = \frac{\sigma_2 - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}}{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}}, \quad (7)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – величини головних напружень в напрямку координат.

При сумісному розв'язанні рівнянь (5) та (4), отримаємо:

$$f_{\max} \sigma_1 \leq \frac{\beta\sigma_s}{2}, \quad (8)$$

звідси,

$$f_{\max} \leq \frac{\beta\sigma_s}{2\sigma_1}. \quad (9)$$

Але

$$\frac{\beta\sigma_s}{\sigma_1} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2\sigma_1} = 0,5 - \frac{\sigma_3}{2\sigma_1} \quad (10)$$

При здійсненні пресування σ_1 та σ_3 мають однаковий знак, тому коефіцієнт тертя $f_{\max} \leq 0,5$.

Але при осаджуванні експериментальний коефіцієнт тертя може перевищувати 0,5. Таке твердження можна пояснити тим, що при проведенні експериментальних досліджень коефіцієнт тертя визначають як частку від ділення середніх напружень тертя на питомий тиск. Тому максимальний коефіцієнт тертя:

$$f_{\max} = \frac{\beta\sigma_s}{\sigma_1} \quad (11)$$

Значення коефіцієнта тертя, що підраховані по цій залежності, наведені в табл. 1.

1. Значення коефіцієнта тертя

| Амплітуда коливань А, мм | Коефіцієнт тертя, f | |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | вібраційне деформування | звичайне деформування |
| 0,25 | 0,485 | 0,682 |
| 0,5 | 0,302 | |
| 0,75 | 0,509 | |

Результати теоретичних досліджень свідчать, що при вібраційному деформуванні леза леміша коефіцієнт тертя між поверхнями оброблюваної деталі та інструмента для обробки знижується у 2,25 раза.

Таке явище, своєю чергою, сприяє підвищенню зміцнення оброблюваної поверхні деталі, що відновлюється.

Висновки

1. У статті показано вплив тертя на нерівномірність деформування в шарах деформованого матеріалу.

2. Під час досліджень встановлено, що при вібраційному деформуванні ріжучого елемента плужного леміша коефіцієнт тертя між поверхньою та інструментом для обробки зменшується у 2,25 раза. Останнє сприяє більшому зміцненню обробленого матеріалу.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження будуть направлені на виявлення ефективних та доцільних параметрів вібраційної обробки деталей сільськогосподарських машин, що працюють у різних умовах та середовищах.

References

1. Voytyuk, V. D., & Rublov, V. I. (2005). *Upravlinnya yakistyu tekhnichnoho servisu i sil's'kohospodars'koyi tekhniki pry postachanni*. Kyiv: Vydavnytstvo NAU [In Ukrainian].
2. Dudnikov, A. A., Belovod, A. I., Kanivets, A. V., & Dudnyk, V. V. (2011). Povysheniye dolgovechnosti detaley pri ikh vosstanovlenii. *Sbornik nauchnykh statey 5-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Minsk: BGATU [In Russian].
3. Stotsko, Z., Kussyj, J., & Topilnytskyj, V. (2012). Research of vibratory-centrifugal strain hardening on surface quality of cylindrical long-sized machine parts. *Journal of Manufacturing and Industrial Engineering*, 11, 15–17.
4. Dudnikov, A. A., Belovod, A. I., Burlaka, A. A., Dudnyk, V. V., Ivankova, Ye. V., & Kanivets, A. V. (2020). Rol poverkhnostnogo deformirovaniya detaley v povyshenii ikh resursa. *Tekhnicheskoye obespecheniye innovatsionnykh tekhnologiy v selskom khozyaystve: sbornik nauchnykh statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Minsk: BGATU [In Russian].
5. Rybak, T. I. (2003). *Poshukove konstruyuvannya na bazi optymizatsiyi resursu mobilnykh sil's'kohospodars'kmykh mashyn*. Ternopil: VAT «TVPK» [In Ukrainian].
6. Ovseyenko, A. N., Serebryakov, V. I., & Gayek, M. M. (2003). *Tekhnologicheskoye obespecheniye kachestva izdeliy mashinostroyeniya: monografiya*. Moskva: Yanus-K [In Russian].
7. Skoblo, T. S., Sidashenko, A. I., Kharyakov, A. V., & Naumenko, A. A. (2006). Vosstanovleniye ekspluatatsionnykh svoystv detaley naneseniyem iznosostoykikh pokrytiy plazmenno-poroshkovym metodom. *Visnyk Poltavskoyi Derzhavnoyi Ahrarnoyi Akademiyi*, 4, 90–93 [In Russian].
8. Skoblo, T. S., Vlasovets, V. M., Naumenko, A. A., & Dudnikov, I. A. (2015). Issledovaniye vliyaniya vibroobrabotki na uprochneniye strukturnykh sostavlyayushchikh stali 10. *Vestnik Kharkovskogo Natsionalnogo Tekhnicheskogo Universiteta Sel'skogo Khozyaystva imeni Petra Vasilenko*, 158, 279–287 [In Russian].
9. Kanivets, A. V. (2011). Pereglyad K voprosu plasticheskogo deformirovaniya pri vibratsionnoy obrabotke. *Vibratsiyi v Tekhnitsi ta Tekhnolohiyakh*, 1 (61), 85–86 [In Russian].
10. Dudnikov, I. A., & Dudnyk, V. V. (2011). Povysheniye dolgovechnosti pluzhnykh lemekhov. *Vestnik Natsional'nogo Tekhnicheskogo Universiteta KhPI*, 10, 35–38 [In Russian].
11. Bilousko, Ya. K., Burylko, A. V., & Halushko, V. O. (2007). *Problemy realizatsiyi tekhnichnoyi polityky v ahropromyslovomu kompleksi*. Kyiv: NNTS IAE [In Ukrainian].
12. Boyko, A. Y., & Balabukha, A. V. (2000). Uprochneniye lezvyi, kak metod upravleniyya ykh heometrycheskykh form pry yznashyvanyu. *Visnyk Kharkivsk'oho Tekhnichnoho Universytetu Sil's'koho Hospodarstva*, 4, 49–56. [In Russian].
13. Novikov, V. S., Azarova, I. A., & Saburkin, D. A. (2007). Materialovedencheskoye napravleniye povysheniya nadezhnosti robochikh organov pluga. *Tekhnicheskyy Servis v Agropromyshlennom Komplekse*, 3, 12–14 [In Russian].
14. Djema, M., Hamouda, K., Babichev, A., Saidi, D., & Halimi, D. (2013). The impact of mechanical vibration on the hardening of metallic surface. *Advanced Materials Research*, 626, 90–94. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.626.90
15. Belevskii, L., Belevskaya, I., Belov, V., Gubarev, E., & Efimova, Yu. (2016). Surface Modification of Products by Plastic Deformation and the Application of Functional Coatings. *Metallurgist*, 60, 434–439. doi: 10.1007/s11015-016-0310-y

16. Groiov, N. P. *Teoriya obrabotki metal lov davlenim*. (1998). Moskva: Metalurgiya [In Russian].
17. Aulin, V. V., & Bobrytsky, V. M. (2004). Kharakter ta intensyvnist' znoshuvannya robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn. *Problemy Trybolohiyi. Khmelnytskyy KHDU*, 2, 107–112 [In Ukrainian].
18. Bandura, V. N., & Dereven'ko, I. A. (2006). Skhema napryazhonnogo sostoyaniya v poverkhnostnom plasticheski deformirovannom sloye. *Vibratsii i Tekhnike i Tekhnologiyakh*. 3(45), 26–29 [In Russian].
19. Makushok, E. M. (1984). *Mekhanika treniya*. Minsn: Nauka i tekhnika [In Russian].
20. Dzugutov, M. Ya. (1984). *Napryazheniya i deformatsii pri obrabotke metal lov davlenim*. Moskva: Metallurgiya [In Russian].
21. Djema, M., Hanouda, K., Babichev, A., Saidi, D., & Halimi, D. (2012). Effect of vibro-impact strengthening on the fatigue strength of metallic surfaces. *Metall, Czech Republic*, 5, 23–25.

Стаття надійшла до редакції: 28.04.2021 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Дудніков А. А., Дудніков І. А., Дудник В. В., Бурлака О. А. Способи відновлення деталей сільськогосподарських машин. *Вісник ПДАА*. 2021. № 2. С. 280–285.

© Дудніков Анатолій Андрійович, Дудніков Ігор Анатолійович, Дудник Володимир Васильович,
Бурлака Олексій Анатолійович, 2021