



original article | 621.43 | doi: 10.31210/visnyk2020.04.32

RESTORATION OF DETAILS BY SURFACE PLASTIC DEFORMATION


A. A. Dudnikov


V. V. Dudnyk*

O. A. Burlaka

O. V. Kanivets


S. M. Kryvonos

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

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

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

ORCID  [0000-0003-4364-8424](https://orcid.org/0000-0003-4364-8424)

ORCID  [0000-0003-2577-5059](https://orcid.org/0000-0003-2577-5059)

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., Dudnyk, V. V., Burlaka, O. A., Kanivets, O. V., & Kryvonos, S. M. (2020). Restoration of details by surface plastic deformation. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (4), 251–258. doi: 10.31210/visnyk2020.04.32

A study was conducted as to the effect of strengthening treatment in the restoration of farm machinery details operating under the conditions of increased abrasive wear. The analysis of existing ways of their restoration was made, and the substantiation of using vibration strengthening treatment in repair production was given. The assessment of reliability of grain seeders' working parts was conducted, taking into account the conditions of their operation, based on mathematical dependencies. Research was carried out to select the optimal parameters of vibration strengthening of seeders' working parts. Microstructural studies were conducted to determine the effect of the treatment method of sowing boot disk material. Rig tests of sowing boot discs were carried out on installation, which would make it possible to regulate the intensity of disc wear. The values and distribution of residual tensions in the material of a new disc and restored one by the method of welding steel 45 segments with sormite overlaying and vibration strengthening were determined. The values of strengthening degree of the cutting edge material of the restored sowing boot discs were determined. The optimal modes of vibration strengthening were established. The optimal parameters of sowing boot discs were determined: the outer diameter, the thickness of the cutting edge, the angle of the blade, which ensure their least wear and the proper quality of sowing grain crops. The results of changing the disk thickness and its wear along its diameter during rig tests of new discs and those restored by welding steel 45 segments with automatic sormite overlaying and vibration strengthening were presented. Operational studies of the above mentioned variants of grain seeders were carried out in order to check the maintenance reliability of restored and vibration-strengthened sowing boot discs. It has been established that the greatest value of operating time had a seeder with sowing boot discs restored by welding steel 45 segments with subsequent automatic sormite overlaying and strengthened by vibration deformation.

Key words: plastic deformation, working part, strengthened structure, disc thickness, degree of strengthening, residual tensions.

ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

А. А. Дудніков, В. В. Дудник, О. А. Бурлака, О. В. Канівець, С. М. Кривонос

Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна

Проведено дослідження впливу зміцнюючої обробки при відновленні деталей сільськогосподарських машин, що працюють в умовах підвищеного абразивного зношування. Виконано аналіз наявних способів їхнього відновлення, обґрунтовано використання вібраційної зміцнюючої обробки в ремонтному виробництві. Проведено оцінку зносостійкості деталей ґрунтообробних машин, з'ясовано механізм зниження величини зносу при вібраційному зміцненні. Проведено оцінку надійності робочих органів зернових сівалок, зважаючи на умови їхньої роботи на основі математичних залежностей. Проведено дослідження щодо вибору оптимальних параметрів вібраційного зміцнення робочих органів сівалок. Проведено мікроструктурні дослідження для визначення впливу способу обробки матеріалу дисків сошників. Проведено стендові дослідження дисків сошників на установці, що дадуть змогу регулювати інтенсивність зношування дисків. Визначено значення і розподіл залишкових напружень у матеріалі нового диска і відновленого методом приварювання сегментів зі сталі 45 з наплавленням сормайтотом і вібраційним зміцненням. Визначено значення ступеня зміцнення матеріалу ріжучої кромки відновлених дисків сошників. Встановлено оптимальні режими вібраційного зміцнення. Визначено оптимальні параметри дисків сошників: зовнішній діаметр, товщина ріжучої кромки, кут леза, що забезпечує їх найменший знос і належну якість посіву зернових культур. Наведено результати зміни товщини диска і зносу його по діаметру під час стендових досліджень нових дисків і відновлених приварюванням сегментів зі сталі 45 з автоматичним наплавленням сормайтотом і вібраційним зміцненням. Проведено експлуатаційні дослідження зазначених варіантів зернових сівалок з метою перевірки експлуатаційної надійності відновлених і зміцнених вібраційним способом дисків сошників. Встановлено, що найбільше значення напрацювання мала сівалка з дисками сошників, відновлених приварюванням сегментів зі сталі 45 з наступним автоматичним наплавленням сормайтотом і зміцнених вібраційним деформуванням.

Ключові слова: *пластичне деформування, робочий орган, зміцнена структура, товщина диска, ступінь зміцнення, залишкові напруження.*

Вступ

Втрата працездатності деталей машин зазвичай пов'язана з руйнуванням їх поверхневого шару. Тому в технологічних процесах все більше уваги приділяється операціям поверхневого зміцнення, що забезпечують необхідні параметри якості поверхневого шару на рівні, відповідному максимальному підвищенню необхідних експлуатаційних властивостей.

Встановлено [1–3], що в низці випадків для підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин необхідне створення поверхневого шару із зміцненою структурою.

Відновлення деталей – технічно обґрунтоване [4–6] і економічно виправданий захід [7–8].

Економічна сторона доцільності проведення робіт з відновлення деталей полягає у зниженні собівартості ремонту деталей машин через зменшення витрат на нові запасні частини, а також у скороченні виробничих витрат при їхній експлуатації.

Одним з найбільш простих і ефективних способів зміцнюючої обробки є способи поверхневого пластичного деформування [9–12]. В результаті обробки поверхневим пластичним деформуванням [ППД] може формуватися зміцнений шар з показниками якості поверхневого шару, що змінюються в широкому діапазоні: глибина зміцнення 0,1...15 мм, твердість зміцненого шару може бути підвищена на 20...150 %, досягаються, стискаючи залишкові напруження на рівні 200...1400 мПа [13, 14].

Однак можливість створення поверхневого шару з необхідною рівномірністю зміцнення, а також точне деформування способами ППД твердості і залишкових напружень залишається досі не повністю реалізованим, що часто є перешкодою для їх ефективного застосування для цілої низки деталей машин.

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 [15, 16].

Зважаючи на це, особливої актуальності набули питання проведення досліджень з виявлення

зв'язків технологічних параметрів в умовах вібраційної обробки, а також визначення оптимальних параметрів робочих органів ґрунтообробних машин при їх відновленні, спрямованих на підвищення надійності і довговічності.

Тому дослідження, спрямовані на створення технології зміцнення таких деталей з використанням механічних коливань, можуть бути віднесені до числа важливих і актуальних.

Метою цієї роботи є забезпечення показників якості зміцненого поверхневого шару матеріалу за рахунок обробки поверхневим пластичним деформуванням.

Матеріали і методи досліджень

Для відновлення деталей поверхневим пластичним деформуванням на кафедрі була створена установка, що дає змогу проводити зміцнення поверхонь різних деталей з необхідними параметрами обробки: обурююча сила, амплітуда і частота коливань, швидкість руху обробного інструменту.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю розробки технологічного процесу відновлення дискових робочих органів методом вібраційного їх зміцнення.

Тому дослідження, спрямовані на розробку технології їх відновлення вібраційним зміцненням, можуть бути віднесені до числа актуальних [17–19].

Унаслідок зношування ріжучих елементів ґрунтообробних машин виникає необхідність їхнього відновлення, зважаючи на застосування ефективних технологій зносостійких матеріалів.

До технологій підвищення довговічності вказаних деталей може бути віднесена: хіміко-термічна обробка, метод зміцнення тертям.

Варто відмітити, що вказані способи відрізняються високою вартістю, вимагають спеціального дорогого обладнання і поки не знайшли широкого застосування в ремонтному виробництві.

У машинобудуванні застосовується метод алмазного вигладжування для поверхневого зміцнення деталей, що виготовляються [20].

У літературі [21] описаний метод відновлення диска сошника приварюванням до нього секторів вольфрамовим електродом у середовищі аргону магніторегулюємою дугою. Проте з огляду складності цей метод не знайшов поки належного застосування в ремонтному виробництві.

Є дані відновлення диска по діаметру способом зварювання в напуск [22]. Цей технологічний спосіб відрізняється складністю і не забезпечує гарантії від можливості втомного руйнування при експлуатації дисків сошників.

Результати досліджень та їх обговорення

Для оцінки надійності дисків сошників використовували математичні залежності, прийняті в теорії ймовірностей. При розробці технології їх відновлення проводили вибір оптимальних параметрів обробки, що знижують величину зносу різального елемента дисків сошників.

Лабораторні дослідження з відновлення робочих органів – дисків сошників методом вібраційного деформування – проводили на виготовленій установці з необхідними параметрами: швидкість руху обробного інструменту, амплітуда і частота коливань.

Відновлення робочої поверхні диска проводили приварюванням сегментів до його зовнішнього діаметру, виготовлених зі сталі 45 товщиною $2,5 \pm 0,1$ мм і шириною $15 \pm 0,2$ мм на сорокатонному пресі. Сегменти приварювалися дротом $\varnothing 2$ мм зі сталі 08ГС з наступним наплавленням сормайттом.

У праці [23] автори вказують, що застосування вібраційних коливань, підвищує ефективність відновлення деталей, але вони не наводять оптимальних режимів при вібраційному зміцненні.

Проведені дослідження дозволили встановити оптимальні режими вібраційного зміцнення: частота коливань робочого органу $n=1400$ хв⁻¹; амплітуда робочого органу $A=0,5$ мм; час зміцнення $t=20$ с.

Експериментально встановлено, що максимальне збільшення діаметру диска сошника 3,62 мм мало місце при його відновленні приварюванням сегментів зі сталі 45 з наступним наплавленням сормайттом, а найбільше зменшення товщини ріжучої кромки леза диска 0,29 мм спостерігалось у дисках, відновлених приварюванням сегментів зі сталі 65Г.

У результаті досліджень виявлено ідентичність приросту діаметра диска і зменшення товщини його леза при вібраційному зміцненні.

З'ясовано, що при тривалості зміцнення $t=20$ с найбільше значення інтенсивності збільшення діаметра 0,145 мм/с мали диски, відновлені приварюванням сегментів зі сталі 45 з наступним автоматичним наплавленням сормайттом, а найменше 0,071 мм/с – диски відновлені приварюванням сегментів

зі сталі 65Г з наступним автоматичним наплавленням сормайтотом (рис. 1).

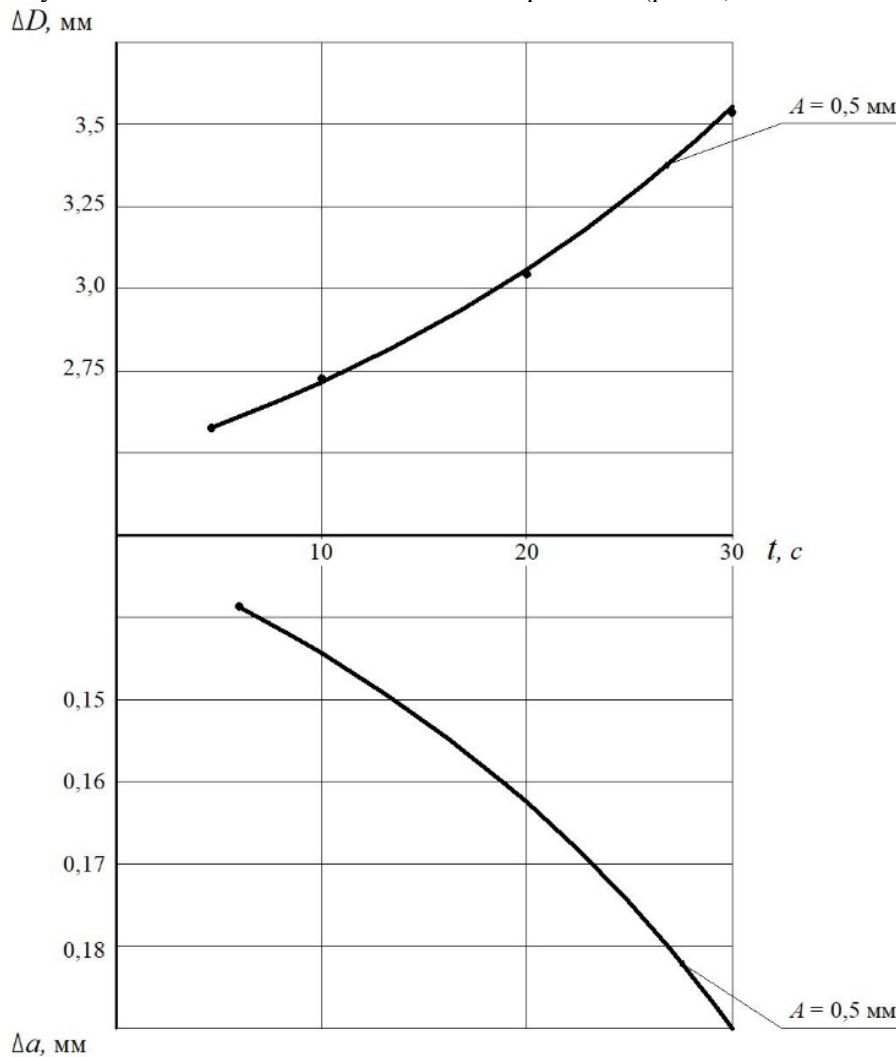


Рис. 1. Характер протікання деформації диска по діаметру ΔD і товщині Δa леза

Результати досліджень свідчать, що при відновленні зношеного диска наплавкою виникають залишкові напруження радіальні δ_r і окружні δ_θ .

Зважаючи на значення пластичного деформування, радіальні і окружні напруження матимуть вигляд:

$$\delta_r = \frac{E}{1-\mu^2} \left[\frac{dU}{dr} + \mu \frac{U}{r} - (\epsilon_r^0 + \mu \epsilon_\theta^0) \right], \quad (1)$$

$$\delta_\theta = \frac{E}{1-\mu^2} \left[\frac{U}{r} + \mu \frac{dU}{dr} - (\epsilon_\theta^0 + \mu \epsilon_r^0) \right], \quad (2)$$

де E – модуль Юнга; μ – коефіцієнт Пуансона; ϵ_r^0 і ϵ_θ^0 – умовні пластичні деформування; $U = U(r)$ – радіальні переміщення; r – координати в радіальному напрямку.

Отримані математичні залежності, враховуючи експериментальні дані, дозволяють визначити величину залишкових напружень у будь-якій точці диска, відновленого методом наплавки сегментних шин.

Отримані розрахунковим шляхом залишкові напруження приведені в табл. 1.

1. Значення залишкових напружень

Варіант диска сошника	Залишкові напруження, МПа	
	δ_T	δ_σ
1. Нові зі сталі 65Г	95–104	133–149
2. Відновлені приварюванням сегментів зі сталі 45 з наплавкою сормайт і вібраційним зміцненням	80–89	113–126

Зносостійкість деталей ґрунтообробної техніки під час вібраційної обробки багато в чому залежить від ступеня зміцнення матеріалу деталі. Робота [24] вказує, що рекомендації з визначення цих значень відсутні в літературі.

Під час проведення досліджень обґрунтовано використання залежності для визначення ступеня зміцнення η матеріалу ріжучої кромки відновлених дисків сошників:

$$\eta = \log_{\varepsilon} \frac{\delta_S}{\delta_T} \quad (3)$$

де δ_S – напруження течії; δ_T – межа текучості; ε – логарифмічний ступінь деформації.

Розрахункові значення ступеня зміцнення, одержані по залежності (3), приведені в табл. 2.

Встановлено, що ступінь зміцнення матеріалу дисків сошників, відновлених приварюванням сегментів з наступною наплавкою сормайт при вібраційному деформуванні в 1,45...1,59 більше, ніж при звичайній обробці.

Збільшення товщини ріжучої кромки леза дисків у процесі стендових випробувань суттєво впливає на його зношування, що знижує якість технологічного процесу посіву.

2. Розрахункові значення ступеня зміцнення

Оброблюваний матеріал	Ступінь зміцнення, η	
	Звичайне деформування	Вібраційне деформування
1. Сталь 65Г	0,115	0,167
2. Сталі 45, сормайт	0,091	0,145

Під час випробувань на ґрунтовому каналі кожен диск вимірювали у трьох перерізах через кожні чотири години їх роботи протягом 24 год.

Методикою дослідження були передбачені такі варіанти дисків $\varnothing 350$ мм: нові диски зі сталі 65Г; відновлені приварюванням сегментів зі сталі 45 з наплавленням сормайт і вібраційним зміцненням (табл. 3).

3. Характеристика параметрів дисків

Варіант диска	Параметри вимірювання		
	зовнішній діаметр D, мм	товщина ріжучої кромки a, мм	кут леза, φ°
1	350	2,47	20°15'
2	350	2,44	20°2'

Дані лабораторних вимірювань наведені в табл. 4.

4. Результати зносу дисків при стендових випробуваннях

Номер варіанту	Знос діаметра D		Знос товщини леза a	
	абсолютний знос, м	відносний знос, мм	абсолютна зміна товщини, мм	відносна зміна товщини, мм
1	0,78	0,0023	0,52	0,207
2	0,29	0,0008	0,28	0,115

Результати експериментальних досліджень зміни зносу діаметра ΔD диска та зносу товщини Δa диска в стендових умовах випробувань наведено на рис. 2.

У результаті проведених стендових випробувань дисків і дослідження властивостей їх матеріалу запропонований варіант диска, відновленого приварюванням сегментів зі сталі 45 з наплавкою сормайт з наступним вібраційним зміцненням.

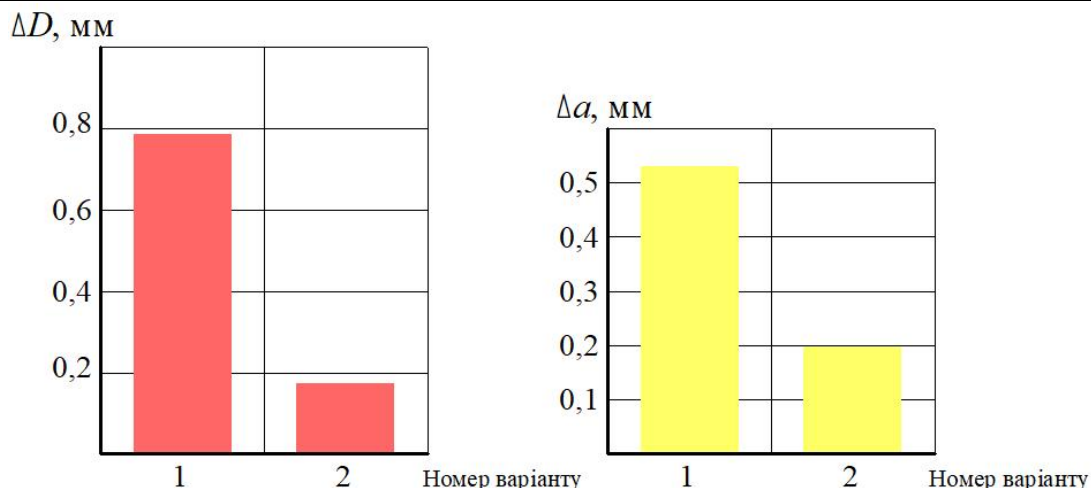


Рис. 2. Зміна діаметрального зносу ΔD дисків та їх товщини Δa леза при стендових випробуваннях: 1 – нові диски зі сталі 65Г; 2 – відновлені приварюванням сегментів зі сталі 45 з наплавленням сормайтотом і вібраційним зміцненням

За отриманими даними рекомендується диск сошника діаметром 350 мм з приварюванням сегментів зі сталі 45 з наплавленням сормайтотом і подальшим вібраційним зміцненням робочої поверхні. Товщина леза диска має становити $2,5 \pm 0,1$ мм.

Лабораторні дослідження показали, що поверхні дисків сошників функціонально відповідають умовам їх відновлення. Однак реальні умови роботи зернових сівалок відрізняються через велику кількість факторів, що впливають на диски сошників, врахувати які в лабораторних умовах не є можливим.

Тому для перевірки експлуатаційної стійкості відновлених і зміцнених вібраційним методом дисків сошників їх встановлювали на 24-и рядні сівалки СЗ-3,6.

В умовах польових випробувань швидкість руху сівалок становила 10...12 км/год.

Дані про напрацювання зернових сівалок із зазначеними варіантами дисків сошників наведені в табл. 5.

5. Результати зносу дисків при стендових випробуваннях

Варіанти диска сошника	Засіяна площа, га	Знос диска по діаметру, мм	Збільшення товщини леза ножа диска, мм
1. Нові диски зі сталі 65Г	196	1,42	1,00
2. Диски, відновлені приварюванням сегментів зі сталі 45 з наплавленням сормайтотом та зміцнені вібраційним деформуванням	265	0,83	0,56

Найбільше значення напрацювання 265 га мала сівалка з дисками сошників, відновленими приварюванням сегментів зі сталі 45 з наступним автоматичним наплавленням сормайтотом і зміцненням вібраційним деформуванням. Збільшення напрацювання порівняно з новими дисками становитиме 1,35 раза, зменшення зносу диска по діаметру в 1,71 раза, а збільшення товщини леза ножа диска в 1,78 раза.

Експлуатаційні дослідження зазначених варіантів дисків сошників показали повну відповідність стендовим випробуванням. Найбільшу зносостійкість в обох випадках випробувань показали диски сошників, відновлені приварюванням сегментів зі сталі 45 з автоматичним наплавленням сормайтотом і вібраційним зміцненням.

Висновки

1. Виконаний аналіз експлуатаційної стійкості дисків сошників, встановлених на зернових сівалках.
2. Дослідження показали, що розроблений метод відновлення вібраційним деформуванням забезпечує підвищення зносостійкості дисків сошників: швидкість зношування його по діаметру знижується в 1,71 раза, зменшується затуплення лез в 1,78 раза порівняно з новими дисками.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження будуть спрямовані на проведення випробувань з відновлення інших деталей ґрунтообробних машин, що працюють у різних умовах.

References

1. Balabukha, A. V. (2000). Yssledovanye yznashyvaniya lemekhov uprochnennykh duhvoy tochechnoy naplavkoy. *Zbirnyk Naukovykh Prats Luts'koho Derzhavnogo Tekhnichnogo Universytetu*, 7, 9–11 [In Russian].
2. Boyko, A. Y., & Balabukha, A. V. (2000). Uprochnenye lezvyuy, kak metod upravleniya ykh heometrycheskykh form pry yznashyvaniyu. *Visnyk Kharkivskoho Tekhnichnogo Universytetu Silskoho Hospodarstva*, 4, 49–56 [In Russian].
3. Voytyuk, D. H., & Havrylyuk, R. H. (2018). *Silskohospodarski mashyny*. Kyiv: Karavela [In Ukrainian].
4. Bilousko, Ya. K., Burylko, A. V., & Halushko, V. O. (2007). *Problemy realizatsiyi tekhnichnoyi polityky v ahropromyslovomu kompleksi*. Kyiv: NNTS IAE [In Ukrainian].
5. Dudnikov, A., Dudnikov, I., Kelemesh, A., & Gorbenko, O. (2019). Improving the technology of part machining by surface plastic deformation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Engineering Technological Systems*, 1 (102), 26–32. doi: 10.15587/1729-4061.2019.183541.
6. Akhmetshyn, T. F. (2013). Povyshenye yznosostoykosti y dolhovechnosti pochvoobrabatyvayushchykh rabochykh orhanov. *Yzvestiya Orenburzhskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 41, 81–84 [In Russian].
7. Hudz, V. P., Lisovon, A. P., Andriyenko, V. O., & Rybak, M. F. (2007). *Zemlerobstvo z osnovy gruntoznavstva i ahrokhimiyi*. Kyiv: Tsentr uchbovoyi literatury [In Ukrainian].
8. Panchenko, A. N., & Shtepa, V. P. (1995). *Analytycheskiy metod opredeleniya tyahovykh soprotivleniy pochvoobrabatyvayushchykh mashyn y otsenka ykh effektivnosti dlya enerhosberehayushchykh tekhnolohyy*. Dnepropetrovsk: DHAU [In Russian].
9. Tenenbaum, M. M. (1985). *Soprotivlenye abrazivnomu yznashyvaniyu*. Moskva: Mashinostroyeniye [In Russian].
10. Korotkevich, V. A. (2002). *O vliyaniy skorosti dvizheniya na iznos klina v pochvennoy srede*. Moskva: Mashinostroyeniye [In Russian].
11. Tsimerman, M. Z. (1978). *Rabochiye organy pochvoobrabatyvayushchikh mashin*. Moskva: Mashinostroyeniye [In Russian].
12. Imamov, I. S. (1992). Mekhaniko-tekhnicheskiye osnovy teorii deformatsii pochvy rabochimi organami pochvoobrabatyvayushchikh i posevnykh mashin. *Extended abstract of candidate's thesis*. Nauchno-proizvodstvennoye obyedineniye po selskokhozyaystvennomu mashinostroyeniyu, Moskva [In Russian].
13. Tkachev, V. N. (1995). *Rabotosposobnost detaley mashyn v uslovyakh abrazivnogo yznashyvaniya*. Moskva: Mashinostroyeniye [In Russian].
14. Kostetskiy, B. Y. (1970). *Soprotivlenye yznashyvaniyu detaley mashyn*. Kyiv: Tekhnyka [In Russian].
15. Tsarenko, O. M., Voytyuk, D. H., Shvayko, V. M., Dovzhyk, M. Y., & Yatsun, S. S. (2003). *Mekhaniko-tekhnolohichni vlastyivosti silskohospodarskykh materialiv*. Kyiv: Meta [In Ukrainian].
16. Anuryev, V. I. (1980). *Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya*. Moskva: Mashinostroyeniye [In Russian].
17. Dudnikov, A. A., Belovod, A. I., Dudnyk, V. V., Kanivets, A. V., & Kelemesh, A. A. (2011). Effect of part cutting type on stress state of material. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW: Agriculture (Agricultural and Forest Engineering)*, 58, 85–87.
18. Dudnikov, A. A., Belovod, A. I., Pasyuta, A. G., Goorbenko, A. V., & Kelemesh, A. A. (2015). Dynamics of wear of the cutting elements of tillers. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW: Agriculture (Agricultural and Forest Engineering)*, 65, 15–18.
19. And, H. S., & Tang, W. H. (1984). *Probability concepts in engineering planning and design*. New York: John Wiley and Sons.
20. Klyuyenko, V. N. (1998). Tochechnoye uprochneniye detaley pochvoobrabatyvayushchikh mashin s pomoshchyu gibkogo perenalazhivayemogo modulya. *Svarochnoye Proizvodstvo*, 1, 13–17.
21. Richard, D. D. (1998). *Corede Electrodes*. New York: Chemerton Corporation United States of America.

22. Augusti, G., Baratta, A., & Casciati, F. (1994). *Probabilistic methods in structural engineering*. London: Chapman and Hall.
23. Lou, Y., He, J., Chen, H., & Long, M. (2017). Effects of vibration amplitude and relative grain size on the rheological behavior of copper during ultrasonic-assisted microextrusion. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89 (5–8), 2421–2433. doi: 10.1007/s00170-016-9288-7.
24. 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.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2020 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Дудніков А. А., Дудник В. В., Бурлака О. А., Канівець О. В., Кривонос С. М. Відновлення деталей поверхневим пластичним деформуванням. *Вісник ПДАА*. 2020. № 4. С. 251–258.

© Дудніков Анатолій Андрійович, Дудник Володимир Васильович, Бурлака Олексій Анатолійович, Канівець Олександр Васильович, Кривонос Станіслав Михайлович, 2020