

УДК 620.178.1:631.313.02

ЗМІНА ПОВЕРХНЕВОЇ ТВЕРДОСТІ ЛЕМІШНО-ЛАПОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

К. В. БОРАК кандидат технічних наук, заступник директора з навчальної роботи

<http://orcid.org/0000-0002-5611-4707>

Житомирський агротехнічний коледж

E-mail: koss1983@meta.ua

***Анотація.** У процесі зношування поверхні тертя змінюють свої фізико-механічні властивості, що може призводити до збільшення або зменшення інтенсивності зношування. Вивчення закономірностей зміни фізико-механічних властивостей поверхневих шарів у процесі зношування дозволить розробити рекомендації для підвищення зносостійкості деталей машин.*

Завдання дослідження полягало у визначенні впливу характеристик ґрунтового середовища на зміну поверхневої твердості робочих органів ґрунтообробних машин у процесі їхньої експлуатації. Вимірювання твердості виконували ультразвуковим методом за допомогою ультразвукового твердоміра Т-УД-2 відповідно до стандарту ASTM A1038–19.

У результаті зношування поверхонь лемішно-лапових робочих органів у процесі їхньої експлуатації, поверхнева твердість підвищується на 1,61...21,42 %, що пояснюється процесом «самонаклепу» у разі взаємодії з абразивними частинками ґрунту, які мають більшу твердість. Слід відмітити більш суттєве підвищення твердості на поверхні робочих органів плугів 7,44...21,42 % в порівнянні з підвищенням твердості на культиваторних лапах 1,61...5,2 %. Зростання питомого тиску в зоні контакту абразиву з поверхнею та ступеня закріплення абразиву призводить до зростання твердості поверхні робочих органів ґрунтообробних машин. У процесі зношування лемішно-лапових робочих органів ґрунтообробних машин спостерігається збільшення поверхневої твердості, що можна пояснити «наклепуванням» поверхневого шару. «Наклепування» відбувається завдяки високій швидкості пластичної деформації, що переважає швидкість термічних процесів на поверхні тертя, оскільки дана трибосистема є відкритою.

***Ключові слова:** твердість, поверхня, робочий орган, ґрунтообробна машина*

***Актуальність.** У разі зношування робочих органів ґрунтообробних машин на поверхневий шар діє декілька факторів: механічний, хімічний, тепловий та*

фізичний. Зміна характеристик та властивостей поверхневого шару робочого органу на пряму залежить від кількісного співвідношення цих чинників.

Твердість є важливою властивістю первинної структури і визначає величину зносостійкості матеріалу. Однак в екстремальних умовах тертя твердість мікрооб'ємів може змінювати своє значення, в порівнянні з твердістю первинної структури (Фадін В.В., Алеутдимова О.А., Куликова О.А., 2014). У результаті пластичної деформації, що протікає в процесі тертя і за умови переважання тим часом над тепловою дією, поверхневий шар полікристалічного тіла наклепується, підвищується межа текучості, межа міцності та підвищується твердість. Дослідним шляхом встановлено, що за одних і тих же умов тертя (навантаженню, швидкості, температурі, тривалості навантаження та інших чинників), коли швидкість деформації переважає над термічними процесами, метал на поверхні тертя додатково наклепується та підвищує свою зносостійкість. Попереднє зміцнення поверхневих шарів металу деталей механічною обробкою може сприяти підвищенню його зносостійкості, а за інших умов може бути не тільки марним, але і прискорювати процес зношування (Мишин І.А., 1976). Тому дослідження зміни поверхневої твердості робочої поверхні лемішно-лапових робочих органів ґрунтообробних машин є беззаперечно актуальним завданням, що дозволить вирішити питання підвищення їхньої зносостійкості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням зміни властивостей поверхневих шарів деталей машин, що працюють в умовах абразивного зношування займалися у свій час Костецький Б. І. (Костецький Б. І., 1959), Хрущов М. М. (Хрущов М. М., Бабичев М. А., 1960, 1970), Тененбаум М. М. (Тененбаум М. М., 1966, 1976), Северньов М. М. (Севернев М. М., 2011), Ткачов В. Н. (Ткачев В. Н., 1995), Аулін В. В. (Аулін В.В., 2015) та інші.

Костецьким Б. І. відзначається, що метал поверхонь тертя в процесі зношування переживає складні перетворення. Відбувається як зміцнення, так і процес зменшення міцності, термічні процеси загартування, зміна хімічного складу внаслідок хімічних реакцій та дифузійних явищ. Характеристики

зносостійкості металів можна обґрунтовано пов'язувати не з вихідними механічними властивостями, а з властивостями вторинних структур, які утворюються на поверхнях тертя в процесі зношування [3].

У роботі (Денисенко М. И., Зазимко О. В., Лабунец В. Ф., Загребельный В.В., 2015) під час дослідження зміни характеристик поверхневих шарів зразків зі сталі 65Г, у середовищі кварцового піску зернистістю 250 мкм з'ясовано, що відбувається миттєве окиснення поверхневих шарів з утворенням тонких захисних плівок – вторинних структур. Дані дослідження підтверджують утворення вторинних структур у разі абразивного зношування, але не дають чіткої відповіді, як данні зміни впливатимуть на зносостійкість сталі. Крім того слід відзначити, що дослідження (Денисенко М. И., Зазимко О. В., Лабунец В. Ф., Загребельный В.В., 2015) проводилися з ідеалізованою абразивною масою (кварцовим піском) і не можуть описувати процеси, які відбувається на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин, оскільки вони взаємодіють із реальним ґрунтом. Ґрунт це складна гетерофазна система, взаємодіючи з якою на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин відбуваються складні процеси (хімічні, фізичні, механічні, термічні) дослідити, які можна тільки в експлуатаційних умовах.

Мета роботи – в експлуатаційних умовах дослідити зміну поверхневої твердості лемішно-лапових робочих органів ґрунтообробних машин.

Матеріали та методи дослідження. Визначення твердості поверхневих шарів робочих органів ґрунтообробних машин виконували за допомогою ультразвукового твердоміра Т-УД-2 відповідно до стандарту ASTM A1038–19 [12].

Дослідження зміни твердості поверхні лемішно-лапових робочих органів проводили на агрегатах:

- плуга Diamant 11 виробник Lemken (рис. 1) в умовах Козятинського району, Вінницької області;
- культиватора КПС-9 ПМ виробник ВАТ "Восход" в умовах Козятинського району, Вінницької області;

- культиватора John Deere 2210 в умовах «Райз-Полісся» Овруцького району, Житомирської області;
- розпушувача John Deere 2700 в умовах «Райз-Полісся» Овруцького району, Житомирської області;
- культиватора Kverneland cultibar в умовах «Райз-Полісся» Овруцького району, Житомирської області;
- плуга Kverneland в умовах «Райз-Полісся» Овруцького району, Житомирської області.



Рис. 1 Загальний вигляд плуга Diamant 11 фірми Lemken

Результати дослідження та їх обговорення. Результати досліджень представлено в таблиці 1.

1. Зміна поверхневої твердості робочих органів лемішно-лапових робочих органі ґрунтообробних машин в процесі експлуатації

Гр	Сільськогосподарська машина	Тип робочого органу		Твердіть робочої поверхні елемента
----	-----------------------------	---------------------	--	------------------------------------

			Сторона проведення заміру	трибосистеми «робочий орган - ґрунт», \bar{x} (НРС)	
				Початкова	Після експлуатації
глина легка	Diamant 11 фірми Lemken	Долото	Зовнішня	40,67	44,78
		Груди полиці	Зовнішня	39,91	48,45
		Леміш	Зовнішня	46,80	50,28
		Полоса полиці	Зовнішня	47,16	54,60
	КПС-9 ПМ	Лапа	Зовнішня	38,20	40,20
		Лапа	Внутрішня	38,41	34,00
супіщаний	John Deere 2210	Лапа	Зовнішня	39,24	41,05
		Лапа	Внутрішня	39,09	40,08
	Kverneland cultibar (робочі органи Bellota)	Лапа	Зовнішня	47,8	48,57
		Лапа	Внутрішня	49,42	51,50
	плуг Kverneland	Долото	Зовнішня	53,41	61,30
		Груди полиці	Зовнішня	56,71	62,28
		Леміш (вітчизняного виробництва сталь 65Г)	Зовнішня	38,77	41,55
		Полиця	Зовнішня	52,53	63,28

Як бачимо з таблиці 1 в результаті взаємодії лемішно-лапових робочих органів із ґрунтовою масою в процесі їхньої експлуатації, поверхнева твердість підвищується на 1,61...21,42 %, що пояснюється процесом «самонаклепу» у разі взаємодії з абразивними частинками ґрунту, які мають більшу твердість. Слід відмітити більш суттєве підвищення мікротвердості на поверхні робочих органів плугів 7,44...21,42 % як порівняти з підвищенням мікротвердості на культиваторних лапах 1,61...5,2 %.

Виняток становить внутрішня поверхня культиваторних лап агрегату КПС-9 ПМ за експлуатації на легкій глині, де спостерігається зменшення мікротвердості на 10,29 %, що пояснюється відсутністю процесу «самонаклепу».

Для аналізу впливу питомого тиску та ступеня закріплення абразивних частинок на величину зміни поверхневої мікротвердості робочих органів ґрунтообробних машин були проведені дослідження на робочих органах плуга Kverneland. Для проведення замірів робоча поверхня кожного робочого органу розбивалася на сектори (рис. 2) після чого проводилися заміри твердості по розбитих секторах (рис. 3.)

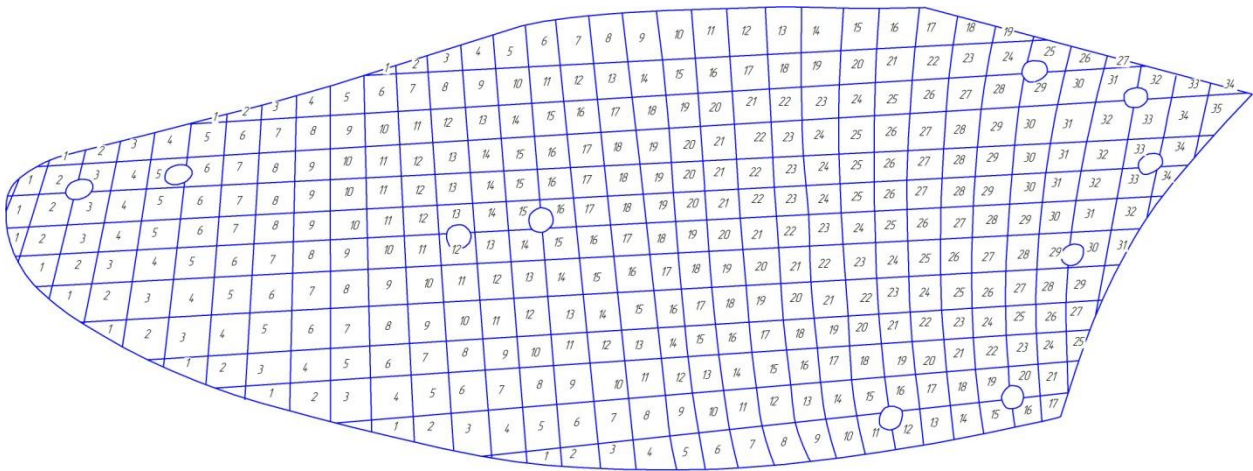


Рис. 2 Схема замірів на полиці плуга Kverneland.

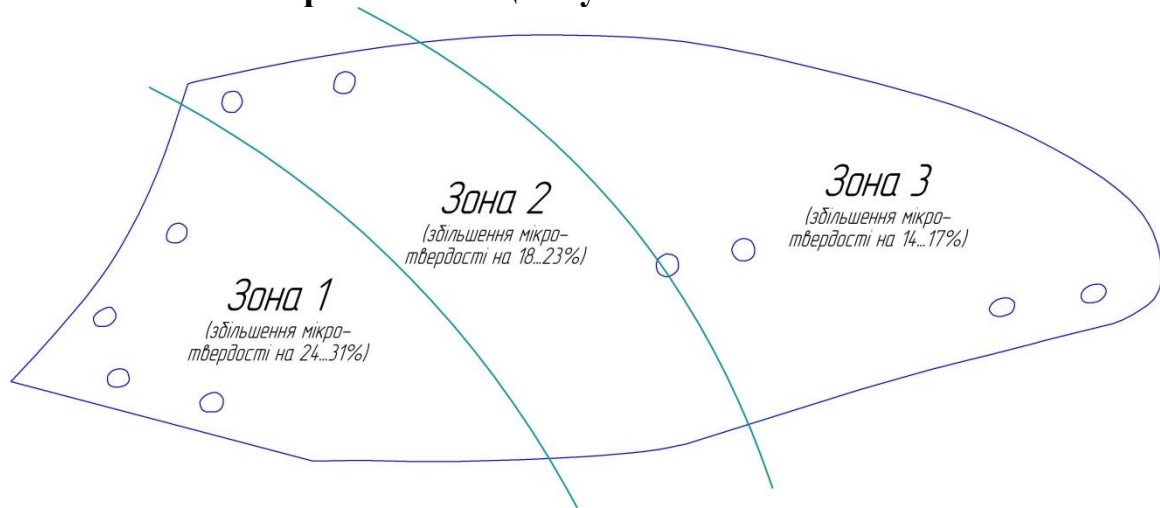


Рис. 3. Зміна твердості на поверхні полиці плуга Kverneland у результаті взаємодії з ґрунтовим середовищем.

Після проведення дослідження полицю залежно від рівня підвищення твердості умовно розбили на три зони. У першій зоні спостерігається більш суттєве підвищення поверхневої твердості (24...31 % як порівняти з новою поверхнею полиці), що можна пояснити більшим питомим тиском абразивних частинок на поверхню тертя в зоні фрикційного контакту та більшим ступенем

закріплення абразивних частинок, які взаємодіють з поверхнею. У зоні 1 також значно більше подряпин поверхні порівняно з зоною 2 та 3, що вказує на наявність процесів мікрорізання (рис. 4).



Рис. 4. Поверхня полиці плуга Kverneland (зона 1).

У леміші, долоті і грудях полиці спостерігалось наявність четвертої зони на ширині до 10 мм у місці початку взаємодії з ґрунтовим середовищем де навпаки спостерігалось зменшення мікротвердості поверхні на 5,14...7,59 %.

Закономірність підвищення мікротвердості на поверхні робочих органів, що працюють у ґрунті справедлива для всіх деталей, які взаємодіють із ґрунтом. Підтвердження цього ми отримали і для робочих органів сівалок John Deere 3S-4000HD, СЗ-5,4 і Amazone Centaya, де підвищення поверхневої мікротвердості складало 7,2...11,4 %.

Висновки. У процесі зношування лемішно-лапових робочих органів ґрунтообробних машин спостерігається збільшення поверхневої твердості, що можна пояснити «наклепуванням» поверхневого шару. «Наклепування» відбувається внаслідок високої швидкості пластичної деформації, що переважає

швидкість термічних процесів на поверхні тертя, оскільки дана трибосистема є відкритою.

Список використаних джерел

1. Фадин В. В., Алеутдинова М. И., Куликова О. А. Влияние твёрдости на износостойкость материала в условиях экстремального воздействия электрическим током и трением. *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 5. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14840> (дата звернення 1.02.2020).

2. Мишин И. А. Долговечность двигателей. Ленинград: Машиностроение, 1976. 288с.

3. Костецкий Б. И. Сопротивление изнашиванию деталей машин. Москва; Киев : МАШГИЗ, 1959. 478 с.

4. Хрущов М. М., Бабичев М. А. Абразивное изнашивание. Москва : Наука, 1970. 252 с.

5. Хрущов М. М., Бабичев М. А. Исследования изнашивания металлов. Москва : АН СССР, 1960. 272 с.

6. Тененбаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин. Москва : Машиностроение, 1966. 332 с.

7. Тененбаум М. М. Сопротивление абразивному изнашиванию. Москва : Машиностроение, 1976. 271 с.

8. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / М. М. Севернев и др. ; под. ред. М. М. Севернева. Минск : Беларус. навука, 2011. 333 с.

9. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей в условиях абразивного изнашивания. Москва : Машиностроение, 1995. 336 с.

10. Аулін В. В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки.- Дисертація д-ра техн. наук: 05.02.04, Хмельниц. нац. ун-т. - Хмельницький, 2015. 360 с.

11. Денисенко М. И., Зазимко О. В., Лабунец В. Ф., Загребельный В. В. Роль вторичных структур при абразивном изнашивании конструкционных материалов. *Проблеми тертя та зношування*. Київ: Національний авіаційний університет. 2015. № 4 (69). С. 38-42.

12. ASTM A1038 - 19 Standard Test Method for Portable Hardness Testing by the Ultrasonic Contact Impedance Method. 8p.

References

1. Fadin, V.V., Aleutdinova, M.I., Kulikova, O.A. (2014). Vliyanie tvyordosti na iznosostojkost` materiala v usloviyah e`kstremal`nogo vozdejstviya e`lektricheskim tokom i treniem [Effect of hardness on material wear resistance in conditions of Extreme exposure by electric current and friction]. *Sovremennyy`e problemy` nauki i obrazovaniya*, № 5. Retrieved from <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14840>.

2. Mishin, I.A. (1976). Dolgovechnost` dvigatelej [Engine durability]. Leningrad: Mashinostroenie, 288.

3. Kosteczkiy, B.I. (1959). Soprotivlenie iznashivaniyu detalej mashin [Resistance to wear of machine parts]. Moskva; Kiev: MASHGIZ, 478.

4. Xrushhov, M.M., Babichev, M.A. (1970). Abrazivnoe iznashivanie [Abrasive wear]. Moskva: Nauka, 252.
5. Xrushhov, M.M., Babichev, M.A. (1960). Isledovaniya iznashivaniya metalov [Metal wear studies]. Moskva: AN SSSR, 272.
6. Tenebaum, M.M. (1966). Iznosostojkost` konstrukcionny`x materialov i detalej mashin [Wear resistance of structural materials and machine parts]. Moskva : Mashinostroenie, 332.
7. Tenenbaum, M.M. (1976). Soprotivlenie abrazivnomu iznashivaniyu [Abrasion resistance]. Moskva: Mashinostroenie, 271.
8. Severnev, M.M., Podlekarev, N.N., Soxadze, V.S., Kitikov, V.O. (2011). Iznos i koroziya sel`s`koxozyajstvenny`x mashin [Wear and corrosion of agricultural machinery]. Minsk: Belarus. Navuka, 333.
9. Tkachev, V.N. (1995). Rabotosposobnost` detalej v usloviyax abrazivnogo iznashivaniya [Parts performance under abrasive conditions]. Moskva: Mashinostroenie, 336.
10. Aulin, V.V. (2015). Trybofizychni osnovy pidvyshchennia znosostiikosti detalei ta robochykh orhaniv silskohospodarskoi tekhniki [Tribophysical bases of wearproofness of details and working organs of agricultural technique increasing]. (Doctoral dissertation). Khmelnytskyi, Hmelnytskyi natsionalnyi universytet, 360.
11. Denisenko, M.I., Zazimko, O.V., Labunecz, V.F., Zagrebel`ny`j, V.V. (2015). Rol` vtorichny`x struktur pri abrazivnom iznashivanii konstrukcionny`x materialov [Role of secondary structures in construction materials abrasiv wear]. Problemi tertya ta znoshuvannya, 4, 38-42.
12. ASTM A1038 – 19 (2019) Standard Test Method for Portable Hardness Testing by the Ultrasonic Contact Impedance Method. 8.

**ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТВЕРДОСТИ ЛЕМЕШНО-
ЛАПОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ
МАШИН В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**
К. В. Борак

***Аннотация.** В процессе износа поверхности трения изменяют свои физико-механические свойства, что может приводить к увеличению или уменьшению интенсивности износа. Изучение закономерностей изменения физико-механических свойств поверхностных слоев в процессе износа позволит разработать рекомендации для повышения износостойкости деталей машин.*

Задача исследования состояла в определении влияния характеристик почвенной среды на изменение поверхностной твердости рабочих органов почвообрабатывающих машин в процессе их эксплуатации. Измерения твердости выполняли ультразвуковым методом с помощью ультразвукового твердомера Т-УД-2 в соответствии со стандартом ASTM A1038-19.

В результате износа поверхностей лемешно-лаповых рабочих органов в процессе их эксплуатации, поверхностная твердость повышается на 1,61...21,42 %, что объясняется процессом «самонаклепу» при взаимодействии с абразивными частицами почвы, имеющие большую твердость. Следует

отметить более существенное повышение твердости на поверхности рабочих органов плугов 7,44...21,42 % в сравнении с повышением твердости на культиваторных лапах 1,61...5,2 %. Рост удельного давления в зоне контакта абразива с поверхностью и степени закрепления абразива приводит к росту твердости поверхности рабочих органов почвообрабатывающих машин. В процессе износа лемешно-лаповых рабочих органов почвообрабатывающих машин наблюдается увеличение поверхностной твердости, что можно объяснить «наклепом» поверхностного слоя. «Наклеп» происходит за счет высокой скорости пластической деформации, которая преобладает над скоростью термических процессов на поверхности трения, поскольку данная трибосистема является открытой.

Ключевые слова: твердость, поверхность, рабочий орган, почвообрабатывающая машина

VARIATION OF THE SURFACE HARDNESS OF PLOW-AND-TINE MOVABLE OPERATING PARTS OF TILLING MACHINES BEING IN SERVICE

K. Borak

Abstract. *Physical and mechanical properties of friction surfaces are subject to changes in the process of wear, thus providing for probable increase or decrease in the wear rate. The study of laws governing the wear induced changes of the physical and mechanical properties of the surface layers will allow to work out the recommendations for improvement of the machine part wear resistance.*

The purpose of the study was to determine the effect of the soil environment characteristics on the variation of the surface hardness tilling machine movable operating parts in service. Hardness measurements were performed using the T-UD-2 ultrasonic hardness meter under ASTM A1038-19.

Because of wear of the surfaces of the plow-and-tine movable operating parts of tilling machines being in service, the surface hardness increases by 1,61...21,42 %, which is explained by the self-strain-hardening process taking place due to interaction with the abrasive soil particles that have a higher hardness. A note should be made of a more significant increase of the micro-hardness on the surface of the movable operating parts of plows, i.e. by 7,44...21,42 % compared to 1,61...5,2 %, whereby the same is increased in the tines. The build-up of the specific pressure in the abrasive material-to-surface contact area and increase of the abrasive consolidation degree lead to an increase of the surface hardness of the tilling machine movable operating parts. An increase in surface hardness has been observed in the process of wear of the plow-and-tine movable operating parts of tilling machines, which can be explained by strain-hardening of the surface layer. The strain-hardening effect occurs due to the high speed of the plastic strain exceeding the speed of thermal processes on the friction surface since the said tribosystem is of open type.

Keywords: Hardness, Surface, Movable operating part, Tilling machine