

УДК 620.197.16

ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА АБРАЗИВНУ ЗНОСОТРИВКІСТЬ ДИСКІВ СОШНИКІВ СІВАЛОК ЗІ СТАЛІ 65Г

В. І. КИРИЛІВ¹, Б. П. ЧАЙКОВСЬКИЙ², В. М. ГВОЗДЕЦЬКИЙ¹,
Р. Д. КУЗЬМІНСЬКИЙ³, О. В. МАКСИМІВ¹, А. В. ШАЛЬКО²

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;

² Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
ім. С. З. Гжицького;

³ Львівський національний аграрний університет

Досліджено зносотривкість дисків сошників сівалок зі сталі 65Г в умовах сухого абразивного тертя. Показано, що гартування з низькотемпературним відпуском збільшує зносотривкість зразків зі сталі 65Г у 2,6 та 13 разів за випробувань незакріпленим та закріпленим абразивом відповідно, а отже, термічна обробка підвищує роботоздатність дисків сошників сівалок.

Ключові слова: сталь 65Г, диски сошників сівалок, абразивна зносотривкість, незакріплений абразив, жорстко закріплений абразив.

Вступ. Одним із головних секторів економіки України є аграрний [1]. Його ефективність суттєво залежить від надійної роботи технологічного обладнання та його вузлів. Серед важливих і поширених вузлів сільськогосподарської техніки є сошники сівалок. Від їх надійної роботи залежить як продуктивність, так і урожайність зернових культур. Найвідповідальнішим елементом сошників є диски, які працюють у важких умовах сухого тертя та абразивного зношування. На сьогодні в Україні майже 90% посівів зернових припадає на сівалки типу СЗ-3,6 [2], які обладнані в основному сошниками дискового типу (рис. 1). Незначний термін роботи дисків без термічної обробки зумовлений зношенням робочої поверхні до мінімально допустимого діаметра 320 mm після посівів на площі біля 1300 ha. Виникає необхідність виготовлення для них великої кількості запасних частин. На сьогодні агротехнічна галузь України щорічно потребує до 3 млн. нових дисків загальною вартістю ~115 млн. грн. Для їх виготовлення необхідно майже $5,4 \cdot 10^6$ kg листа зі сталі 65Г. Тому необхідна термічна обробка дисків, що повинно забезпечити їх високу зносотривкість в умовах абразивного зношування, збільшити ресурс роботи, знизити собівартість та підвищити конкурентоздатність сільськогосподарської продукції. Збільшити роботоздатність цих деталей можна, наприклад, наноструктуризацією поверхневого шару механоімпульсною обробкою (МІО), яка є ефективною для зносотривкості в умовах оливо-абразивного зношування [3, 4]. Ефективно підвищують зносотривкість за таких умов також покриття, отримані газотермічним напиленням [5], електродугові покриття з порошкових дротів [6] тощо. Тому, враховуючи об'єми виробництва та конструктивні особливості деталей, доцільність та ефективність термічної обробки для таких цілей не викликає сумнівів. Кількісні показники її є важливими, зокрема, для порівняння різних зміцнювальних обробок з врахуванням об'ємів та специфічних умов роботи цих деталей.

Мета роботи – дослідити вплив термічної обробки та МІО на абразивну зносо-
 стійкість дисків сошників сівалок зі сталі 65Г.

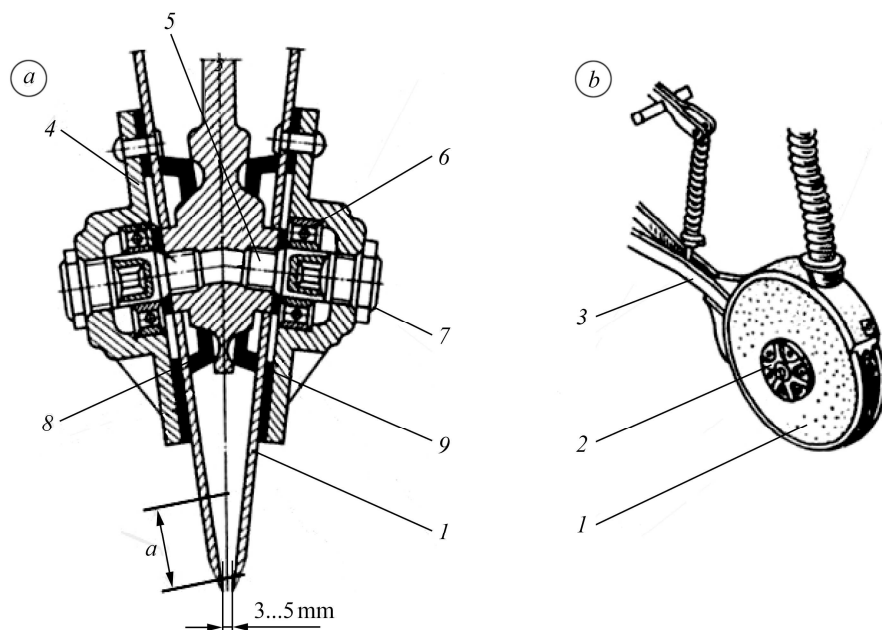


Рис. 1. Схема конструкції дводискового сошника сівалки СЗ-3,6 (а) та його зовнішній
 вигляд (b): 1 – диск; 2 – система кріплення та регулювання; 3 – корпус; 4 – кришка;
 5 – вісь; 6 – підшипник; 7 – заглушка; 8 – прокладка; 9 – ущільнювач;
 а – робоча ділянка диска 45...60 мм.

Fig. 1. Scheme of the seeding machine to two-disk furrow-opener СЗ-3.6 (a)
 and its appearance (b): 1 – disk; 2 – fastening and control system; 3 – frame; 4 – cap;
 5 – axis; 6 – bearing; 7 – end cap; 8 – gasket; 9 – sealant strip; a – disk working section 45...60 mm.

Методики досліджень. Досліджували плоскі зразки з листової сталі 65Г розмірами 2×30×40 mm у стані постачання та після гартування з низько- і середньотемпературним відпуском. Зразки вирубували на гільйотинних ножицях, термообробляли і шліфували з обох сторін до $R_a = 1,25 \mu\text{m}$. Після гартування з низькотемпературним відпуском зразки мали твердість HRC 58...60, а після середньотемпературного відпуску – HRC 42...45. Термооброблені зразки порівнювали зі зміцненими МІО на модернізованому плоскошліфувальному верстаті SPC-20 за таких режимів: швидкість обертання зміцнювального інструменту 50 m/s, швидкість переміщення стола верстата 0,017 m/s, поперечна подача інструменту 0,5 mm на подвійний хід стола, глибина врізання інструменту 0,35 mm. Як технологічне середовище (ТС) використовували спеціальне ТС для науглецювання [7]. Випробували на абразивне зношування за двома методиками, а саме: закріпленим та незакріпленим абразивом [8]. Зношування визначали за втратою маси зразка.

Методика дослідження опору абразивному зношуванню покриття під час тертя незакріпленим абразивом. Випробування матеріалів на абразивне зношування за тертя незакріпленими абразивними частинками регламентується стандартом [9] згідно зі схемою (рис. 2а). Абразив перед випробуванням просушують (вологість не повинна перевищувати 0,16%), а також роблять припрацювання гумового диска шліфувальною шкуркою типу 2 зернистістю № 8П [8], закріпленою в зразку-тримачі на плоскій сталевій пластині. Умови випробування матеріалів на зношування наведені в таблиці. Під час випробувань у зону контакту за допо-

могою дозатора постійно подається абразив. Особливістю такої схеми є те, що зміна сили притискання гумового диска до поверхні зразка впливає на глибину втискання абразивних частинок на гумовому диску та є головним параметром, що вирізняє цей вид зношування від зношування закріпленими абразивними частинками. Він визначає чи буде абразивна частинка поступово переміщуватися, здійснюючи пластичну деформацію поверхні, чи перекочуватися, призводячи до руйнування втомного характеру внаслідок великого контактного навантаження. Режим випробувань гумовим диском: навантаження $P = 2,4 \text{ N}$, швидкість обертання 160 rev/min , абразив – кварцевий пісок HV-1000.

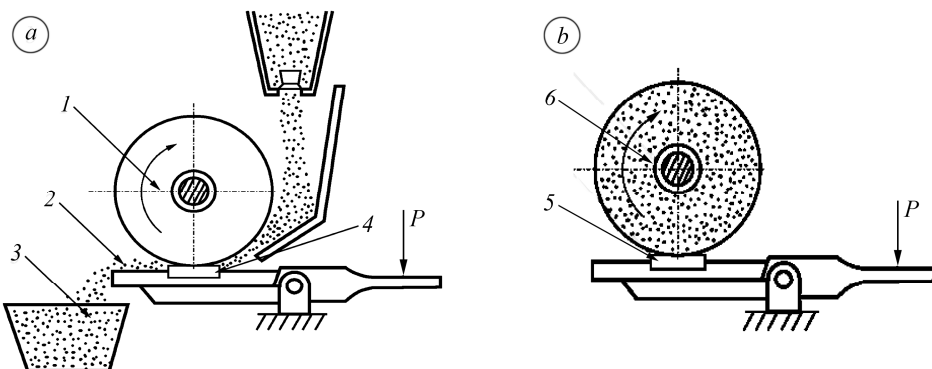


Рис. 2. Схема для дослідження абразивного зношування незакріпленим (а): 1 – гумовий диск; 2 – кварцовий пісок HV-1000; 3 – ємність для збирання абразиву; 4 – зразок; та закріпленим абразивом (b): 5 – зразок; 6 – абразивний круг.

Fig. 2. Scheme of abrasive wear resistance investigations by unfixed (a): 1 – rubber disk; 2 – quartz sand HV-1000; 3 – container for abrasive; 4 – specimen; and fixed abrasive (b): 5 – specimen; 6 – abrasive disk.

Умови випробування незакріпленим абразивом

Розміри зразка зі сталі 65Г, mm	Розміри гумового диска, mm		Властивості гумового диска		Навантаження в ділянці контакту, N
	діаметр	ширина	Твердість за Шором А за ГОСТ 263-75	Відносне залишкове видовження (за ГОСТ 27-75), %	
2×30×40	48...50	15±0,1	78...85	15...20	2,4

Перед випробуваннями абразив розділили за фракціями та просушили. Розмір зерен абразиву $200...1000 \mu\text{m}$. Час випробувань – 15 min.

Методика порівняльних досліджень зносотривкості покриття закріпленим абразивом. Під час порівняльних досліджень використовували абразивний диск із електрокорунду середньом'якої твердості СМ-2 на керамічній зв'язці 7К15 діаметром 150 mm та шириною 8 mm (рис. 2b). Навантаження під час випробувань – 0,75 N впродовж 5 min. Частота обертання абразивного круга 160 rev/min.

Результати досліджень та їх обговорення. Результати досліджень абразивної зносотривкості зразків наведено на рис. 3. Термічна обробка підвищує зносотривкість за обох режимів випробувань, причому гартування з низькотемпературним відпуском очікувано є найефективнішим. При цьому зносотривкість зростає відповідно в 2,6 рази для незакріпленого абразиву та в 13 разів для закріпленого. Гартування з середньотемпературним відпуском підвищує зносотривкість у 1,2 та 1,7 рази, відповідно.

Під час дослідження незакріпленим абразивом зношення є нерівномірним: спочатку зношуються м'які складові поверхні, що зумовлено механічною неоднорідністю феритно-перлітної структури сталі (рис. 4а), потім твердіші та зменшується втрата маси. За таких умов відбувається перекошування твердих частинок між сталевим зразком та гумовим диском, що зумовлює пошкодження поверхні у вигляді подряпин та борозенок, а також частково мікрорізання під час попадання частинок максимального розміру.

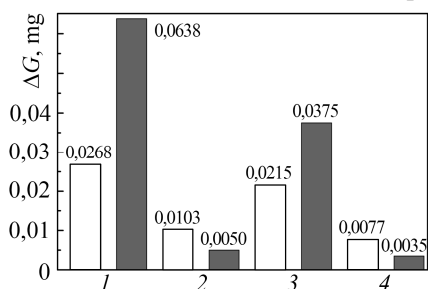


Рис. 3. Абразивна зносотривкість зразків зі сталі 65Г, випробуваних незакріпленим (□) та закріпленим (■) абразивом: 1 – стан постачання; 2 – гартування з низькотемпературним відпуском; 3 – з середньотемпературним відпуском; 4 – з низькотемпературним відпуском + МІО.

Fig. 3. Abrasive wear resistance of 65Г steel specimens tested by unfixed (□) and fixed (■) abrasive: 1 – as-received state; 2 – quenching and low-temperature tempering; 3 – with medium-temperature tempering; 4 – with low-temperature tempering + MPT.

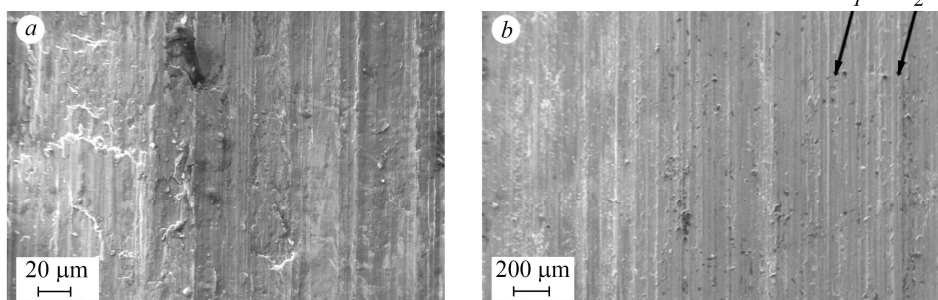


Рис. 4. Поверхня зношення зразків без термічної обробки після випробувань незакріпленим (а) та закріпленим (б) абразивом: 1 – середина; 2 – край зони контакту досліджуваного зразка з диском.

Fig. 4. The wear surface of specimens without thermal treatment after testing by unfixed (a) and fixed (b) abrasive: 1 – middle; 2 – edge of the contact zone of the investigated specimen with disk.

За цих же випробувань зразка у вихідному стані незакріпленим абразивом (рис. 4а) наявні деякі відшарування металу, природа яких описана раніше [10].

Зношення поверхні закріпленим абразивом на всій площі контакту диска зі зразком посередині 1 та на краю 2 зони контакту (рис. 4б) є однакове і відбувається внаслідок її зрізування абразивним кругом. За твердості зразка 2,6 GPa втрата маси під час випробувань закріпленим абразивом є вищою, ніж незакріпленим (рис. 3). Внаслідок гартування та низькотемпературного відпуску сталі її твердість зростає до 6,5 GPa, що зменшує втрату маси. Зі зростанням температури відпуску зразків втрата маси збільшується. Це викликано утворенням м'яких і твердих складових та легшим руйнуванням поверхні під час досліджень закріпленим та незакріпленим абразивом. Необхідно відмітити, що за випробувань закріпленим абразивом термооброблених зразків зносотривкість збільшується порівняно з незакріпленим, а у вихідному стані, навпаки. Це пояснюється поліпшеними умовами для мікрорізання закріпленим абразивом термооброблених зразків. В поодиноких ділянках відбувається локальне виривання матеріалу зразка, що підвищує втрату його маси (рис. 5).

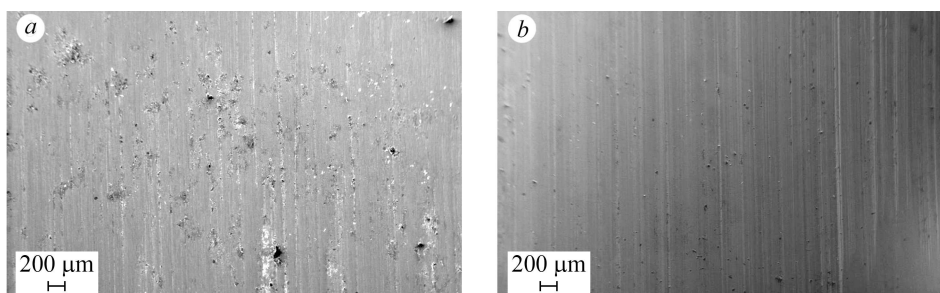


Рис. 5. Поверхня зношування зразків після випробувань незакріпленим (а) та закріпленим (б) абразивом, гартованих з низькотемпературним відпуском.

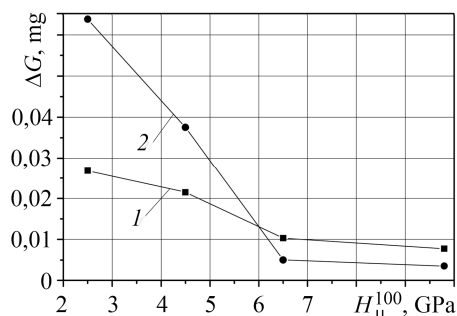
Fig. 5. The surfaces after testing by unfixed (a) and fixed (b) abrasive of quenched and low-tempered specimens.

Під час випробувань незакріпленим (рис. 5а) та закріпленим абразивом (рис. 5б) поверхні зношування зразків є подібними, проте поверхня зношування незакріпленим абразивом має більші пошкодження. Більша втрата маси під час випробування закріпленим абразивом зумовлена різанням, а пошкодження поверхні незакріпленим абразивом – перекошуванням абразивних частинок по поверхні.

З підвищенням мікротвердості зразків їх зношування очікувано знижується (рис. 6), до того ж інтенсивніша втрата маси характерна для випробувань закріпленим абразивом (крива 2). Тому перспективними є методи поверхневого зміцнення [3–6], які забезпечують вищу мікротвердість матеріалів і, відповідно, актуальними є дослідження їх абразивної зносотривкості.

Рис. 6. Залежність втрати маси ΔG сталі 65Г від її мікротвердості H_{μ}^{100} під час випробувань на зношування незакріпленим (1) та закріпленим (2) абразивом.

Fig. 6. Dependence of 65Г steel mass loss ΔG on its microhardness H_{μ}^{100} under wear resistance testing by unfixed (1) and fixed (2) abrasive.



Отже, термообробка суттєво підвищує зносотривкість зразків зі сталі 65Г, яку використовують для виготовлення дисків сошників сівалок в умовах сухого абразивного зношування. Зміцнювальні обробки [3–6] забезпечують подальше підвищення зносотривкості. Умови випробувань є досить жорсткими. Точніші результати можна отримати дослідними випробуваннями термооброблених деталей у реальних умовах на різних ґрунтах.

ВИСНОВКИ

Досліджено зносотривкість сталі 65Г в лабораторних умовах за сухого абразивного тертя. Показано, що термічна обробка, а саме, гартування з низьким відпуском, підвищує зносотривкість зразків у 2,6 рази за випробувань незакріпленим абразивом та в 13 разів за випробувань закріпленим. Подальше підвищення зносотривкості досягається поверхневими зміцнювальними обробками. Отже, термічна обробка може підвищувати роботоздатність дисків сошників сівалок у реальних умовах роботи.

РЕЗЮМЕ. Исследовано износостойкость дисков сошников сеялок из стали 65Г в условиях сухого абразивного трения. Показано, что термическая обработка, а именно закалка с низким отпуском, повышает износостойкость образцов в 2,6 раза при испытании не-

закрепленным абразивом и в 13 раз закрепленным. Упрочняющие обработки обеспечивают дальнейшее повышение износостойкости. Следовательно, термическая обработка может повышать работоспособность дисков сошников сеялок в реальных условиях эксплуатации.

Ключові слова: *сталь 65Г, диски сошников сеялок, абразивная износостойкость, незакрепленный абразив, жестко закрепленный абразив.*

SUMMARY. Wear resistance of 65Г steel under abrasive friction in relation to seeding machines furrow-openers disks operation was studied. It was shown that thermal treatment, namely quenching and low-temperature tempering, increases the specimens wear resistance in 2.6 times under testing by unfixed abrasive and in 13 times by fixed abrasive. Strengthening treatments provide further increase of wear resistance. Consequently, working capacity of furrow-openers disks could be increased by thermal treatment under exploitation.

Keywords: *65Г steel, seeding machines furrow-openers disk, abrasive wear, unfixed abrasive, rigidly fixed abrasive.*

Роботу частково виконано за підтримки проекту 0119U002280 МОН України.

1. *Згуровський М. З.* Технологічне передбачення економіки України на середньостроковому (до 2020 р.) і довгостроковому (до 2030 р.) часових горизонтах // Вісник НАН України. – 2016. – № 1. – С. 53–67.
2. *Сисолін П. В., Сало В. М., Кропивний В. М.* Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. – К.: Урожай, 2001. – 340 с.
3. *Кирилів В. І.* Підвищення зносотривкості середньовуглецевої сталі нанокристалізацією поверхневого шару // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2012. – **48**, № 1. – С. 102–105.
(*Kyryliv V. I.* Improvement of wear resistance of medium-carbon steel by nanodispersion of surface layer // Materials Science. – 2012. – **48**, № 1. – P. 119–123.)
4. *Нукуфорчун Н., Кирилів В., Максимів О.* Wear resistance of steels with surface nanocrystalline structure generated by mechanical-pulse treatment // Nanoscale Research Letters. – 2017. – **Vol. 12:150**.
5. *Студент М. М., Похмурська Г. В., Задорожна Х. Р.* Структура та зносотривкість покриттів VC–FeCr та VC–FeCrCo, отриманих надзвуковим газополуменевим напиленням // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2018. – **54**, № 1. – С. 31–37.
(*Student M. M., Pokhmurs'ka H. V., Zadorozhna Kh.R.* Structure and wear resistance of VC–FeCr and VC–FeCrCo coatings obtained by supersonic flame spraying // Materials Science. – 2018. – **54**, № 1. – P. 22–29.)
6. *Похмурська Г. В., Довгунік В. М., Студент М. М.* Зносотривкість лазерно модифікованих електродугових покриттів з порошкового дроту ФМІ-2 // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2003. – **39**, № 4. – С. 61–64.
(*Pokhmurs'ka H. V., Dovhunyk V. M., Student M. M.* Wear resistance of laser-modified arc-sprayed coatings made of FMI-2 powder wires // Materials Science. – 2003. – **39**, № 4. – P. 533–538.)
7. *Нукуфорчун Н., Кирилів В., and Максимів О.* Effect of nanostructuring for structural steels on their wear hydrogen embrittlement resistance // Solid State Phenomena. – 2015. – **225**. – P. 65–70.
8. *Абразивная износостойкость материалов: справ. пос. /* Под. ред. А. Г. Добровольского, П. И. Кошеленко. – К.: Техника, 1989. – 128 с.
9. *ГОСТ 23.208-79.* Забезпечення зносостійкості виробів. Метод випробування матеріалів на зносостійкість при терті про нежорстко закріплені абразивні частинки. – Введ. в експл. 01.03.1981.
10. *Контактна втома сталі 20ХН3А з поверхневою наноструктурою /* В. І. Кирилів, Б. П. Чайковський, О. В. Максимів, А. В. Шалько // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2015. – **51**, № 6. – С. 75–79.
(*Contact fatigue of 20KH3A steel with surface nanostructure /* V. I. Kyryliv, B. P. Chai-kovs'kyi, O. V. Maksymiv, A. V. Shal'ko // Materials Science. – 2016. – **51**, № 6. – P. 833–838.)

Одержано 26.02.2019