



Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies

ISSN 2519–268X print
ISSN 2518–1327 online

doi: 10.15421/nvlvet8525
<http://nvlvet.com.ua/>

UDC 621.789:669.14

The availability of using nano-technologies for increasing of working capacity the agricultural machinery

B.P. Chaikovs'kyi¹, A.B. Shalko¹, I.G. Yaroshovych¹, V.I. Kyryliv², O.V. Maksymiv², I.M. Kurnat²

¹Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, Ukraine

²Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Article info

Received 13.02.2018

Received in revised form

12.03.2018

Accepted 16.03.2018

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, Pekarska str., 50, Lviv, Ukraine. Tel.: +38-067-912-20-82 E-mail: shalko_av@ukr.net

Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Naukova str., 5, Lviv, 79060, Ukraine

Chaikovs'kyi, B.P., Shalko, A.B., Yaroshovych, I.G., Kyryliv, V.I., Maksymiv, O.V., & Kurnat, I.M. (2018). The availability of using nano-technologies for increasing of working capacity the agricultural machinery. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. 20(85), 134–140. doi: 10.15421/nvlvet8525

The determining importance of nano-industry in socio-economic priorities of industrial countries for preferred production of advanced technology products according to up-to-date phase of economic progress was showed. Within of current concept, it's integrated assembly which involves equipment, materials, software, knowledge system and also technological, metrological, informational, economic-organizing culture and qualified personnel which ensure the production of advanced technology products based on new, special properties of materials and systems in nanometer range. The intelligent basic of nano-systems – it's, of course, the system of knowledge and skills which is possessed by qualified personnel. The main form of investment in qualified personnel is qualitative and modern education. Together with purely economic problem statement – to improve the efficiency of production based on development of advanced technology industries, it's necessary to solve one more social problem – to ensure high intellectual level of personnel by way of development of scientific researches and modern education. The important role of the agro-industrial complex in forming of budget and economic stability of Ukraine was underscored. The limiting wear of technological equipment couples (fixed assets) causes additional expenses for repair of equipment and loss of agricultural products. It is pointed on importance to improve the technological equipment reliability along with agricultural measures. The role of wear of main details and couples is specially emphasized. It was proved the advisability of improving reliability and working life of technological equipment and its separate heavy loaded elements and assemblies by using of special strengthening technologies which create nano-crystalline structures on the surfaces of machine elements. The wear resistance laboratory researches of specimens of 65G steel with surface nanostructure in conditions of dry friction were carried out on MI-IM machine according to ring-insert scheme. The researches were held in conditions analogical to working conditions for colters of seeding machines. The advisability of using surface nano-crystalline strengthening by mechanical-pulse treatment technology for improving of wear resistance was showed. The efficiency of using surface hardening due to creation of nano-crystalline structure was showed for colters of seeding machines to improve their working capacity. Abovementioned technology could be used for surface hardening of other elements of agricultural machines, food, processing and other branches of industry.

Key words: agroindustrial complex, working capacity, colters of seeding machines, nano-crystalline structure, mechanical-pulse treatment, wear resistance.

Перспективність використання нанотехнологій для підвищення працездатності сільськогосподарської техніки

Б.П. Чайковський¹, А.В. Шалько¹, І.Г. Ярошович¹, В.І. Кирилів², О.В. Максимів², І.М. Курнат²

¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, м. Львів, Україна

²Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів, Україна

Показано визначальне значення наноіндустрії в соціально-економічних пріоритетах індустріальних держав на сучасному етапі економічного розвитку для переважаючого випуску наукомісної високотехнологічної продукції. В рамках сучасних уявлень – це інтегрований комплекс, який включає обладнання, матеріали, програмні засоби, систему знань, а також технологічну, метрологічну, інформаційну, організаційно-економічну культуру і кваліфікований кадровий потенціал, який забезпечує виробництво наукомісткої продукції, яка базується на використанні нових, особливих властивостей матеріалів і систем у нанометровому діапазоні. Інтелектуальна база наносистем – це, безумовно, система знань і умінь, носієм якої є кваліфікований персонал. Основною формою інвестицій в кваліфікований персонал є якісна та сучасна освіта. Поряд з постановкою чисто економічної задачі – підвищення ефективності виробництва на основі випереджуючого розвитку високотехнологічних галузей, необхідно вирішувати і ще одну соціальну задачу – забезпечення необхідного інтелектуального рівня персоналу через розвиток наукових досліджень і надання освітніх послуг. Підкреслено важливу роль агропромислового комплексу в формуванні бюджету та економічної стабільності України. Гранична ступінь зношування вузлів технологічного обладнання (основних фондів) обумовлює додаткові витрати на ремонт обладнання та втрати сільськогосподарської продукції. Вказано на важливість поряд з агротехнічними заходами підвищення надійності технологічного обладнання. Виділено особливу роль зносотривкості основних деталей та вузлів. Обґрунтовано та показано доцільність підвищення надійності та довговічності технологічного обладнання та його окремих важко навантажених деталей та вузлів використанням зміцнюючих технологій, зокрема таких, які формують на поверхнях деталей машин і механізмів нанокристалічні структури. Проведено лабораторні дослідження зносотривкості зразків із сталі 65Г з поверхневою наноструктурою в умовах сухого тертя на машині тертя MI-IM за схемою кільце-вкладка стосовно експлуатаційних умов роботи дисків сошників сівалок. Показано доцільність використання поверхневого наноструктурного зміцнення шляхом використання технології механоімпульсної обробки для підвищення зносотривкості. На прикладі дисків сошників сівалок показано ефективність використання поверхневого зміцнення шляхом формування нанокристалічної структури для підвищення їх працездатності. Вказану технологію можна використовувати для зміцнення інших деталей сільськогосподарських машин, харчової, переробної промисловості та в інших галузях промисловості.

Ключові слова: агропромисловий комплекс, роботоздатність, сошники сівалок нанокристалічна структура, механоімпульсна обробка, зносотривкість.

Вступ

В соціально-економічних пріоритетах індустріальних держав особливе місце займає розвиток наукомістких галузей виробництва з високим рівнем добавленої вартості. Лідером світової економіки на сучасному етапі в якості такого напрямку вибрана наноіндустрія (Luchinin, 2007).

В рамках сучасних уявлень – це інтегрований комплекс, який включає обладнання, матеріали, програмні засоби, систему знань; технологічну, метрологічну, інформаційну, організаційно-економічну культуру і кадровий потенціал, який забезпечує виробництво наукомісткої продукції, яка базується на використанні нових, нетрадиційних властивостей матеріалів і систем при переході до наномасштабів.

Унікальність напрямку «нано» визначається тим, що він може бути затребуваний різними соціальними прошарками і професійними групами суспільства, оскільки продукція наноіндустрії – це інтелектуальна і матеріальна наукомістка продукція з раніше недосяжними техніко-економічними показниками, створювана з широким використанням нових матеріалів, технологічних процесів і методів контролю. Вона орієнтована на вирішення задач забезпечення обороноздатності, економічної і технологічної незалежності держави, реалізацію соціально і економічно значимих національних проектів в галузі освіти і охорони здоров'я, підвищення якості товарів і послуг. Базою наноіндустрії є система знань, заснована на описі, поясненні і прогнозуванні властивостей матеріальних об'єктів з манометричними характеристичними розмірами.

Таблиця 1

Головні кластери майбутньої економіки України та пріоритетність їх внеску в загальне зростання (Zghurovskiy, 2016)

Кластер економіки	Внесок у загальне зростання економіки, %		Оцінка внеску в загальне зростання економіки (1–10)		Часовий інтервал зростання кластера економіки
	2015–2020	2020–2030	2015–2020	2020–2030	
Аграрний сектор	14	17	6,0	7,0	2015–2020
Військово-промисловий комплекс	13	15	5,0	6,0	2015–2030
Інформаційно-комунікаційні технології	8	12	4,0	5,5	2015–2020
Створення нових речовин і матеріалів, нанотехнології	7	12	4,25	5,5	2020–2025
Енергетика	7	11	4,0	4,5	2017–2025
Високотехнологічне машинобудування	6	8	3,5	4,0	2020–2025
Розвиток транзитної інфраструктури	2	5	2,0	3,0	2020–2030
Науки про життя (біомедична інженерія, клітинна медицина, фармація)	1	5	1,5	3,0	2020–2025
Туризм	2	5	2,0	3,0	2017–2025
Інші кластери (переважно низькотехнологічні та сировинні)	40	10	9,5	4,25	2017–2030

Інтелектуальна база наносистем – це, безумовно, система знань і умінь, носієм якої є «людський капітал». Основною формою інвестицій в «людський

капітал» є надання освітніх послуг. Тому поряд з постановкою чисто економічної задачі – підвищення ефективності виробництва на основі випереджуючого

розвитку високотехнологічних галузей, необхідно вирішувати і ще одну соціальну задачу – забезпечення необхідного інтелектуального рівня «людського капіталу» через розвиток наукових досліджень і надання освітніх послуг. Це пов'язано з особливою роллю інтелектуального фактору в кінцевих результатах даного наукомісткого напрямку і його впливі на довготривалу перспективу будь-якої держави.

Одним із головних кластерів майбутньої економіки України є аграрний сектор (табл. 1) (Zghurovskiy, 2016). Він організаційно і технологічно пов'язаний із багатьма іншими галузями національної економіки України.

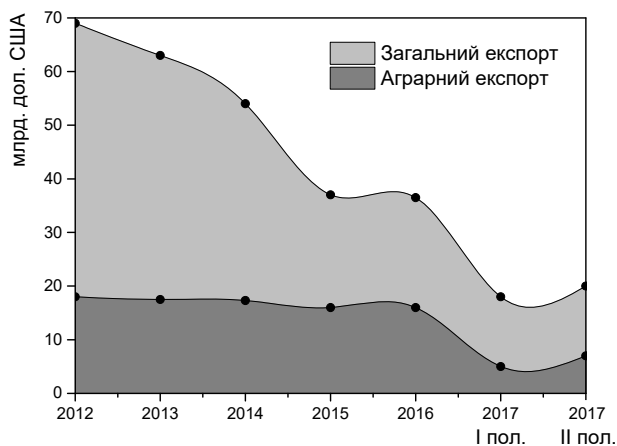


Рис. 1. Динаміка експорту з України (Ustyenko, 2017)

Створення сприятливих умов для його розвитку є одним із визначальних чинників стабільності та економічного зростання нашої держави (рис. 1). Його ефективність поряд із агротехнічними заходами у значній мірі залежить від надійної роботи технологічного обладнання. Вона вимагає підвищення довговічності сільськогосподарської техніки, рівня технологічного обслуговування, зберігання та ремонту при якому основними є витрати на запасні частини Великі резерви у підвищенні ресурсу нових та експлуатованих машин, значному скороченні запасних частин та економії суспільної праці є у розробці та створенні нових і економічно-ефективних способів зміцнення важконавантажених деталей. Гранична ступінь зношування вузлів технологічного обладнання (основних фондів) обумовлює додаткові витрати на ремонт обладнання та втрати сільськогосподарської продукції. За даними Міністерства агропромислової політики України для закупівлі запасних частин та ремонтних матеріалів з метою підготовки техніки до польових робіт у 2016–2017 р. було витрачено майже 5 млрд. гривень на рік. Ці витрати можна суттєво скоротити підвищенням роботоздатності важконавантажених деталей технологічного обладнання. Важливим і найголовнішим фактором ефективної роботи обладнання та підвищення надійності є зносотривкість. Світова практика експлуатації промислового обладнання, машин та деталей показує, що загальна надійність їх у значній мірі залежить від працездатності пар тертя. Проблема зносотривкості і сьогодні залишається ак-

туальною. Втрати від зношування у промислово розвинутих країнах досягають до 10% валового внутрішнього продукту.

Для відтворення матеріально-технічного парку агропромислового комплексу на рівні технологічної потреби необхідно щорічно купувати машин і обладнання на суму понад 7...8 млрд. грн. Крім того, підтримання матеріально-технічного парку в працездатному стані потребує 1,2...1,5 млрд. грн. на рік в основному на закупівлю запасних частин і ремонтних матеріалів. Ситуація, що склалась з технічним забезпеченням, вимагає нових підходів до формування та реалізації технічної політики в сільському господарстві. Одним із основних напрямів вирішення цих проблем є використання зміцнюючих технологій. Збільшення витрат на виробництво машин та запасних частин до них з поверхневим зміцненням багатократно окупиться тим, що відпала б необхідність ремонту та були б ліквідовані прості обладнання.

Необхідність розвитку ресурсозберігаючих технологій повинна дати поштовх розвитку робіт з оцінки економічної ефективності поверхневого зміцнення. Основою для розробки економічних критеріїв є всестороннє дослідження комплексу механічних властивостей, несучої здатності і граничного стану фізико-механічних властивостей, які досягаються різними способами поверхневого зміцнення. В даний час економічні показники технологій стають вирішальними і ця тенденція посилюється.

В сучасних умовах технології поверхневого зміцнення вимагають висококваліфікованих кадрів, значних капітальних витрат, повинні відповідати вимогам в області екології і трудового законодавства. Все це сприяє появі нової тенденції – прагненню до фірмової спеціалізації поверхневого зміцнення. Чисельні машинобудівні фірми надають перевагу зміцненню деталей «на стороні» у спеціалізованих фірм.

В Україні з технологіями поверхневого зміцнення склалась неоднозначна ситуація. З однієї сторони в Україні склався науковий потенціал, який перевищує потенціал всіх бувших республік Радянського Союзу разом взятих. З іншої сторони – відносно невисокий рівень промислового використання. При цьому аналіз сучасного стану промисловості країни показує, що без промислового використання сучасних технологій зміцнення на стадіях проектування, виготовлення і ремонту економіка України не вийде із гострого дефіциту металу, запасних частин, електроенергії, палива.

Усі програми промислового та інноваційного розвитку розвинутих країн ЄС побудовані як мінімум на трьох стратегічних чинниках: державна політика, спрямована на виробництво продукції з високою конкурентоспроможністю на міжнародних ринках, експортна експансія і державний протекціонізм, пов'язаний зі створенням сприятливих умов для національного виробника (Ustyenko, 2017). Державний протекціонізм в організації таких спеціалізованих фірм значно покращив би надійність не тільки технологічного обладнання агропромислового комплексу, й інших галузей народного господарства. На жаль, економіка країни дедалі більше скочується в бік сировинного типу (табл. 1), спостерігаються дуже серйозні

процеси деіндустріалізації, майже зруйнований промисловий вектор, який в інших країнах лише посилюється після кризи 2008–2009 рр.

Серед важливих і досить 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 даний час в Україні майже 90% посівів зернових припадає на сімейство сівалок типу СЗ, обладнаних в основному сошниками дискового типу. Незначний термін роботи дисків обумовлений зношенням робочої поверхні до мінімально допустимого діаметра 320 мм після посівів на площі біля 1300 га. Виникає необхідність виготовлення їх для запасних частин у великій кількості. На даний час агротехнічна галузь України щорічно потребує до 3 млн. нових дисків загальною вартістю близько 115 млн. грн. Для їх виготовлення необхідно майже 5,4 тис. т. листа із сталі 65Г. В зв'язку з цим, актуальним питанням є використання зміцнювальних технологій для обробки робочих поверхонь дисків, що повинно забезпечити їх високу зносостійкість та підвищити ресурс роботи.

Підвищення ресурсу роботи вказаних деталей зменшує витрати металу, енергоносіїв на його виробництво та знижує техногенний вплив промисловості на екологічну ситуацію

Збільшення об'ємів поверхневої зміцнюючої обробки – одна із тенденцій розвитку техніки у світовій практиці. Зміцнюючі покриття дозволяють підвищити довговічність деталей в десятки раз. Найближчим часом темпи росту об'ємів зміцнюючих обробок будуть випереджати темпи росту виробництва металів і сплавів. Основна мета всіх способів – сформувати на поверхні деталі твердий, зносостійкий шар міцно зв'язаний з основою. Більшість способів поверхневого зміцнення необхідно розглядати як альтернативні. При цьому суттєво можуть відрізнитись як властивості покриття, так і витрати на його нанесення. Характерною особливістю більшості методів поверхневого зміцнення є те, що не вдається отримати одночасно підвищення всіх експлуатаційних характеристик деталі для всіх умов експлуатації.

Аналіз сучасного стану промисловості країни показує, що без промислового використання сучасних технологій зміцнення на стадіях проектування, виготовлення і ремонту економіка України, особливо аграрний сектор, не вийде із гострого дефіциту металу, запасних частин, електроенергії, палива.

На сучасному етапі перед ученими світу постало завдання розробити високопродуктивні, економічно вигідні та безпечні для зовнішнього середовища технології отримання наноматеріалів. Одним із методів вирішення цієї проблеми є нанотехнології – створення на поверхні металу нанокристалічних структур (НКС), розміри зерен яких знаходяться в діапазоні 1...100 нм. У Фізико-механічному інституті НАН України розроблено технологію механоімпульсної обробки, яка формує НКС на високонавантажених поверхнях деталей машин. Автори (Kyryliv, 2012;

Kyryliv et al., 2015; Nykyforchyn et al., 2016) показали підвищення експлуатаційних властивостей деталей за зношування, контактних навантажень, дії агресивних середовищ.

Метою даної роботи було дослідження впливу поверхневої нанокристалічної структури (НКС) отриманої МІО на зносотривкість дисків сошників сівалок.

Матеріал та методи досліджень

За критерій працездатності приймали зносотривкість. Дослідження зносотривкості проводили за схемою кільце-вкладка на машині тертя МІ-1М (Kyryliv et al., 2005). Випробували циліндричні зразки-кільця діаметром 50 мм зі сталей 65Г у стані поставки. Режими випробувань: тертя зразків проводили без змазування за питомого тиску 1,0 МПа та швидкості ковзання 0,9 м/с. Випробувували також диски сошників сівалок у виробничих умовах. Обробку зразків-кільць проводили механоімпульсною обробкою (МІО) інструментом зі сталі 40Х діаметром 250 мм з шириною робочої поверхні 6 мм. Фізична суть МІО полягає в швидкісному імпульсному 10^5 – 10^6 К/с нагріві приповерхневих шарів металу тертям до високих 1100–1300 К температур з одночасним термопластичним деформуванням з швидкостями 10^3 – 10^4 с⁻¹ і наступним швидким охолодженням 10^3 – 10^4 К/с за рахунок відводу тепла в деталь, інструмент і технологічне середовище. Високонцентрований потік енергії генерується у зоні фрикційного контакту (ФК) оброблюваної деталі зі зміцнювальним інструментом, який обертається з частотою 80–90 с⁻¹. За таких умов у приповерхневих шарах металу виникають специфічні дрібнодисперсні структури – білі шари. Метод МІО заснований на принципах шліфувальних операцій. Замість шліфувального круга встановлюють металевий диск. Обробку циліндричних поверхонь здійснюють на токарному верстаті, обладнаному спеціальним пристроєм, на шпинделі якого встановлюють зміцнюючий інструмент з індивідуальним приводом. На рис. 2 наведені схеми зміцнення циліндричних і плоских поверхонь. Зміцнюючий інструмент 1 обертається з коловою швидкістю $V_1 = 50$ – 70 м/с, колова швидкість зміцнюваної деталі 2 не перевищує $V_{дет.} = 0,03$ – $0,18$ м/с. Питомий тиск інструменту на оброблювану деталь досягає 0,5–0,8 Па, а подача інструменту відносно деталі – 0,5–2,0 мм/об. Довжина лінії контакту інструменту зі зміцнюваною деталлю досягає 6–10 мм. У зону ФК подають ТС – індустріальну оливу І-12А за ГОСТ 20799-75 або спеціальні ТС для насичення приповерхневих шарів металу вуглецем (Kalichak et al., 1991) або азотом. Час дії максимальних температур становить 6– $10 \cdot 10^{-2}$ с. В зоні контакту виникають інтенсивні зсувні деформації з швидкістю 10^2 – 10^3 с⁻¹. В результаті зміцнення на поверхні металу утворюються структури білих шарів товщиною до 500 мкм. Мікротвердість біля поверхні досягає 7–10 ГПа. Шорсткість зміцненої поверхні залежить від режимів обробки, геометрії інструменту, виду ТС і досягає $R_a = 0,32$ – $1,00$ мкм.

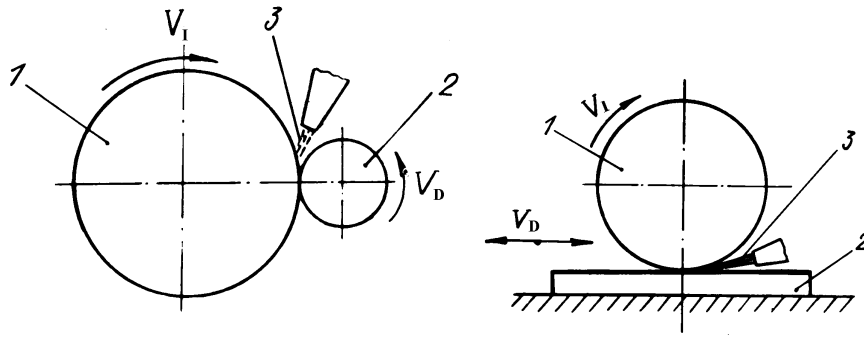


Рис. 2. Схема МІО циліндричних (а) і плоских (б) поверхонь: 1 – зміцнюючий інструмент; 2 – оброблювана деталь; 3 – технологічне середовище.

Результати та їх обговорення

Найнавантаженою деталлю сошника є диск, який контактує безпосередньо з ґрунтом і піддається

абразивному зношуванню. Цей диск регламентує роботу сошника. Робоча ділянка диска, яка контактує безпосередньо з ґрунтом, складає 45...60 мм (рис. 3).

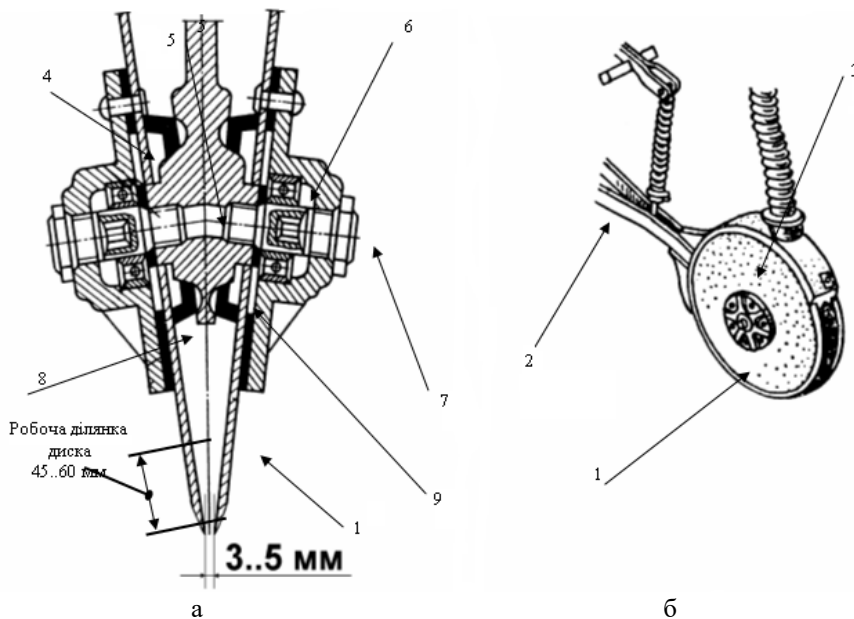


Рис. 3. Двобічний сошник сівалки СЗ-3,6: а – схема конструкції сошника, б – зовнішній вигляд сошника, 1 – диск, 2 – корпус, 3 – система кріплення та регулювання, 4 – кришка, 5 – вісь, 6 – підшипник, 7 – заглушка, 8 – прокладка, 9 – ущільнювач

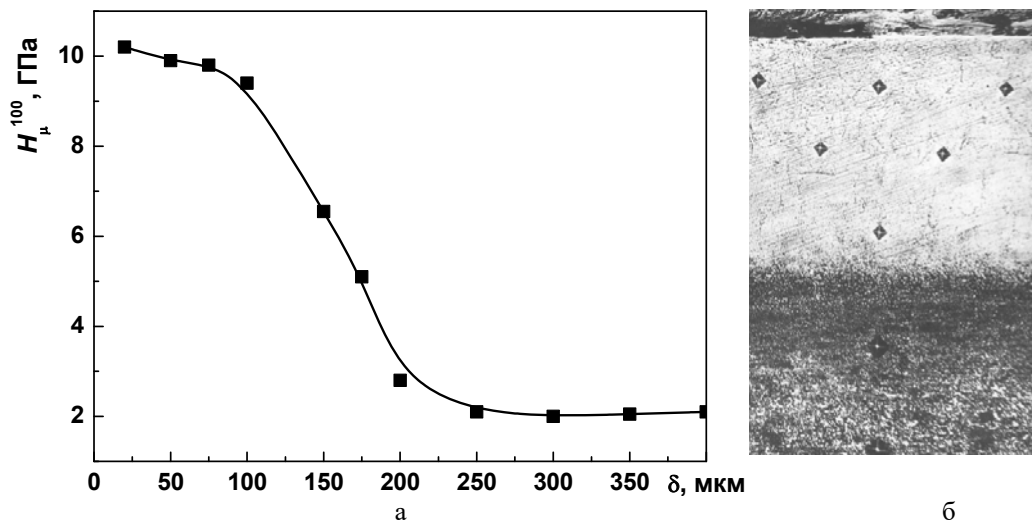


Рис. 4. Мікротвердість (а) сталей 65Г з поверхневою НКС після МІО; (б) – мікроструктура (x400)

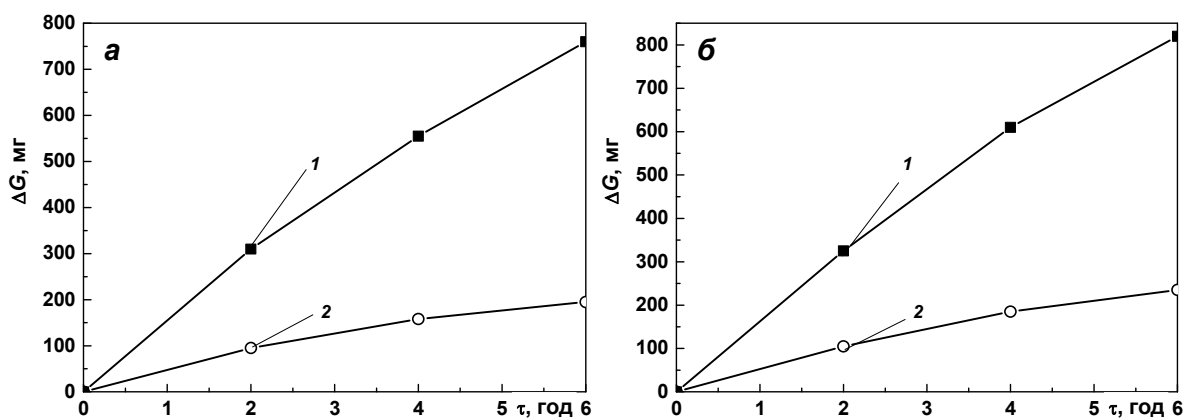


Рис. 5. Кінетика зношування пари сталь 65Г – сталь 45 при сухому терті кільця (а): 1 – стан постачання; 2 – МІО; і вкладки (б): 1, 2 – стан постачання.

Допустима величина зношування диска від діаметра 350 до 320 мм. Зменшення діаметру нижче допустимого веде до зниження врожайності посівних культур. Використання МІО формує на поверхні НКС феритного класу з величиною зерна 40 нм. Мікротвердість зміцненого шару 10,2 ГПа, глибина зміцненого шару 200 мкм.

Випробування на зносотривкість за умов сухого тертя показали суттєве (до 3,5 рази) підвищення зносотривкості як кільця, так і вкладки. Зносотривкість незміцненої вкладки теж підвищилась за рахунок зниження коефіцієнту тертя пари обумовленої поверхневою НКС. Детальніше обґрунтування такої поведінки дано в роботі (Kyryliv, 2012). Виходячи з умов роботи дисків доцільно зміцнювати зовнішню поверхню диска, яка контактує з ґрунтом і формує боріздку для насіння. Попередні дослідно-промислові випробування зміцнених дисків на площі 300 Га проведені на кам'янистих ґрунтах у поймі ріки Стрий показали підвищення працездатності дисків з поверхневою НКС за зміною товщини диска.

Для впровадження технології зміцнення дисків сошників необхідно модернізувати установку (Kyryliv et al., 1985) для зміцнення торцевих поверхонь з використанням інструменту для різнонаправленого термомікромеханічного деформування (Kyryliv et al., 2012) та провести дослідно-промислові випробування на ґрунтах різного типу. Важливо також підібрати склад технологічного середовища для формування оптимальних властивостей поверхневого зміцненого шару.

Вказану технологію можна використовувати для зміцнення інших деталей сільськогосподарської техніки, харчової, переробної промисловості та в інших галузях промисловості.

Висновки

Показано важливість агропромислового комплексу для формування економічної стабільності України та важливу роль нанотехнологій для підвищення його ефективності. Для забезпечення їх впровадження підкреслено важливу роль підвищення необхідного інтелектуального рівня «людського капіталу» через розвиток наукових досліджень і надання освітніх послуг. Дослідженнями показано перспективність

використання поверхневої нанокристалічної структури сформованої механоімпульсною обробкою на сталі 65Г для підвищення працездатності дисків сошників сівалок. Лабораторними випробуваннями встановлено підвищення зносотривкості зразків з поверхневою нанокристалічною структурою до 3,5 раз в умовах сухого тертя.

References

- Luchinin, V.V. (2007). Nanoindustrija i «chelovecheskij kapital». Nanoindustrija. 6, 2–7 (in Russian).
- Zghurovskiy, M.Z. (2016). Tekhnologichne peredbachennia ekonomiky Ukrainy na serednostrokovomu (do 2020 r.) i dov-hostrokovomu (do 2030 r.) chasovykh horizontakh. Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy. 1, 53–67. Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2016_1_10 (in Ukrainian).
- Ustymenko, V.A. (2017). Ekonomiko-pravovi ryzyky ta mozhlyvosti realizatsii Uhody pro asotsiatsiiu z YeS (stenohrama naukovoi dopovidi na zasidanni Prezydii NAN Ukrainy 11 zhovtnia 2017 r.). Visnyk NAN Ukrainy. 12, 14–27. Rezhym dostupu: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/129548> (in Ukrainian).
- Kyryliv, V.I. (2012). Pidvyshchennia znosotryvkosti serednovuhletsevoi stali nanokrystalizatsiieiu poverkhnevoho шарu. Fiz.-khim. mekhanika materialiv. 1, 102–105 (in Ukrainian).
- Kyryliv, V.I., Chaikovskiy, B.P., Maksymiv, O.V., & Shalko, A.V. (2015). Kontaktna vtoma stali 20KhN3A z poverkhnevoiu nanostrukturoiu. Fiz.-khim. mekhanika materialiv. 51(6), 75–79. Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PHKhMM_2015_51_6_12 (in Ukrainian).
- Nykyforchyn, H., Kyryliv, V., Maksymiv, O., Slobodyan, Z., & Tsyruľnyk, O. (2016). Formation of surface corrosion-resistant nanocrystalline structures on steel. Nanoscale Research Letters. 11(1), 1–6. doi: 10.1186/s11671-016-1266-3.
- Kyryliv, V.I., Kyryliv, Ya.B., & Bilyk, N.V. (2005). Zmitsnennia nozhiv mekhanopul'snoiu obrobkoiu. Naukovyi Visnyk Lvivskoi derzhavnoi akademii

- veterynarnoi medytsyny im. S.Z. Hzytskoho. 7(1), 110–115 (in Ukrainian).
- Kalichak, T.N., Kyryliv, V.I., Soshko, A.I., Lininskaja, E.D., Fenchin, S.V., & Shapoval, I.M. (1991). A.s.1678858 SSSR, MKI5 S21D 5/00, S23S 8/00. Sposob uprochnenija poverhnosti izdelij. Opubl. 23.09.91, Bjul.№23 (in Russian).
- Kyryliv, V.I., Kalichak, T.N., & Babej, Ju.I. (1985). A.s. 1199601 SSSR, MKI4 I24I 39/04 Ustrojstvo dlja uprochnenija naruzhnyh cilindricheskih poverhnos-tej. Opubl. 23.12.85, Bjul. № 47 (in Russian).
- Kyryliv, V.I., Nykyforchyn, H.M., Maksymiv, O.V., Hurei, I.V., & Kurnat, I.M. (2012). Patent № 70431. Instrument dlja otrymannia poverkhnevykh nanokrystalichnykh struktur riznonapravlenoiu termoplastychnoiu deformatstsiieiu. Opubl. 11.06.2012. Biul. № 11 (in Ukrainian).