

3. Окара А. И. Управление жирно-кислотным составом и потребительскими свойствами растительных масел–смесей путем оптимизации рецептур / А. И. Окара, К. Г. Земляк // Масложировая промышленность. – 2009. – № 2 – С. 8–10.

Стаття надійшла до редакції 7.04.2015

УДК 622.245.002.4

**Шалько А. В.**, асистент, **Чайковський Б. П.**, завідувач кафедри, доцент,  
**Ярошович І. Г.**, старший викладач

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій  
ім. С. З. Гжицького, Львів*

**Кирилів В. І.**, старший наук. співроб., **Максимів О. В.**, аспірант<sup>©</sup>  
*Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів*

### **ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВОЇ НАНОСТРУКТУРИ НА КОНТАКТНУ ВТОМУ СТАЛІ 65Г**

*Досліджено вплив нанокристалічної структури, сформованої механоімпульсною обробкою, на контактну втому сталі 65Г. Показано, що контактна довговічність сталі залежить від режимів оброблення. За оптимальних режимів, що формують максимальну глибину і мікротвердість зміцненого поверхневого шару, контактна довговічність сталі 65Г в індустріальній оливі І–50А підвищується в 1,4–2,1 рази порівняно зі шліфуваними зразками після гартування і низького відпуску.*

**Ключові слова:** нанокристалічна структура, механоімпульсна обробка, контактна втома, сталь 65Г.

УДК 622.245.002.4

**Шалько А. В.**, ассистент, **Чайковский Б. П.**, заведующий кафедрой, доцент,  
**Ярошович И. Г.**, старший преподаватель

*Львовский национальный университет ветеринарной медицины и биотехнологий  
им. С. З. Гжицкого, Львов*

**Кырылив В. И.**, старший научн. сотр. **Максымив О. В.**, аспирант  
*Физико-механический институт им. Г. В. Карпенко НАН Украины, Львов*

### **ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ НАНОСТРУКТУРЫ НА КОНТАКТНУЮ УСТАЛОСТЬ СТАЛИ 65Г**

*Исследовано влияние нанокристаллической структуры, сформированной механоимпульсной обработкой, на контактную усталость стали 65Г. Показано, что контактная усталость стали зависит от режимов обработки. При оптимальных режимах, что формируют максимальную глубину и микротвердость упрочненного поверхностного слоя, контактная усталость стали 65Г в индустриальном масле И–50А повышается в 1,4–2,1 раза по сравнению со шлифованными образцами после закалки и низкого отпуска.*

**Ключевые слова:** нанокристаллическая структура, механоимпульсная обработка, контактная усталость, сталь 65Г.

---

© Шалько А. В., Чайковський Б. П., Ярошович І. Г., Кирилів В. І., Максимів О. В., 2015

UDC 622.245.002.4

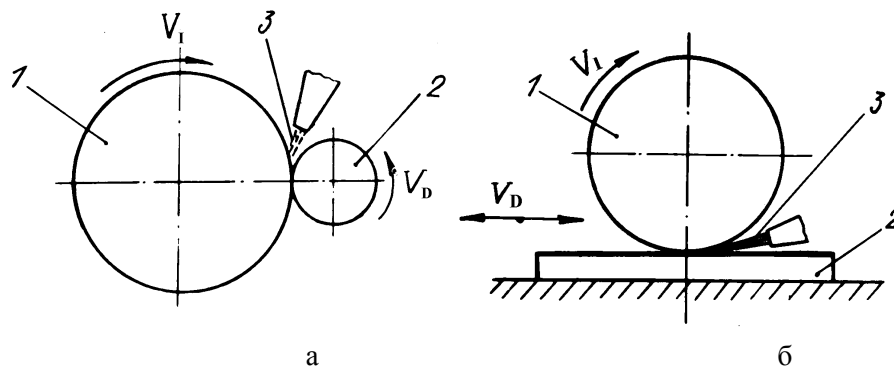
**Schalko A. B.**, assistant, **Chaikovskiy B. P.**, Head of Department, associate professor,  
**Yaroshovych I. G.**, Senior lecturer  
*Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies  
 named after S. Z. Gzhytskyj, Lviv, Ukraine*  
**Kyryliv V. I.**, Senior researcher, **Maksymiv O. V.**, Postgraduate student  
*G. B. Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv*

### THE INFLUENCE OF SURFACE NANOSTRUCTURE ON THE CONTACT FATIGUE OF 65G STEEL

*The influence of nanocrystalline structure formed by mechanical pulse treatment on contact fatigue of 65G steel was researched. It was shown that contact fatigue of the steel depends on parameters of treatment. Using the optimal parameters of treatment which ensure the maximal depth and microhardness of hardened surface layer, the contact fatigue of 65G steel increases in 1,4-2,1 times compared with grinded specimens after quenching and low-temperature tempering.*

**Key words:** nanocrystalline structure, mechanical pulse treatment, contact fatigue, 65G steel.

Однією із важливих експлуатаційних характеристик деталей машин є їх опір контактній втомі, в тому числі за умов роботи у різних робочих середовищах. Опірність сталей контактному руйнуванню в значній мірі залежить від стану поверхневого шару деталей. Сюди входять твердість, величина, знак і характер розподілу залишкових напружень, а також мікрогеометрія поверхні. Ці фактори посилюють свій вплив за дії корозійно-наводнювальних середовищ. До способів, що дозволяють підвищити контактну довговічність сталі, відносять хіміко-термічну, термомеханічну обробку, гартування струмами високої частоти (СВЧ), дробеструминне зміцнення, алмазне вигладжування, обкатування роликками, дифузійні покриття та ін. Останнім часом серйозну увагу матеріалознавців привертають нанокристалічні структури (НКС) через їх унікальні фізико-механічні властивості. Найпоширенішим методом отримання НКС є інтенсивна пластична деформація (ПД). Цим методом отримують як об'ємні [1], так і поверхневі НКС [2]. Отримання поверхневих НКС є технологічно простішим і, відповідно, дешевшим методом. У фізико-механічному інституті НАН України розроблено технологію отримання поверхневих НКС механоімпульсною обробкою (МІО) [3, 4].



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

Генератором енергії ПІД під час МІО є високошвидкісне тертя. Кінематично технологія аналогічна шліфуванню і реалізується на токарних або шліфувальних верстатах шляхом їх незначної модернізації. Замість шліфувального круга використовують спеціальний металевий диск – інструмент, який обертається зі швидкістю 50–70 м/с, контактує з оброблюваною поверхнею, що рухається зі швидкостями 1–5 м/хв. В зону фрикційного контакту подають різні технологічні середовища (ТС) Вони виконують функції охолоджувального середовища та джерела різних легувальних елементів. Матеріал поверхневого шару в зоні ФК нагрівається до високих температур (1000–1200 К). Швидкість деформації поверхневого шару досягає  $10^2$ – $10^3$  с<sup>-1</sup>.

МІО вигідно відрізняється від інших методів отримання НКС інтенсивною пластичною деформацією тим, що крім диспергування структури відбуваються структурно-фазові перетворення [5] та насичення приповерхневих шарів легувальними елементами із ТС [6] та з твердої фази спеціальними зміцнювальними інструментами. Це дає можливість додатково впливати на зміну фізико-механічних та корозійних властивостей приповерхневого шару. В результаті МІО у приповерхневих шарах утворюються дрібнокристалічні структури з величиною зерна 12–100 нм, величина мікротвердості досягає 6–12 ГПа. Ефект зміцнення досягають за рахунок зміни хімічного складу поверхневого шару, диспергування структури до нанокристалічного стану та структурно-фазових перетворень, зокрема гартування, за рахунок швидкісного нагріву та охолодження.

Метою даної роботи було вивчення впливу поверхневої НКС сформованої МІО на опірність сталі 65Г контактним навантаженням.

**Матеріали і методики.** Як відомо, ефективність поверхневого зміцнення (глибина і мікротвердість) залежить від вмісту вуглецю [3]. Відомо також [7], що марганець позитивно впливає на міцність сталі в гарячекатаних виробках, що є важливим для контактної втоми. Виходячи із цих міркувань, матеріалом для досліджень вибрали сталь 65Г. Така сталь широко використовується в сільськогосподарській техніці, наприклад, у сошниках сівалок. В поєднанні з поверхневою обробкою, що формує НКС, вона може розширити діапазон матеріалів для роботи в умовах дії високих контактних навантажень. Випробування проводили на 10 мм циліндричних зразках. МІО проводили інструментом зі сталі 40Х з використанням пристрою [8] за різних режимів (див. табл. 1) з використанням в якості ТС мінеральної оливи І–12А ГОСТ 20799–88. Зміцнені МІО зразки порівнювали зі шліфованими після гартування і низького відпуску (НРС 58–60). Фазовий склад поверхневих шарів сталі після зміцнювальної обробки вивчали на дифрактометри-дифрактографі ДРОН-3 у  $\text{CuK}_\alpha$ -випромінюванні ( $U = 30$  кВ,  $I = 20$  мА) з кроком  $0,05^\circ$  та експозицією у точці 4 с. Обробляли дифрактограми, використовуючи програмне забезпечення Powder Cell [9]. Рентгенограми ідентифікували за картотекою JCPDS-ASTM [10]. Випробування на контактну втому виконували на двошроиковій контактній машині МКВ–К, що обладнана електронним вимикачем для фіксації контактної втоми. Вона працює по принципу фрикційної передачі з двома циклами навантаження за один оберт досліджуваного зразка діаметром 10 мм, який обертається між двома навантажувальними дисками діаметром 150 мм. Привід здійснюється від електродвигуна постійного струму з регульованим числом обертів на зразку від 500 до 15000 об/хв. Випробування проводили за частоти обертання 500 об/хв. Як робоче середовище використовували оливу індустріальну І–50А ГОСТ 20799–88. Контактне навантаження на досліджувані зразки складало 2,0 ГПа.

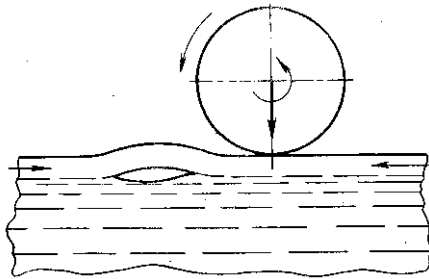
**Результати досліджень.** Досліджувані зразки обробляли МІО на токарно-гвинторізальному верстаті ІК62 за наступними режимами (табл. 1).

Таблиця 1

**Режими МІО сталі 65Г**

Режим МІО	Швидкість обертання деталі м/с	Час обробки, с	Поперечна подача за врізання по лімбу верстату ІК62, мм	Діаметр зразка, мм	
				до МІО	після МІО
1	0,29	15	0,4	10	9,85
2	0,12	8	0,4	10	9,08
3	0,12	15	0,4	10	9,87
4	0,18	15	0,25	10	9,86
5	0,12	15	0,30	10	9,92
6	0,12	8	0,5	10	9,9

В результаті рентгенівських досліджень встановлено, що у поверхневих шарах зразків утворюється ферито-аустенітна структура з величиною зерна 16–40 нм. Величина зерна та мікротвердість, а також глибина зміцненого шару змінюються зі зміною режимів оброблення.



**Рис. 2.** Схема випучування тонкого поверхнього шару і утворення підповерхневої тріщини під впливом залишкових напружень стиску [9]



**Рисунок 3.** Мікроструктура (x400) сталі 65Г після МІО

У [11] показано, що в умовах дії високих контактних навантажень тонкий шар матеріалу, пластично деформований попередніми навантаженнями, не маючи підтримки із зовнішньої сторони, втрачає повздовжню стійкість і випучується (рис. 2). При цьому, між розглядуваним і нижче розміщеними шарами виникають розтягуючі напруження і деформації, які досягають такої величини, що порушується суцільність матеріалу і утворюється первинна підповерхнева тріщина, яка розвивається у прогресуючій пітинг. За таких умов навантаження для ефективного опору руйнуванню поверхневий шар повинен мати високу мікротвердість та глибину зміцнення. Зі збільшенням глибини зростає момент опору зміцненого шару згинальним навантаженням, які ведуть до випучування.

У табл. 2 наведено величину зерна, мікротвердість та глибину зміцнених шарів за різних режимів оброблення.

Дослідження показали, що опір контактному руйнуванню залежить як від твердості поверхнього шару, так і його товщини. Зразки, оброблені за режимами 2, 3 забезпечують виникнення суцільної і рівномірної за товщиною нанокристалічної

структури з підвищеною мікротвердістю, що досягає  $H_{\mu}=9,6-9,8$  ГПа (рис. 3). Під нею розташовується зона вторинного відпуску, мікротвердість якої коливається в межах 4,6–5,5 ГПа. Під зміцненим поверхневим шаром мікротвердість поступово наближається до вихідного стану матеріалу. Вихідні шліфовані зразки після гартування і низького відпуску мають вищий опір контактному руйнуванню як після МІО за режимами (1, 4–6). За таких режимів отримують низькі глибину та мікротвердість зміцненого шару. Пояснюється це пониженим тиском у зоні ФК та зменшенням часу перебування оброблюваної поверхні в зоні контакту зі зміцнювальним інструментом за високої швидкості обертання зразка. Використання МІО за режимів № 2, 3 підвищує контактну довговічність сталі 65Г в 1,4–2,1 рази.

Таблиця 2

**Зміна параметрів зміцненого шару залежно від режимів оброблення**

Режим МІО	1	2	3	4	5	6
Величина зерна, нм	32	20	16	23	34	40
Мікротвердість поверхні, ГПа	8,0	9,6	9,8	8,3	7,9	7,7
Глибина зміцнення, мкм	115	152	163	124	108	96

Таблиця 3

**Вплив МІО на контактну втому сталі 65Г в оливі індустріальній І-50А**

Режим МІО	1	2	3	4	5	6	Шліфовані зразки
Довговічність зразків N- циклів	$2,1 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^6$	$5,8 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^6$

**Висновок.** Дослідження показали, що поверхнева нанокристалічна структура сформована механоімпульсною обробкою на сталі 65Г підвищує її контактну довговічність в 1,4–2,1 рази порівняно зі шліфованими зразками після гартування і низького відпуску.

**Література**

1. Валиев Р. З., Александров И. В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 272 с.: ил.
2. Нанокристаллизация металлических поверхностей методами интенсивной пластической деформации (обзор) / М. А. Васильев, Г. И. Прокопенко, В. С. Филатова // Успехи физ. мет. 2004, т. 5, С. 345–399.
3. Бабей Ю. И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна. – Киев: Наук. думка, 1988. – 240 с.
4. Никифорчин Г. М., Кирилів В. І., Волошин В. А. Фізико-механічні властивості при поверхневих нанокристалічних структур, отриманих високошвидкісним тертям. Сборник докладов IX Международного научно-технического конгресса термистов и металлосведов. Под ред. И М. Неклюдова и В. М. Шулаева. 21–25 апреля 2008. Т. 2. Харьков. Украина. С. 170–177.
5. Максимишин М. Д. Структурно-фазовые изменения при импульсном упрочнении стали и их влияние на работоспособность деталей машин: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Львов, 1986, – 16 с.
6. Кирилів В. І. Поверхнєве легування сталей при механоімпульсній обробці: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Львів, 1997, – 16 с.
7. Гуляев А. П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1978. – 647 с.

8. А. с. 1199601 СССР, МКИ4 И24И 39/00. Устройство для упрочнения наружных цилиндрических поверхностей деталей / В. И. Кырылив, Т. Н. Каличак, Ю. И. Бабей, Опубл. 23.12.85, Бюл. № 47.

9. Krous W., Nolze G. Powder Cell – A Program for the Representation and Manipulation of Crystal Structures and Calculation of the Resulting X-ray Powder Patterns // J. Appl. Cryst. – 1996. – 29. – P. 301–303.

10. Powder Diffraction File 1973: Search manual alphabetical listing and search section of frequently encountered phases. – Inorganic-Philadelphia, 1974.

11. Пинегин С. В. Контактная прочность и сопротивление качению. – М.: «Машиностроение», 1969. – 243 с.

Стаття надійшла до редакції 20.06.2015

УДК 619:611:636.2.084.

**Васерук Н. Я.**, к. вет. н., доцент, **Паска М. З.**, д.вет.н., доцент ©

E-mail: vaseruk-n@ukr.net

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*

### **ВПЛИВ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА МІНЕРАЛЬНИЙ СКЛАД НИРКОВОЇ ТКАНИНИ БУГАЙЦІВ ПРИ ПІДВИЩЕНОМУ КАДМІЄВОМУ НАВАНТАЖЕННІ**

*Зростання техногенного навантаження на довкілля вимагає постійного моніторингу вмісту важких металів в органах і тканинах тварин, як фактора якості виробленої тваринної продукції. За корекції раціону відгодівельного молодняка метионатами Fe, Cu, Zn, Mn, Co проведено дослідження мінерального складу тканини нирок бугайців. Проведеними дослідженнями встановлено вміст кадмію у нирках бугайців агрофірми «Бовшівська» був вищим на 35,9мкг/кг (36,2 %;  $P < 0,001$ ). При додаванні до раціону металоорганічного преміксу вміст кадмію знижувався на 33,2 – 41,1 % ( $P < 0,01$  –  $0,001$ ), застосування вітамінних ін'єкцій та підгодівля метіоніном не впливали на величину показника. Вміст заліза, міді, кобальту був вищим у нирковій тканині тварин агрофірми «Бовшівська».*

**Ключові слова:** нирки, кадмій, мікроелементи, хелати, метіонін, вітаміни.

УДК 619:611:636.2.084.

**Васерук Н. Я.**, к. вет. н., доцент, **Паска М. З.**, д.вет.н., доцент

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*

### **ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА МИНЕРАЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПОЧЕЧНОЙ ТКАНИ БЫЧКОВ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ КАДМИЕВОЙ НАГРУЗКЕ**

*Увеличение техногенной загрузки на среду требует мониторинга содержания тяжелых металлов в органах и тканях животных, как фактора качества продукции животноводства. При коррекции откормочного молодняка метионатами Fe, Cu, Zn, Mn, Co проведено исследование минерального состава ткани почек бычков. Исследованиями установлено, что содержание кадмия в почках бычков агрофирмы «Бовшевская» был выше на 35,9мкг/кг (36,2 %;  $P < 0,001$ ).*