

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 669.017

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.38

ПОРІВНЯННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТА НАНОТВЕРДОСТІ СТАЛЕЙ,
ПОВЕРХНЯ ЯКИХ ЗМІЦНЕНА РІЗНИМИ СПОСОБАМИГлушкова Д.Б., Степанюк А.І., Донченко Д.О.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Приведено порівняння зносостійкості сталей 45 і 38Х2МЮА без покриття і з різними способами зміцнення поверхневого шару. За допомогою нанотвердості отримана інформація про закономірність розподілу твердості в приповерхневому шарі.

Ключові слова: приповерхневий шар, нанотвердість, зносостійкість, зміцнення, покриття.

Вступ

Критеріями оцінки стану поверхні деталей гідроприводів, поверхня яких піддається зносу, є низка параметрів: відносна зносостійкість, величина залишкової пластичної деформації, ступінь зносу або корозії, твердість і така структурно-чутлива характеристика, як нанотвердість, що дозволяє отримати інформацію про стан тонкого поверхневого шару.

Аналіз публікацій

У практиці підприємств, що займаються виготовленням і ремонтом деталей об'ємного гідроприводу, застосовують хіміко-термічну обробку, дифузійне та поверхневе легування для поліпшення їхніх робочих характеристик [1–3].

Аналіз досвіду роботи кількох машинобудівних підприємств показує ефективність застосування іоно-плазмової технології [4–5].

Задаючи властивості покриттів шляхом зміни їхнього хімічного складу, можна спрямовано впливати на зносостійкість, корозійну стійкість, формування стабільних характеристик покриття, що сприяє підвищенню довговічності деталей машин і механізмів.

Завдання цього дослідження – оцінити зносостійкість і стан поверхневого шару деталей, виконаних із різних сталей і зміцнених хіміко-термічною обробкою та іоно-плазмовим напиленням.

Матеріал і методика дослідження

Матеріалом дослідження була використувана на цей час сталь 45 без покриття і після нанесення карбонітридного шару, а також сталь 38Х2МЮА без покриття після азотування й нанесення плазмового покриття.

Застосування сучасних засобів реєстрації надмалих переміщень розширює можливості використання методу нанотвердості в процесі дослідження структурних і субструктурних змін у тонких поверхневих шарах.

Завданням цього дослідження було оцінити стан поверхні, яка підлягає зносу, не тільки традиційними методиками, а й за допомогою нанотвердості.

Основними критеріями оцінки працездатності матеріалів для деталей гідроприводу й ефективності їхньої поверхневої обробки є триботехнічні характеристики та зносостійкість [6].

Методики випробувань дозволили моделювати процеси тертя і зносу реальних деталей. Так, випробування проводилися на машині тертя СМЦ-2, яка дає змогу порівняти випробовувані матеріали за зносостійкістю та властивостями припрацьовуваності за схемою «ролик-колодочка». Роликом слугувала сталь, колодочкою – сірий чавун СЧ20. Припрацьовування становило 15 хв, випробування – 2 год.

Процес азотування здійснювався в середовищі аміаку NH_3 за умови температури $520\text{ }^\circ\text{C}$, карбонітрацію проводили в атмосфері, що містить вуглеводень і аміак, температура процесу – $830\text{ }^\circ\text{C}$.

Нанесення плазмового покриття здійснювалося на установці «Булат-3Т». Для отримання нітридотитанового покриття газореагентом використовували азот.

Стан поверхневого шару досліджуваних сталей після різних видів обробки оцінено за допомогою наноіндентування.

Нанотвердість поверхневих зміцнених шарів визначали на установці Nano Indentor V200 в ННЦ ХФТІ НАН України [7–9]. Як індентор використовувалась алмазна три-

гранна піраміда Берковича з радіусом затуплення при вершині приблизно 20 нм. Точність глибини відбитка $\pm 0,01$ нм. Нанотвердість поверхневих шарів фіксувалася до глибини 200 нм. Максимальне навантаження на індентор становила 9 мН. Обробку отриманих експериментальних даних проводили методом Олівера і Фара [10–11].

Результати експерименту та їхнє обговорення

Результати порівняння зносостійкості сталі 45 після поліпшення та після карбонітрації, а також сталі 38Х2МЮА після поліпшення представлені на рис. 1.

Отримані результати свідчать, що найбільший знос сталі 45 після поліпшення.

Карбонітрація сталі 45 знижує знос у 1,2–1,3 раза для всього досліджуваного діапазону навантажень. Заміна сталі 45 на сталь 38Х2МЮА сприяє зменшенню зносу в 1,5–2 рази. Ще більш істотне зменшення зносу має місце після азотування сталі 38Х2МЮА

або нанесення на неї іоно-плазмового покриття.

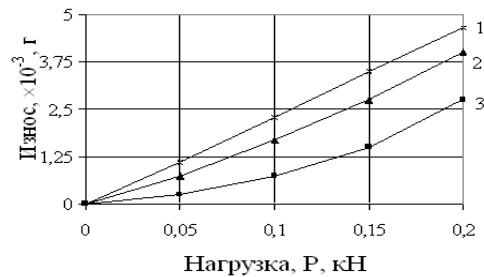


Рис. 1. Залежність зносу досліджуваних матеріалів від запропонованого навантаження: 1 – сталь 45 після поліпшення; 2 – сталь 45 після карбонітрації; 3 – сталь 38Х2МЮА після поліпшення

У табл. 1 наведені результати випробувань на знос сталі 45 і сталі 38Х2МЮА після різних видів обробки.

З табл. 1 випливає, що знос сталі 38Х2МЮА майже в 1,5 раза менший, ніж сталі 45.

Таблиця 1 – Результати випробувань на знос

Матеріал диска	Матеріал колодочки	Знос ролика, $г \cdot 10^{-4}$ (середнє за трьома випробуваннями)	Знос колодочки, $2 \cdot 10^{-4}$ (середнє за трьома випробуваннями)
Сталь 45 після поліпшення	СЧ 20	46,0	26,0
Сталь 45 після карбонітрації	СЧ 20	40,0	18,0
Сталь 38Х2МЮА після поліпшення	СЧ 20	31,0	15,0
Сталь 38Х2МЮА після азотування	СЧ 20	25,0	12,0
Сталь 38Х2МЮА з покриттям TiN (товщина покриття 6 мкм)	СЧ 20	17,0	6,0

Азотування сталі 38Х2МЮА зменшує знос на 20 % порівняно з цією самою сталлю, але без азотування. А нанесення плазмового покриття TiN на сталь 38Х2МЮА майже удвічі зменшує знос порівняно зі сталлю 38Х2МЮА без покриття та знижує знос у 2,5 раза порівняно зі сталлю 45 без покриття після поліпшення.

Водночас можна зазначити, що суттєво зменшується знос працюючої в парі з роликом колодочки. Має значення також товщина іоно-плазмового покриття.

У табл. 2 показана залежність зносу від товщини покриття. Для проведених випробу-

вань найменший знос спостерігається, якщо товщина покриття 6 мкм.

Про стан поверхневих шарів можна отримати інформацію за допомогою вимірювань нанотвердості методом індентування.

У табл. 3 наведені значення твердості після різних способів поверхневого зміцнення сталей 45 і 38Х2МЮА в зоні тертя.

На рис. 2 показано розподіл нанотвердості по глибині впровадження індентора сталі 45 після карбонітрації, на рис. 3 – сталі 38Х2МЮА після азотування, на рис. 4 – сталі 38Х2МЮА після нанесення TiN покриття.

Таблиця 2 – Вплив товщини покриття TiN, яке наносилось на сталь 38Х2МЮА, на знос деталей

Марка сталі	Знос, $г \cdot 10^{-3}$						
	без покриття	товщина покриття, мкм					
		2	3	4	5	6	7
38Х2МЮА після покращення	3,0	2,2	2,1	1,9	1,8	1,7	1,9

Таблиця 3 – Значення твердості після різних способів поверхневого зміцнення

№	Марка сталі	Вид зміцнювальної обробки	Твердість у зоні тертя HV _s
1	Сталь 45	покращення (гартування+високий відпуск)	271–283
2	Сталь 45	покращення+карбонітрація	396–450
3	Сталь 38Х2МЮА	покращення	300–320
4	Сталь 38Х2МЮА	покращення+азотування	349–362
5	Сталь 38Х2МЮА	покращення+покриття TiN	550–570

Для всіх кривих властиво те, що в зоні пружної деформації на глибині до 30–50 нм спостерігаються низькі значення нанотвердості. Що стосується рис. 4, де зображена крива для сталі 38Х2МЮА з покриттям TiN, то тут ми бачимо розкид значень.

Цей факт пов'язаний з тим, що вимірювані точки відповідають різним мікроділянкам покриття, які мають неоднакову природу.

Занижені ж значення нанотвердості на глибині до 30–50 нм пояснюються тим, що вони знаходяться в ділянці пружної деформації.

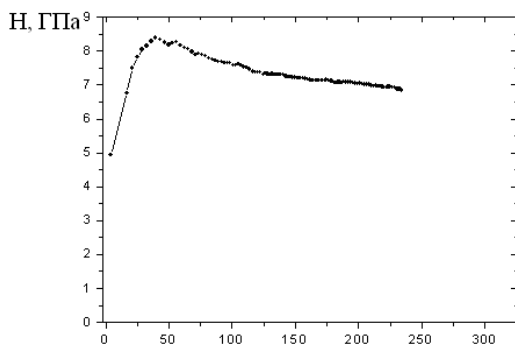


Рис. 2. Розподіл нанотвердості сталі 45 після карбонітрації по глибині впровадження індентора

На глибині понад 50 нм значення нанотвердості деякою мірою стабілізуються. Особливо це помітно для сталі 38Х2МЮА з нанесеним покриттям TiN (рис. 4).

Отже, з аналізу кривих розподілу нанотвердості по глибині впровадження індентора випливає висновок, що об'єктивна інформація про стан поверхневого шару може бути отримана на глибині понад 50 нм.

Крім того, величини нанотвердості не порушують динаміку, що спостерігається у вимірюванні зносостійкості та твердості, а саме найнижчі значення зазначених характеристик мають місце після карбонітрації сталі 45, потім іде сталь 38Х2МЮА після азотування, а потім – сталь 38Х2МЮА після нанесення покриття TiN.

Нанесення покриття здійснювали на установці «БУЛАТ-6».

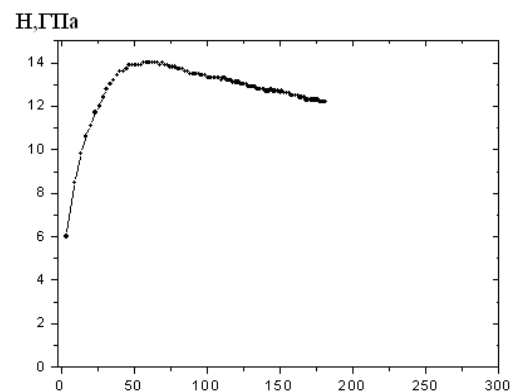


Рис. 3. Розподіл нанотвердості сталі 38ХМЮА після азотування по глибині впровадження індентора

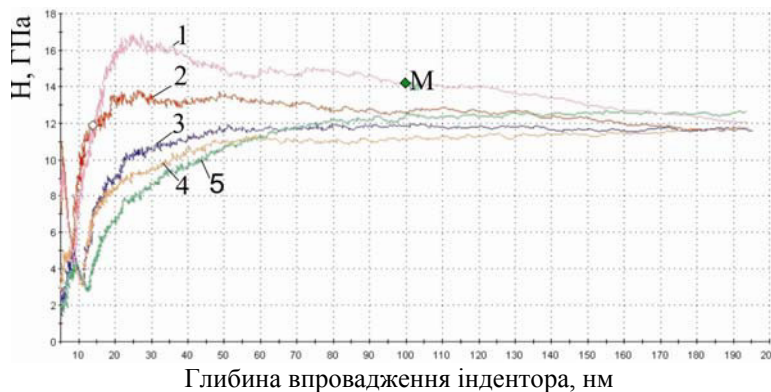


Рис. 4. Розподіл нанотвердості сталі 38Х2МЮА після нанесення TiN покриття по глибині впровадження індентора

Висновки

1. Установлено, що заміна сталі 45 з карбонітрацією на сталь 38Х2МЮА з іоноплазмовим покриттям дозволяє збільшити зносостійкість поверхні, яка піддається зносу більше ніж удвічі.

2. Найменший знос спостерігається за умови нанесення іоно-плазмового покриття TiN завтовшки 6 мкм.

3. Поверхневий зміцнений шар можна оцінити за допомогою нанотвердості, якщо глибина впровадження індентора 50–200 нм.

Література

- Арифов Е. А. Взаимодействие атомных частиц с поверхностью металла. Харьков, 1998. 290 с.
- Федоров А. В. Исследование свойств поверхности стали после ионной имплантации. *Поверхность*. 1996. № 8. С. 123–131.
- Рыжков Ю. В., Глушкова Д. Б., Аврунин Г. А. Карбонизация – эффективный метод повышения надежности деталей гидропривода. *Вестник ХНАДУ: сб. научн. тр.* Харьков: ХНАДУ. 2007. Вып. 39. С. 127–129.
- Карпенко В. А., Глушкова Д. Б., Рыжков Ю. В. Повышение эксплуатационных характеристик деталей гидропередач. *Мир техники и технологий*. 2009. № 8 (93). С. 16–17.
- Дуб С. Н., Ковальчук А. Н., Рыжков Ю. В. Повышение износостойкости трущихся поверхностей пар трения. *Вестник ХНАДУ: сб. научн. тр.* Харьков: ХНАДУ. 2009. Вып. 46. С. 39–43.
- Рыжков Ю. В. Исследование влияния плазменного покрытия на стойкость металлических форм. *Научный Вісник будівництва*. 2009. № 12.
- Рыжков Ю. В. Определение оптимальных параметров покрытий деталей объемного гидропривода методом теории планирования эксперимента. *Вестник ХПИ*. Харьков: ХПИ. 2009.
- Рыжков Ю. В. Повышение долговечности отливок из теплоустойчивой стали, применяемой в гидромашинах. *Материалы 7-й международной промышленной конференции «Эффективность реализации научного ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях»*. Славское, 2007. С. 232–234.
- Применение плазменных покрытий для повышения износостойкости деталей устройств объемного гидропривода / Рыжков Ю. В., Глушкова Д. Б., Мощенко В. И., Тарабанова В. П., Черняева А. В. *Материалы 8-й международной промышленной конференции «Эффективность реализации научного ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях»*. Славское, 2008. С. 405–407.
- Повышение эксплуатационных свойств деталей гидропередач: материалы Международной конференции «Heavy Metall–2008». Сербия. Кралево, 2008.
- Любченко А. П., Глушкова Д. Б., Рыжков Ю. В. Неразрушающий метод контроля состояния поверхности после газотермического напыления. *Труды 17-го Всемирного конгресса по неразрушающему контролю*. Китай, 23.10–4.11.2008.

Reference

- Arifov E. A. Vzaimodeystvie atomny'h chastic s poverhnost'yu metala. Kharkiv, 1998, 290 p.
- Fedorov A. V. Issledovanie svoystv poverhnosti stali posle ionnoy implantacii/ *Poverhnost'*. 1996, no 8, pp. 123–131.
- Ry'jkov Yu. V., Glushkova D. B., Avrunin G. A. Karbonizaciya – e'ffektivny'y metod povy'sheniya nadejnosti detaley gidroprivoda. *Vestnik HNADU: sb. nauchn. tr.* Kharkiv: HNADU, 2007, vol. 39, pp. 127–129.
- Karpenko V. A., Glushkova D. B., Ry'jkov Yu. V. Povy'shenie e'kspluatacionny'h karakteristik detaley gidroperedach. *Mir tehniki i tehnologii*. 2009, no. 8 (93), pp. 16–17.
- Dub S. N., Koval'chuk A. N., Ry'jkov Yu. V. Povy'shenie iznosostoykosti trusch'ihsvya poverhnostey par treniya. *Vestnik HNADU: sb. nauchn. tr.* Kharkiv: HNADU, 2009, vol. 46, pp. 39–43.
- Ry'jkov Yu. V. Issledovanie vliyaniya plazmennogo pokry'tiya na stoykost' metallicheskikh form. *Naukoviy Vi'snik budi'vniictva*. 2009, no. 12.
- Ry'jkov Yu. V. Opredelenie optimal'ny'h parametrov pokry'tiy detaley ob'emnogo gidroprivoda metodom teorii planirovaniya e'ksperimenta. *Vestnik HPI*. Kharkiv: HPI, 2009.
- Ry'jkov Yu. V. Povy'shenie dolgovechnosti otlivok iz teploustoychivoy stali, primenyaemoy v gidromashinah. *Materialy' 7-y mejdunarodnoy promy'shlennoy konferencii "E'ffektivnost' realizacii nauchnogo resursnogo i promy'shlennoho potenciala v sovremenny'h usloviyah"*. Slavskoe, 2007, pp. 232–234.
- Primenenie plazmenn'y'h pokry'tiy dlya povy'sheniya iznosostoykosti detaley ustroystv ob'emnogo gidroprivoda / Yu. V. Ry'jkov, D. B. Glushkova, V. I. Mosch'enok, V. P. Tarabanova, A. V. Chernyaeva. *Materialy' 8-y mejdunarodnoy promy'shlennoy konferencii "E'ffektivnost' realizacii nauchnogo resursnogo i promy'shlennoho potenciala v sovremenny'h usloviyah"*. Slavskoe, 2008, pp. 405–407.
- Povy'shenie e'kspluatacionny'h svoystv detaley gidroperedach: materialy' Mejdunarodnoy konferencii "Heavy Metall–2008". Serbiya. Kralevo, 2008.
- Lyubchenko A. P., Glushkova D. B., Ry'jkov Yu. V. Nerazrushayusch'iy metod kontrolya sostoyaniya poverhnosti posle gazotermicheskogo napy'leniya. *Trudy' 17-go Vsemirnogo kongressa po nerazrushayusch'emu kontrolyu*. Kitay, 23.10–4.11.2008.

Глушкова Діана Борисівна, д.т.н., проф., завідувач кафедри технології металів та матеріалознавства, 057-707-37-29,

diana.borisovna@gmail.com,

Степанюк Андрій Іванович, асистент, кафедра технології металів та матеріалознавства,

тел. +38 097-525-85-13, dioxid26@meta.ua

Донченко Дмитро Олександрович, аспірант, кафедра технології металів та матеріалознавства,

тел. +38-099-281-80-66, e-mail: don3777@ukr.net

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25

Сравнение износостойкости и нанотвердости сталей, поверхность которых упрочнена разными способами

Аннотация. Приведено сравнение износостойкости сталей 45 и 38Х2МЮА без покрытия и с разными способами упрочнения поверхностного слоя. С помощью нанотвёрдости получена информация о закономерности распределения твёрдости в приповерхностном слое.

Ключевые слова: приповерхностный слой, нанотвёрдость, износостойкость упрочнение, покрытие.

Глушкова Диана Борисовна, д.т.н., заведующий кафедры технологии металлов и материаловедения, тел. 097-481-15-93, diana@khadi.kharkov.ua.

Степанюк Андрей Иванович, ассистент кафедры технологии металлов и материаловедения, 097-525-85-13, dioxid26@meta.ua

Донченко Дмитрий Александрович, аспирант, кафедра технологии металлов и материаловедения, тел. +38-099-281-80-66,

e-mail: don3777@ukr.net

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

Comparing wear properties and nanohardness of steels after strengthening the surface by various methods

Abstract. A comparison is made of the wear resistance of steels 45 and 38X2MЮА without coating and with various methods of surface

hardening. The information was obtained on the regulation of the hardness distribution in the surface layer using nanohardness. By setting the properties of coating, changing its chemical composition, it is possible to influence wear resistance, corrosion resistance, and formation of stable characteristics of the coating, which increases the durability of machine parts and mechanisms. The purpose of this study was to assess the wear resistance and state of the surface layer of the parts made of various steels, hardened by chemical-thermal treatment and ion-plasma spraying. The use of modern means of recording ultra-small displacements expands the possibilities of using the nanohardness method in the study of structural and substructural changes in thin surface layers. The purpose of this study was to assess the condition of the surface to be worn, not only by traditional methods, but also by nanohardness. The main criteria for evaluating the characteristics of materials for hydraulic parts and the efficiency of their surface treatment are tribotechnical characteristics and, above all, wear resistance. The test methods made it possible to simulate the processes of friction and wear of real parts. Thus, the tests were carried out on the SMTs-2 friction machine, which make it possible to compare the tested materials in terms of wear resistance and machinability according to the "roller-block" scheme. The state of the surface layer of the studied steels after various types of processing was assessed by the nanoindentation method.

Key words: surface layer, nanohardness, wear resistance, strengthening, coating.

Hlushkova Diana – Doct. Sc., Chef of Department of Technology of Metals and Materials Science, tel: 057-707-37-29, diana@khadi.kharkov.ua

Stepaniuk Anrey – Assistant, Department of Metal Technology and Materials Science, tel.: +38 097-525-85-13, dioxid26@meta.ua

Donchenko Dmytro - graduate student, Department of Metal Technology and Materials Science,

tel. +38-099-281-80-66, e-mail: don3777@ukr.net
Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.