

ВПЛИВ СТРУКТУРИ ТА ФАЗОВОГО СКЛАДУ ЕКОНОМНОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

Глушкова Д. Б.¹, Багров В. А.¹, Волчук В. М.²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

Анотація. У роботі розглянуто питання впливу зносу на утворення «білої смуги» в метастабільних аустенітних, мартенситноаустенітних та вториннотвердіючих сталях системи Cr-Mn-Ti, що додатково леговані Mo, B, V. Визначено вплив структури та фазового складу на зносостійкість економнолегованих метастабільних та вториннотвердіючих сталей. **Виклад основного матеріалу.** Наплавлення досліджуваних матеріалів здійснювалось у мідні форми з різною швидкістю примусового охолодження. Досліджувалися метастабільні аустенітні, мартенситноаустенітні та вториннотвердіючі сталі системи Cr-Mn-Ti, додатково леговані Mo, B, V. Додаткове легування цих сталей титаном у кількості 2...5 % сприяло запобіганню сколам вздовж зони сплавлення. Поблизу лінії сплаву знаходиться зона основного металу, шириною 7...15 мкм. Після випробування за об'ємної температури робочої частини зразка $T_V = 553...573$ К контактних об'ємів наплавленого металу типу 30X2B8Ф виявлено розширення меж зерен, лінії зсуву, більш дрібне, як порівняти з нижчими шарами зерна. Поза зоною пластичної деформації величина зерен відповідає їхнім розмірам до початку випробувань, межі зерен відносно тонкі. Кількість та розташування спостерігаються в разі збільшеннях X430, X800 карбідів також аналогічні структурним характеристикам наплавленого металу типу 30X2B8Ф. За близьких значень контактного тиску в парі тертя-час утворення тріщини критичної довжини збільшується в разі збільшення ефективної поверхневої енергії γ_e (що містить енергію пластичної деформації). Таким чином, показники тріщиностійкості (K_{IC} , j -інтеграл, δ_c), а отже, і опір зношування мартенситностаріючих сталей вище, ніж метастабільних та інструментальних сталей. Показники тріщиностійкості (K_{IC} , j -інтеграл, δ_c), а отже, і опір зношування мартенситностаріючих сталей вище, ніж метастабільних та інструментальних сталей. Проведені дослідження підтверджують можливість утворення "білої смуги" як у сплавах, що мають високу концентрацію елементів – аустенізаторів (Mn, C, Ni), так і в процесі легування карбидоутворювальними елементами з відносно невисокою спорідненістю до вуглецю (V, Mo).

Ключові слова: сталь, легування, структура, фазовий склад, твердість, тріщиностійкість.

Вступ

Дослідження щодо розроблення вдосконалення економнолегованих сталевих зносостійких сталей для наплавлення інструменту гарячого оброблення металу є досить актуальними [1–5].

Аналіз публікацій

Інструмент гарячого оброблення металу використовують для здійснення основної операції – пластичної деформації металу за високих температур [6–9]. Для високопродуктивної роботи цей інструмент має бути достатньо твердим, мати опір стискання, вигину, динамічне навантаженням, високий опір стирання та ударно-абразивне зношення, теплостійкість, добре оброблену поверхню робочих частин [10, 11].

Одним із факторів, що впливають на термін експлуатації інструменту гарячого деформування, є температура [12–17], зокрема її вплив на процеси в поверхневому та підповерхневому шарах [18–25]:

- зміну показників механічних властивостей у разі збільшення температури;
- відпустку та структурні перетворення;
- появу вторинних деформацій та напруг через нерівномірність розподілу температур.

Мета та постановка завдання

Відповідно до вищезазначеного метою цієї роботи було дослідження впливу структури та фазового складу на зносостійкість економнолегованих метастабільних та вториннотвердіючих сталей. Для досягнення мети в роботі реалізовані такі завдання:

1 проведення дослідження, що підтверджують можливість утворення "білої смуги" як у сплавах, що мають високу концентрацію елементів – аустенізаторів (Mn, C, Ni), так і в процесі легування карбідоутворювальними елементами з відносно невисокою спорідненістю до вуглецю (V, Mo);

2 аналіз показників тріщиностійкості (K_{IC}, j-інтеграл, δ_C) а отже, опору зношуванню мартенситностаріючих та інструментальних сталей.

Матеріали та методики досліджень

Наплавлення досліджуваних матеріалів здійснювалось у мідних формах з різною швидкістю примусового охолодження. Досліджувалися метастабільні аустенітні, мартенситно-аустенітні та вториннотвердіючі сталі системи Ст-Mn-Ti, додатково леговані Mo, V, V.

Випробування на зношування здійснювались відповідно до вимог Держстандарту 30480-97 «Забезпечення зносостійкості виробів. Методи випробування на зносостійкість. Загальні вимоги».

Для випробування використовувалася машина тертя 2070 СМТ-1, схема випробування – диск-колодка. Застосовували такі режими тертя: швидкість обертання диска – 0,5 м/с; навантаження на зразок – 25, 50 Н; матеріал контртіла – сталь 45Х, HRC 47...49. Також досліджувався процес зношування наплавленого металу в умовах торцевого тертя плоских стрижнів зі сталей Р18, 12Х18Н9Т тощо під час поворотно-поступального руху. Температуру нагрівання зразків та стрижнів тертя вимірювали хромель-алюмелевими термомпарами, діаметром 0,2 мм, на приладі за швидкості протягу стрічки 2160 мм/хв.

Виклад основного матеріалу

Оброблення результатів здійснювали з огляду на [1–5] за виразами для пружнопластичного та пластичного контактів:

Контурний тиск:

$$P_C = \frac{5,4}{E^4} \cdot \frac{HB^5(1-\mu^2)^4}{\Delta^2} \quad (1)$$

$$P_C \geq 1,45 \frac{1}{\Delta^2} \cdot \frac{HB^5(1-\mu^2)^4}{E^4} \quad (2)$$

Наближення:

$$\varepsilon = 0,125 \left(8 \frac{P_C}{HB} + 1 \right). \quad (3)$$

Через істотний вплив нагрівання на локальну зміну форми поверхонь тіл, що контактують, і структурні перетворення використовувався термоконтактний критерій для осесиметричного контакту [2]:

$$\frac{\pi}{4A} \cdot \frac{f[(1+\nu_1) \cdot \alpha_1 + (1+\nu_2) \cdot \alpha_2]}{\lambda + \lambda_{21}} \cdot \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right) \cdot \omega R_{np}^2 \cdot \sigma_u^2, \quad (4)$$

де f – коефіцієнт тертя; A – механічний еквівалент теплоти; ν_1, ν_2 – коефіцієнти Пуассона; α_1, α_2 – термічні коефіцієнти лінійного розширення; λ_1, λ_2 – коефіцієнти теплопровідності; E_1, E_2 – модулі пружності матеріалів; σ_H – максимальний тиск за Герцем; ω – відносна кутова швидкість; R_{np} – наведений радіус кривизни.

Було визначено як масове, так і лінійне зношення. Для зносостійких сталей із бейнітною, бейнітно-мартенситною та метастабільною аустенітною структурою основним матеріалом – еталоном – був наплавлений метал 30Х2В8Ф.

Пластичність поверхневого шару наплавленого металу та інструментальних термооброблених сталей визначалася за значеннями усередненого відносного подовження:

$$\delta_B = \frac{\delta_{max} + \delta_{min}}{2}, \quad (5)$$

$$\text{де } \delta_{min} = \frac{0,75(h/d - 0,13)^2}{0,224 - h/d - 1,08(h/d)^2}, \quad (6)$$

де h і d – глибина застосування індентора та діаметр відбитка під час вимірювання твердості.

Теплостійкість визначалася залежностями. Зразки нагрівалися до температур 900, 925, 950, 970 і 1000 К з витримкою 4 години з охолодженням і вимірюванням твердості.

Характеристиками термостійкості є кількість циклів NP до руйнування зразків попереочного перерізу.

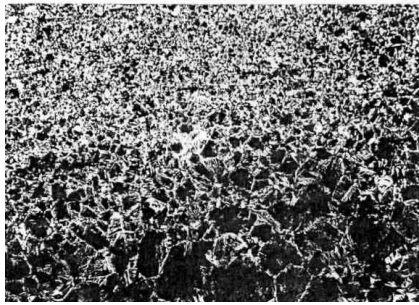
Дослідження первинної структури шліфів наплавлених сталей демонструє наявність білих прошарків, що погано травляться та незначною мірою відрізняються за шириною (рисунки 1, 2).

Металографічний аналіз розташування прошарків демонструє, що в більшості випадків їхнє розташування повторює фронт кристалізації наплавленого металу.

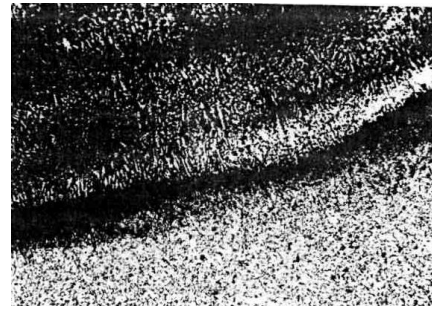
Зіставлення розрахункових та експериментальних величин інтенсивності зношування

демонструє, що розрахункові значення інтенсивності зношування можна використовувати для орієнтовного аналізу зносостійкості

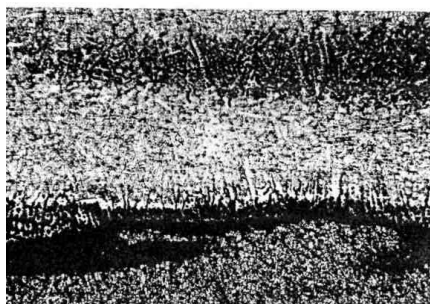
сплавів різного хімічного складу, але схожих за структурним класом.



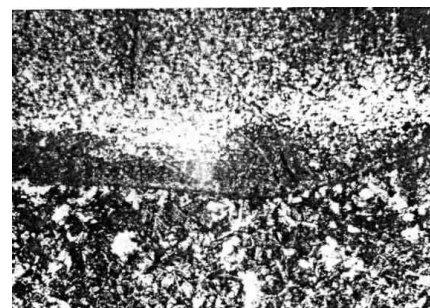
20X3Г9М5Т2С



40X4Г9Т2С

Рис. 1. Структура зони сплавлення. Поперечний темплет, $\times 100$ 

20X3Г9М5Т2С



40X4Г9Т2С

Рис. 2. Структура зони сплавлення. Поздовжній темплет, $\times 100$

Відповідно до теорії втомного зношування руйнування поверхневих шарів у процесі зовнішнього тертя обумовлено знакозмінними напругами [1, 5]. У деяких випадках за напруг, що відповідають пружним деформаціям, пластична течія в поверхневих шарах викликана дотичними напругами. У разі пластичного контакту навантаження, що призводить до пластичної течії, істотно залежить від молекулярної складової коефіцієнта тертя.

Для всіх досліджених сплавів характерним є поступове зменшення розкиду значень мікротвердості за глибиною зони тертя.

Зміна мікротвердості в приповерхневих шарах на стадії зношення зумовлено паралельними процесами взаємодифузії матеріалів пар тертя, вибіркового окислення і термодифузійного перерозподілу фази, що зміцнюється, під дією температур і деформацій [26–32]. Ці зміни по-різному впливають на інтенсивність зношування досліджених матеріалів. Низька здатність до зміцнення інструментальних сталей призводить до підвищення темпу зношення та передчасного переходу до стадії критичного зношення. Двійникування та виділення карбідів у метастабільних аустенітних і вториннотвердіючих сталей підвищує опірність пластичним зсувам за підвищених

температур, ускладнюючи руйнування робочих поверхонь під час тертя [1–5]. Інтенсивність зношування деяких досліджених сталей наведена на рис. 3.

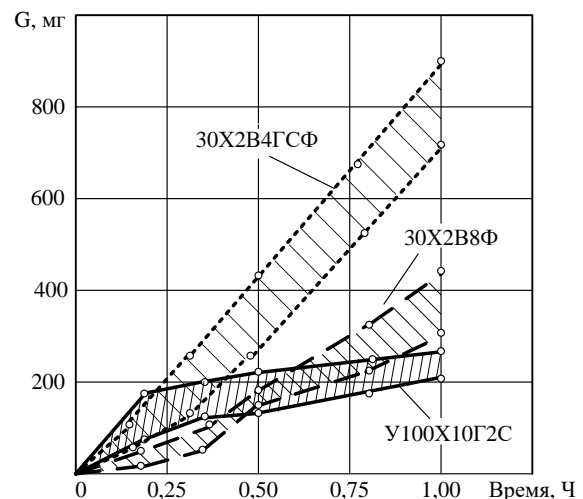


Рис. 3. Інтенсивність зношування наплавленого металу. Параметри режиму: $T_{CM} = 773$ К, $P_A = 20$ МПа, $V_{в.п.п.} = 0,188$ м/с, матеріал стрижня тертя – сталь Р18. Початкова кількість аустеніту в структурі сплавів, що випробовуються: 30X2B8Ф – 5..7 %; 30X2B4ГСФ – 15 %; У100Х10Г2С – 95...97 %

Після випробування за об'ємної температури робочої частини зразка $T_V = 553 \dots 573$ К до контактних об'ємів наплавленого металу типу 30X2B8Ф виявлено розширення меж зерен, лінії зсуву, що більш дрібне, як порівняти з зерном з нижчими шарами. Поза зоною пластичної деформації величина зерен відповідає їхнім розмірам до початку випробувань, межі зерен відносно тонкі. Кількість та розташу-

вання спостерігаються в разі збільшень Х430, Х800 карбідів також аналогічні структурним характеристикам наплавленого металу типу 30X2B8Ф. Структура, що формується у фронті зношення, подібна своєю будовою до структури білої зони та визначається високою мікротвердістю. Зміна структури наплавленого металу в контактній зоні і нижніх шарах наведені на рис. 4.

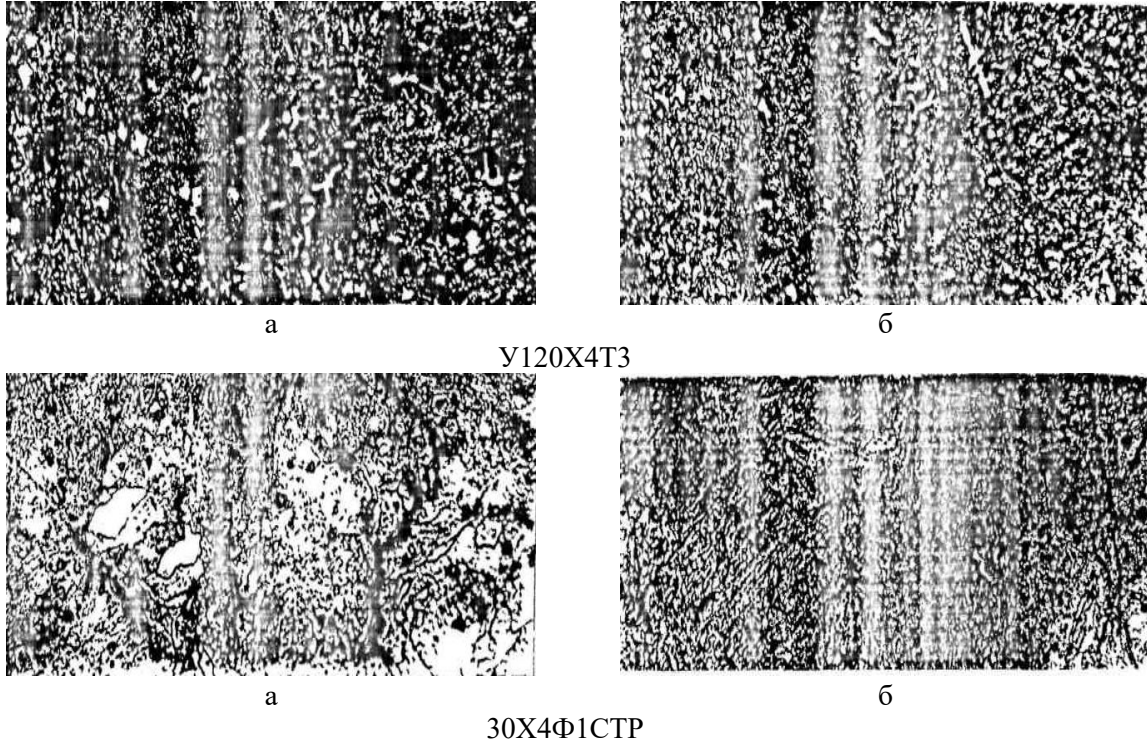


Рис. 4. Структура наплавленого металу після випробувань на зношування: а – біля поверхні; б – 2 мм від поверхні зношення

З підвищенням температури стрижня тертя до $T_{CT} 823$ К мікротвердість металу контактних обсягів помітно знизилася (рисунок 6). Для граничного шару визначальною є структура «білої зони» після високої відпустки.

В окремих зразках із хромомолібденового наплавленого металу виявлено порушення суцільності за межами зерен.

Структура відпущеного металу «білої смуги» наплавлення 50X5M2B2H1Ф змінюється на поверхні зношування продуктами відпустки з ділянками аустеніту в разі підвищення температури стрижня тертя від 823 К до 973 К.

За умови близьких значень контактного тиску в парі тертя час утворення тріщини критичної довжини збільшується зі збільшенням ефектної поверхневої енергії γ_e (що містить енергію пластичної деформації).

Вплив температури на в'язкість руйнування наведено на рис. 5.

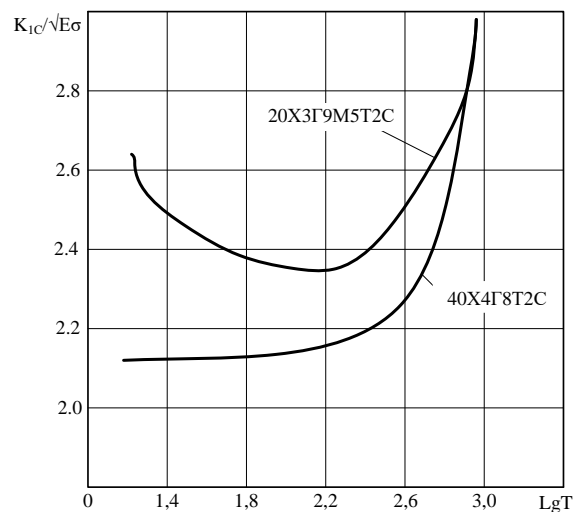


Рис. 5. Залежність розрахунково-експериментального критерію руйнування $K1C = \sqrt{AEGT\varepsilon\alpha\beta}$ від температури

Таким чином, показники тріщиностійкості (КС, j -інтеграл, δC) а отже, і опір зношування мартенситностаріючих сталей вище, ніж метастабільних та інструментальних сталей.

Висновки

1. Дослідженнями доведено можливість утворення «білої смуги» як у сплавах, що мають високу концентрацію елементів – аустенізаторів (Mn, C, Ni), так і в процесі легування карбїдоутворювальними елементами з відносно невисокою спорідненістю до вуглецю (V, Mo).

2. Показники тріщиностійкості (КС, j -інтеграл, δC), а отже, і опір зношування мартенситностаріючих сталей вище, ніж метастабільних та інструментальних сталей.

Література

1. Глушкова Д. Б. Зміцнення та відновлення деталей циліндро-поршневої групи. Харків: 2021. 200 с.
2. Studying the properties of steel for sidewalls of chute conveyors / Hlushkova D., Kalinin V., Stepanyuk A., Hnatyuk A., Serzhenko I. International Science Group. Boston: Primedia eLaunch, 2021. 758 p. Available at: DOI-10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II – P. 560–564 (колективна монографія).
3. Глушкова Д. Б., Багров В. А. Застосування сучасних технологій для підвищення зносостійкості деталей об'ємного гідроприводу. Theoretical and practical aspects of modern scientific research: collective monograph, Sherman Oaks, California: GS Publishing Services, 2022. P. 171–178 (колективна монографія).
4. Глушкова Д. Б., Рижков Ю. В. Наукові та технологічні основи підвищення трибологічних характеристик деталей мехатронних систем. Харків, 2022. 119 с.
5. Глушкова Д. Б. Підвищення надійності робочих органів гідрофікованих машин спеціального призначення: монографія. Дніпро: Журфонд, 2023. 258 с.
6. Gluskova D., Volchuk V. Determination of the optimal parameters of laser boriding to improve the wear resistance of piston rings. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2022. № 2. С. 29–32.
7. The choice of material for strengthening of leading edges of working blades of steam turbines / Hlushkova D. B., Hrinchenko O. D., Kostina L. L., Cholodov A. P. Питання атомної науки та техніки. 2018. № 1. С. 181–188.
8. Обґрунтування вибору скандію для мікролегування високоміцних алюмінієвих сплавів / Калініна Н. Є та ін. Авіаційно-космічна техніка і технологія. 2022. № 4. Спецвипуск 2 (182). С. 114–118.
9. Hardening of leading edges of turbine blades by electrospark alloying / Kalinina N. E., Hlushkova D. B., Hrinchenko O. D., Nosova T. V. Problems of Atomic Science and Technology. 2019. N 2(120). P. 151–154.
10. Gladkikh L. I., Malykhyn S. V., Glushkova D. B., D'yachenko S. S., Kovtun G. P. Residual Stresses and Structure of Titanium and Chromium Nitride Coatings Obtained by a Method of an Ion-Plasma-Enhanced Deposition. Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. 2003. V. 25(6). P. 763–776.
11. Структура й властивості порошкових газоплазменних покриттів на основі нікелю / Глушкова Д. Б., Багров В. А., Демченко С. В., Волчук В. М. Вісник ХНАДУ. Вип. 97. 2022. С. 74–81.
12. Serotherapy-Free Regimen Improves Non-Relapse Mortality and Immune Recovery Among the Recipients of $\alpha\beta$ TCell-Depleted Haploidentical Grafts: Retrospective Study in Childhood Leukemia / Shelikhova, L., Glushkova, S., Nikolaev, R., Dunaikina, M. Y. Transplantation and Cellular Therapy. 27(4). 2021. P. 330-e1.
13. Increase of wear resistance of the critical parts of hydraulic hammer by means of ion-plasma treatment / Hlushkova D. B., Ryzhkov Y. V., Kostina L. L., Demchenko S. V. Питання атомної науки і техніки. 2018. № 1. С. 208–211.
14. Roik T. A., Glushkova D. B., Tarabanova V. P. The influence of chemical composition on the hardness and wear resistance of parts. Bulletin of NTU «KPI». Kharkiv: NTU «KPI», 2012. № 63. P. 92–98.
15. Mathematical Modelling of Operating Processes in the Pneumatic Engine of the Car / Leontiev, D. N., Voronkov, O., Korohodskiy, V., Hlushkova, D., Nikitchenko, I. SAE Technical Paper. 2020. No. 2020-01-2222.
16. Influence of temperature of thermal processing on intercrystalline corrosion resistance of welding joints / Kalinina N. E., Hlushkova D. B., Dzhur Y.O., Khodyrev S. Ya. Journal of chemistry and technologies 2020. 28(1). P. 34–41.
17. Special features of the phase composition and structure of aluminum alloys modified by refractory nanocompositions / Kalinina N. E., Hlushkova D. B., Voronkov A. I., Sanin A. F. Functional materials. 2020. Vol. 27. № 3 (2020). С. 508–512.
18. Dudukalov Y., Ternyuk M., Hlushkova D. Synthesis of the fuel systems boron-containing metalized fuels for vehicles SAE Technical Paper 2020-01-2155. 2020. P. 6.
19. Mathematical modeling of operating processes in the pneumatic engine of the car / Leontiev D., Voronkov O., Korohodskiy V., Hlushkova D. SAE Technical Paper 2020-01-2222, 2020. P. 6.
20. Kalinina N. E., Glushkova D. B., Voronkov A. I., Kalinin V. T. Influence of nanomodification on structure formation of multicomponent nickel alloys. Fu 1. Corrosion resistance of reinforced layers of 15X11MФ steel steam turbine blades. ВАИТ. 2021. № 2(132). С. 136–141.

21. Increasing fretting resistance of flexible element pack for rotary machine flexible machine flexible coupling. Part 1. Analysis of the reasons affecting fretting resistance of flexible elements from expansion coupling / Tarelnyk V., Hlushkova D., Martsynkovskyy V., Dumanchuk M. *Jornal of Physics: Conference Series*. 2021. 1741. 11 p.
22. Structural and phase composition features of titanium and chromium nitride coatings obtained by ion-plasma deposition / Hlushkova D., Voronkov A., Kalinina N., Kalinin V. *Functional Materials*. 27. № 4 (2020). P. 710–715.
23. Use of detonation sputtering to increase the durability of hydraulic hammer critical parts / Hlushkova D. B., Kirichenko I. H., Bahrov V. A., Kalinina N. Ye. *PAST*. 2021. №5 (135). P. 139–145.
24. Transformation of structure and properties of structural steel during nanomodification and strengthening treatment / Bolshakov V. I., Kalinin A. V., Hlushkova D. B., Ryzhkov Y. V. *Functional materials*. 28. №3. 2021. P. 486–491.
25. Increasing the corrosion resistance of welded joints of heat-resistant nickel alloy with steel / Bolshakov V. I., Kalinin O. I., Kalinina N. E., Hlushkova D. B. *ВАНТ*. 2022. № 1(37). С. 195–198.
26. Peculiarities of the formation of a hardened layer during laser boronizing of piston rings / Hlushkova, O. I., Voronkov, Y. V., Ryzhkov, N. E., Kalinin, T. V. *ВАНТ*. 2022. №1(37). С. 199–201.
27. Increasing the corrosion resistance of heat-resistant alloys for parts of power equipment / Vahrusheva V. S., Hlushkova D. B., Volchuk V. M., Nosova T. V. *ВАНТ*. 2022. No 4(140). С. 137–140.
28. Structure and properties of powder gas-plasma coatings based on nickel / Hlushkova D. B., Bagrov V. A., Demchenko S. V., Volchuk V. M. *ВАНТ*. 2022. No 4(140). С. 125–130.
29. Розробка системи спрямованого вибору найбільш ефективної технології підвищення якості бабітових покриттів підшипників ковзання. Математичний модель зносу бабітових покриттів. Критерії вибору технології нанесення бабітових покриттів / Тарельник В. Б., Гапонова О. П., Коноплянченко Є. В., Тарельник Н. В. *Metallophysics and Advanced Technologies Металофізика і новітні технології*. 2022. Vol. 44. No. 12. Pp. 1643–1659.
30. Influence of structure and phase composition on wear resistance of sparingly alloyed alloys / Hlushkova D. B., Bagrov V. A., Volchuk V. M., Murzakhmetova U. A. *Functional Materials*. 30. № 1 (2023). P. 74–78. <https://doi.org/10.15407/fm30.01.74>.
31. Study of wear of the building-up zone of martensite-austenitic and secondary hardening steels of the Cr-Mn-Ti system / Hlushkova D. B., Bagrov V. A., Saenko V. A., Volchuk V. M. *Питання атомної науки та техніки* 2023. № 2 (144). Pp. 105–109.
32. Study of nanomodification of nickel alloy GS3 with titanium carbide / Hlushkova D. B., Kalinin A. V., Kalinina N. E., Volchuk V. M. *Питання атомної науки та техніки* 2023. № 2 (144). P.126–129.

References

1. Hlushkova D. B. *Strengthening and restoration of cylinder-piston group parts*. Kharkiv: 2021. 200 p.
2. *Studying the properties of steel for sidewalls of chute conveyors* / Hlushkova D., Kalinin V., Stepanyuk A., Hnatyuk A., Serzhenko I. *International Science Group*. Boston: Primedia eLaunch, 2021. 758. Available at: DOI-10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II P. 560–564. (collective monograph).
3. Hlushkova D. B., Bagrov V. A. *Application of modern technologies to increase the wear resistance of parts of a volumetric hydraulic drive / Theoretical and practical aspects of modern scientific research: collective monograph*. Sherman Oaks, California: GS Publishing Services, 2022. P. 171–178 (collective monograph).
4. Glushkova D. B., Ryzhkov Yu. V. *Scientific and technological basis of improving the tribological characteristics of parts of mechatronic systems*. Kharkiv, 2022. 119 p.
5. Hlushkova D. B. *Increasing the reliability of working bodies of special-purpose hydrofed machines*-monograph. Dnipro-Zhurfond, 2023. 258 p.
6. Gluskova D., Volchuk V. *Determination of the optimal parameters of laser boriding to improve the wear resistance of piston rings. New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering*. 2020. No. 2. P. 29–32.
7. *The choice of material for strengthening of leading edges of working blades of steam turbines* / Hlushkova D. B., Hrinchenko O. D., Kostina L. L., Cholodov A. P. *VANT*. 2018. № 1. С. 181–188.
8. *Justification of the choice of scandium for microalloying of high-strength aluminum alloys* / Kalinina N. E. and other. *Aviation and space technology and technology*. 2022. No. 4. Special issue 2 (182). P. 114–118.
9. *Hardening of leading edges of turbine blades by electrospark alloying* / Kalinina N. E., Hlushkova D. B., Hrinchenko O. D., Nosova T. V. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2019. N 2(120). P. 151–154.
10. Gladkikh L. I., Malykhyn S. V., Glushkova D. B., D'yachenko S. S., Kovtun G. P. *Residual Stresses and Structure of Titanium and Chromium Nitride Coatings Obtained by a Method of an Ion-Plasma-Enhanced Deposition*. *Металофізика і Новеішіє Tekhnologii*. 2003. V. 25(6). P. 763–776.
11. *Structure and properties of powder gas plasma coatings based on nickel* / Glushkova D. B., Bagrov V. A., Demchenko S. V., Volchuk V. M. *Visnyk Khnadu*. 2022. Vol. 97. Pp. 74–81.

12. Serotherapy-Free Regimen Improves Non-Relapse Mortality and Immune Recovery Among the Recipients of $\alpha\beta$ TCell-Depleted Haploidentical Grafts: Retrospective Study in Childhood Leukemia / Shelikhova, L., Glushkova, S., Nikolaev, R., Dunaikina, M. Y. Transplantation and Cellular Therapy. 27(4). 2021. P. 330-e1.
 13. Increase of wear resistance of the critical parts of hydraulic hammer by means of ion-plasma treatment / Hlushkova D. B., Ryzhkov Y. V., Kostina L. L., Demchenko S. V. VANT. 2018. № 1. С. 208–211.
 14. Roik T. A., Glushkova D. B., Tarabanova V. P. The influence of chemical composition on the hardness and wear resistance of parts. Bulletin of NTU «KPI». Kharkiv: NTU «KPI», 2012. № 63. P. 92–98.
 15. Mathematical Modelling of Operating Processes in the Pneumatic Engine of the Car / Leontiev, D. N., Voronkov, O., Korohodskiy, V., Hlushkova, D., Nikitchenko, I. SAE Technical Paper. 2020. No. 2020-01-2222.
 16. Influence of temperature of thermal processing on intercrystalline corrosion resistance of welding joints / Kalinina N. E., Hlushkova D. B., Dzhur Y.O., Khodyrev S. Ya. Journal of chemistry and technologies 2020. 28(1). P. 34–41.
 17. Special features of the phase composition and structure of aluminum alloys modified by refractory nanocompositions / Kalinina N. E., Hlushkova D. B., Voronkov A. I., Sanin A. F. Functional materials. 2020. Vol. 27. № 3 (2020). С. 508–512.
 18. Dudukalov Y., Ternyuk M., Hlushkova D. Synthesis of the fuel systems boron-containing metalized fuels for vehicles SAE Technical Paper 2020-01-2155. 2020. P. 6.
 19. Mathematical modeling of operating processes in the pneumatic engine of the car / Leontiev D., Voronkov O., Korohodskiy V., Hlushkova D. SAE Technical Paper 2020-01-2222, 2020. P. 6.
 20. Kalinina N. E., Glushkova D. B., Voronkov A. I., Kalinin V. T. Influence of nanomodification on structure formation of multicomponent nickel alloys. Fu 1. Corrosion resistance of reinforced layers of 15X11MФ steel steam turbine blades. BAHT. 2021. № 2(132). С. 136–141.
 21. Increasing fretting resistance of flexible element pack for rotary machine flexible machine flexible coupling. Part 1. Analysis of the reasons affecting fretting resistance of flexible elements from expansion coupling / Tarelnyk V., Hlushkova D., Martsynkovskyy V., Dumanchuk M. Journal of Physics: Conference Series. 2021. 1741. 11 p.
 22. Structural and phase composition features of titanium and chromium nitride coatings obtained by ion-plasma deposition / Hlushkova D., Voronkov A., Kalinina N., Kalinin V. Functional Materials. 27. № 4 (2020). P. 710–715.
 23. Use of detonation sputtering to increase the durability of hydraulic hammer critical parts / Hlushkova D. B., Kirichenko I. H., Bahrov V. A., Kalinina N. Ye. PAST. 2021. №5 (135). P. 139–145.
 24. Transformation of structure and properties of structural steel during nanomodification and strengthening treatment / Bolshakov V. I., Kalinin A. V., Hlushkova D. B., Ryzhkov Y. V. Functional materials. 28. №3. 2021. P. 486–491.
 25. Increasing the corrosion resistance of welded joints of heat-resistant nickel alloy with steel / Bolshakov V. I., Kalinin O. I., Kalinina N. E., Hlushkova D. B. BAHT. 2022. № 1(37). С. 195–198.
 26. Peculiarities of the formation of a hardened layer during laser boronizing of piston rings / Hlushkova, O. I., Voronkov, Y. V., Ryzhkov, N. E., Kalinin, T. V. BAHT. 2022. №1(37). С. 199–201.
 27. Increasing the corrosion resistance of heat-resistant alloys for parts of power equipment / Vahrusheva V. S., Hlushkova D. B., Volchuk V. M., Nosova T. V. BAHT. 2022. No 4(140). С. 137–140.
 28. Structure and properties of powder gas-plasma coatings based on nickel / Hlushkova D. B., Bagrov V. A., Demchenko S. V., Volchuk V. M. BAHT. 2022. No 4(140). С. 125–130.
 29. Development of a system of targeted selection of the most effective technology for improving the quality of babbitt coating of sliding bearings. Part 2. Mathematical model of wear of babbitt coatings. Criteria for choosing a technology for applying babbitt coatings / Tarelnyk V. B., Gaponova O. P., Konoplyanchenko E. V., Tarelnyk N. V. Metallophysics and Advanced Technologies Metallophysics and the latest technologies. 2022. Vol. 44. No. 12. Pp. 1643–1659.
 30. Influence of structure and phase composition on wear resistance of sparingly alloyed alloys / Hlushkova D. B., Bagrov V. A., Volchuk V. M., Murzakhmetova U. A. Functional Materials. 30. № 1 (2023). P. 74–78. <https://doi.org/10.15407/fm30.01.74>.
 31. Study of wear of the building-up zone of martensite-austenitic and secondary hardening steels of the Cr-Mn-Ti system / Hlushkova D. B., Bagrov V. A., Saenko V. A., Volchuk V. M. Issues of atomic science and technology. 2023. No. 2 (144). Pp. 105–109.
 32. Study of nanomodification of nickel alloy GS3 with titanium carbide / Hlushkova D. B., Kalinin A. V., Kalinina N. E., Volchuk V. M. Issues of atomic science and technology. 2023. No. 2 (144). Pp. 126–129.
- Глушкова Діана Борисівна**¹, д.т.н., проф., завідувач кафедри технології металів та матеріалознавства, тел.: 057-707-37-29, e-mail: di-ana@khadi.kharkov.ua, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна,
- Багров Валерій Анатолійович**¹, к.т.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел. 057-707-37-29, e-mail: havetabanca@ukr.net,

Харківський національний автомобільнодорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна,

Волчук Володимир Миколайович², д.т.н., проф., завідувач кафедри матеріалознавства і обробки матеріалів, тел.: +38 (056)-745-23-72, e-mail: volchuky@gmail.com, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24 а, Дніпро, 49600, Україна.

Influence of structure and phase composition of economically alloyed steels on wear resistance

Abstract. Problem. The paper considers the influence of wear on the formation of a "white band" in metastable austenitic, martensitic-austenitic and secondary hardening steels of the Cr-Mn-Ti system additionally alloyed with Mo, B, V., the influence of the structure and phase composition on the wear resistance of sparing. **Goal.** Based on the above, the purpose of this work was to study the influence of structure and phase composition on the wear resistance of economically alloyed metastable and secondary hardening steels. **Methodology.** Surfacing of the studied materials was carried out in copper molds with different rates of forced cooling. Metastable austenitic, martensitic-austenitic and secondary hardening steels of the Cr-Mn-Ti system additionally alloyed with Mo, B, V were studied. Additional alloying of these steels with titanium in an amount of 2...5 % contributed to the prevention of spalling along the fusion zone. Near the fusion line there is a base metal zone with a width of 7...15 μm . **Results.** After testing at the volume temperature of the working part of the specimen $T_V=553...573\text{ K}$ in the contact volumes of the deposited metal of the 30Kh2V8F type, broadening of the grain boundaries, shear lines, finer grains compared to the underlying layers were revealed. Outside the zone of plastic deformation, the size of the grains corresponds to their sizes before the start of testing, the grain boundaries are relatively thin. The number and location of carbides observed at X430, X800 magnifi-

cations are also similar to the structural characteristics of the deposited metal of the 30Kh2V8F type. **Originality.** At close values of the contact pressure in the friction pair, the time of formation of a crack of critical length increases with an increase in the effective surface energy γ_e (including the energy of plastic deformation). Thus, the crack resistance indices (CR, j-integral, δ_c) and, consequently, the wear resistance of maraging steels are higher than those of metastable and tool steels. **Practical value.** The crack resistance indices (CR, j-integral, δ_c) and, consequently, the wear resistance of maraging steels are higher than those of metastable and tool steels. **Conclusions.** The conducted studies confirm the possibility of the formation of a "white band" both in alloys with a high concentration of elements - austenitizers (Mn, C, Ni), and when alloyed with carbide-forming elements with a relatively low affinity for carbon (V, Mo).

Key words : steel, alloying, structure, phase composition, hardness, crack resistance

Hlushkova Diana¹, Doct. Sc. (Tech.), Head of the Department of Technology of Metals and Materials Science, Phone: 057-707-37-29,

e-mail: diana@khadi.kharkov.ua, Kharkov National Automobile and Highway University, Str. Yaroslava Mudrogo, 25, Kharkov, 61002, Ukraine,

Bagrov Valeriy¹, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor of the Department of Technology of Metals and Materials Science, Phone: 057-707-37-29,

e-mail: havetabanca@ukr.net, Kharkov National Automobile and Highway University, Str. Yaroslava Mudrogo, 25, Kharkov, 61002, Ukraine,

Volchuk Volodymyr², Doct. Sc. (Tech.), Head of the Department of Materials Science and Materials Processing, Phone: +38 (056)-745-23-72,

e-mail: volchuky@gmail.com, State Higher Educational Institution Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24a Chernishevsky St., 49600, Dnipro, Ukraine.