

ВПЛИВ КРІОГЕННОГО ОБРОБЛЕННЯ НА ЗМІНУ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Бобирь С. В.¹, Парусов Е. В.¹, Чуйко І.М.², Барановська О. Є.³

¹ ІЧМ ім. З.І. Некрасова НАН України, д.т.н., с.н.с., Україна

² ІЧМ ім. З.І. Некрасова НАН України, к.т.н., ст. досл., Україна

³ ІЧМ ім. З.І. Некрасова НАН України, к.т.н., Україна

Анотація. Досліджено вплив кріогенного оброблення на експлуатаційну стійкість сталей інструментального призначення із додатковим легуванням кремнієм, хромом, молібденом, ванадієм та вольфрамом. Високовуглецеві леговані сталі після гартування завжди містять істотну кількість залишкового аустеніту, що потребує проведення енергоємних довготривалих технологічних операцій для його подальшого розпаду, але це не завжди вирішує існуючу проблему, яка пов'язана з їх низькою зносостійкістю, особливо в жорстких умовах експлуатації. Саме з цієї точки зору, під час проведення експериментів першу партію досліджуваних сталей обробляли за стандартною технологією термічного зміцнення (гартування та відпуск), а другу партію – за стандартною технологією із додатковим кріогенним обробленням. За результатами досліджень шляхом порівняльного аналізу встановлено особливості зношування високовуглецевих легованих сталей в залежності від типу кінцевої структури. Показано, що хімічний склад, параметри режиму термічного зміцнення та тривалість випробувань чинять різний вплив на зносостійкість сталей інструментального призначення, однак при цьому досліджуванні сталі, що були піддані додатковому кріогенному обробленню, у всіх випадках характеризуються найменшою втратою ваги під час абразивного зношування.

Ключові слова: високовуглецева сталь, легування, аустеніт залишковий, термічне оброблення, зносостійкість, кріогенне оброблення

Вступ. Високовуглецеві леговані сталі інструментального призначення після швидкого охолодження до кімнатної температури містять залишковий аустеніт ($A_{зал}$), який під час подальшого охолодження може перетворюватися на мартенсит. Найбільш істотний вплив на положення критичних точок мартенситного перетворення та кількість залишкового аустеніту чинить вміст вуглецю в сталі. Основним недоліком звичайних високовуглецевих сталей є їхня незначна прогартовуваність та низька теплостійкість. Тому на практиці з метою

поліпшення зазначених показників до складу високовуглецевих сталей додатково вводять кремній, хром, молібден, ванадій та вольфрам, сумарний вміст яких не перевищує 5 %. Більшість із зазначених легувальних елементів за рахунок впливу на підвищення стійкості аустеніту зменшують критичну швидкість гартування й збільшують прогартовуваність сталей інструментального призначення. Традиційним способом, який сприяє розпаду $A_{зал}$, є високотемпературний відпуск, але при цьому змін зазнає структура сталі. Альтернативним способом зменшення кількості $A_{зал}$ в структурі загартованої легованої сталі може бути кріогенне оброблення, яке дозволяє продовжити процес розпаду аустеніту на мартенсит за рахунок більш глибокого переохолодження нижче критичної точки M_k . Практичні задачі кріогенного оброблення зводяться до цілеспрямованого впливу на підвищення твердості та, відповідно, експлуатаційної стійкості (зносостійкості) металовиробів, що виготовлені з високовуглецевих легуваних сталей.

Мета роботи – дослідити вплив параметрів комплексного термічного оброблення на зміну зносостійкості високовуглецевих сталей, які леговані кремнієм, хромом, молібденом, ванадієм та вольфрамом.

Матеріали та методика досліджень. У якості матеріалу використано циліндричні зразки промислових партій прокату діаметром 8,0–10,0 мм з високовуглецевих легуваних сталей із хімічним складом, наведеним у таблиці. Під час проведення досліджень для кожної сталі використовували відповідні пари дослідних зразків, один з яких обробляли за стандартною технологією термічного зміцнення (СТЗ), а другий із додатковим кріогенним обробленням (експериментальний режим) за температури $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ після СТЗ. Тривалість кріогенного оброблення становила 26 год., при цьому швидкості охолодження і відігрівання склали $1\text{ }^{\circ}\text{C/хв.}$ та $2\text{ }^{\circ}\text{C/хв.}$ відповідно. Досягнення від’ємної температури зразків забезпечували шляхом регламентованого охолодження у середовищі газоподібного азоту, подальшого витримування у рідкому азоті й наступного відігрівання. На завершальному етапі проводили низькотемпературний відпуск за температури $\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 1

Хімічний склад досліджуваних легованих сталей

№ за/п	Вміст хімічних елементів, % ваг.								
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	S	P
Сталь № 1	0,84	0,33	0,31	4,05	5,02	1,93	5,71	0,004	0,011
Сталь № 2	0,88	0,44	1,32	1,07	0,016	0,003	0,002	0,008	0,012
Сталь № 3	1,03	0,29	0,28	1,45	0,007	0,002	0,001	0,005	0,010

Порівняльний аналіз зносостійкості досліджуваних сталей проводили на абразивному колі із використанням свердлильного верстату за авторською методикою випробувань. Згідно з цією методикою, створювали постійне зусилля на кінці ручки регулювання положення шпинделя (вантаж вагою 1,0 кг), що забезпечувало однакові зусилля у контактній зоні випробувального матеріалу з абразивним колом. За постійної швидкості обертання шпинделя для всіх пар зразків (стандартний і експериментальний режими) через певні проміжки часу (1, 5, 10 та 15 хв.) проводили зважування зразків на високоточних лабораторних аналітичних вагах «ВЛА-200» із точністю до 1,0 мг.

Результати. Термічне оброблення першої (стандартний режим) та другої (експериментальний режим) партії зразків із досліджуваних сталей проводили за наступними режимами: сталь № 1 – нагрівання до 1220 °С, витримування, гартування у маслі, триразове відпускання при 560 °С; сталь № 2 – нагрівання до 860 °С, витримування, гартування у маслі, відпускання при 150 °С; сталь № 3 – нагрівання до 860 °С, витримування, гартування у маслі, відпускання при 150 °С. Другу партію зразків додатково піддавали кріогенному обробленню (КО) з наступним відпусканням при 150 °С. Результати порівняльних випробувань на абразивне зношування зразків досліджуваних сталей наведено на рисунку.

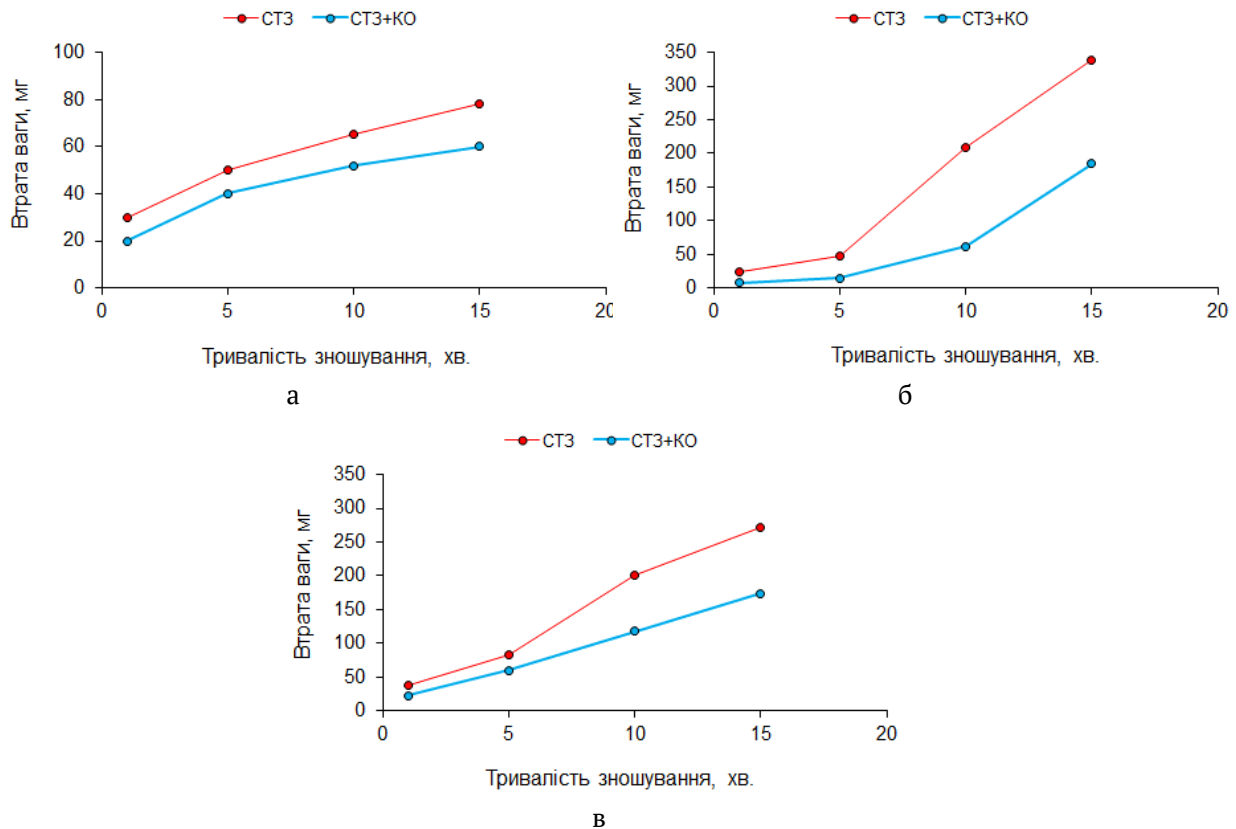


Рисунок 1 – Втрата ваги дослідних зразків після абразивного зношування:
а – сталь № 1; б – сталь № 2; в – сталь № 3

Менша втрата ваги зразка (сталь № 1) для режимів СТЗ+КО відповідає більш високій зносостійкості, порівняно з режимом СТЗ. Різниця у зношуванні становить ~ 50–30 %. При цьому після 10-ї хвилини зношування зразка, обробленого за режимом СТЗ, відбувається більш інтенсивно. Це дозволяє припустити, що за більш тривалого періоду експлуатації режим СТЗ+КО забезпечить для сталі № 1 ще більший ефект підвищення зносостійкості.

Зміна у зношуванні сталі № 2 за режимами СТЗ і СТЗ+КО відрізняється від сталі № 1 та характеризується явно вираженим нелінійним характером із зростанням тривалості випробувань. Різниця у зношуванні становить ~ 200–82 %. У процесі збільшення тривалості випробувань сталі № 2, що обумовлює певний розігрів, відбувається відпускання мартенситу, а тому різниця втрати ваги зразків істотно зменшується.

Зміна у зношуванні сталі № 3 за схемами СТЗ та СТЗ+КО також відрізняється від сталі № 1. Зі збільшенням тривалості випробувань зростання

втрати ваги зразка за режимом СТЗ більш відрізняється від зразка після додаткової КО. Різниця у зношуванні становить ~ 72–56 %.

Необхідно зазначити, що підвищення зносостійкості низьковідпущеного мартенситу порівняно з високовідпущеним станом пов'язане з більш високим вмістом у ньому вуглецю, що обумовлює формування не тільки вихідної мікротвердості (твердості), але і його здатність до самозміцнення, внаслідок розвитку динамічного деформаційного старіння під час абразивного зношування. Наявність в структурі сталі вказаного типу мартенситу обумовлює також підвищений рівень залишкових стискаючих напружень, які сприятливо впливають на поверхневу контактну міцність готових металовиробів.

Результати проведених досліджень цілком відповідають раніше отриманому ефекту після криогенного оброблення конструкційної сталі 38ХНЗМФА, в якій спостерігали підвищення поверхневої зносостійкості до ~ 50 % в залежності від режиму гартування [1, 2]. Отже, застосування криогенного оброблення чинить загально позитивний вплив на експлуатаційну стійкість легованих сталей в незалежності від вмісту вуглецю.

Подальші дослідження авторів будуть зосереджені на визначенні ефективної тривалості витримування досліджуваних сталей у рідкому азоті [3] з метою створення сучасних енергоощадних технологій термічного зміцнення металовиробів зі сталей інструментального призначення (фрези, свердла, підшипники тощо).

Висновки. За результатами проведених досліджень встановлено особливості впливу криогенного оброблення на формування зносостійкості високовуглецевих сталей інструментального призначення, додатково легованих кремнієм, хромом, молібденом, ванадієм та вольфрамом. На наступному етапі заплановано проведення в умовах машинобудівних підприємств серії промислових випробувань під час виготовлення товарних металовиробів з досліджуваного марочного сортаменту сталей. При цьому, спираючись на наявний власний досвід авторів, найбільший ефект може бути досягнуто, якщо криогенне оброблення буде включено до технології термічного зміцнення високовуглецевих легованих сталей безпосередньо після операції

гартування, з метою запобігання стабілізації залишкового аустеніту, зменшення температури та кількості циклів відпускання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бобирь С. В., Парусов Е. В., Голубенко Т. М., Барановська О. Є., Чуйко І. М. Дослідження впливу кріогенного оброблення на особливості формування структури та зносостійкість сталі 38ХН3МФА. Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. 2022. Вип. 36. С. 430–440. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2022-36-430-440>
2. Бобирь С. В., Парусов Е. В., Голубенко Т. М., Барановська О. Є. Про особливості формування структури під час ізотермічного гартування та кріогенного оброблення сталі 38ХН3МФА. Наука і металургія : матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції Дніпро, 22–24 листопада 2022 : ІЧМ НАНУ, УДУНТ МОН України. С. 46–47. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2022-conferens>
3. Serhii Bobyr, Pavlo Krot, Eduard Parusov, Tetiana Golubenko, Olena Baranovs'ka Increasing the wear resistance of structural alloy steel 38CrNi3MoV subjected to isothermal hardening and deep cryogenic treatment. Applied Sciences. 2023. № 13(16). 9143. <https://doi.org/10.3390/app13169143>

INFLUENCE OF DEEP CRYOGENIC TREATMENT ON THE CHANGE IN WEARRESISTANCE OF HIGH-CARBON ALLOY TOOL STEELS

Serhii Bobyr, Eduard Parusov, Ihor Chuiko, Olena Baranovs'ka

Abstract. *The effect of deep cryogenic treatment on the operational stability of tool steels with additional alloying with silicon, chromium, molybdenum, vanadium and tungsten was studied. High-carbon alloy steels after quenching always contain a significant amount of residual austenite, which requires energy-intensive long-term technological operations for its further decomposition, but this does not always solve the existing problem associated with their low wear resistance, especially in harsh operating conditions. It is from this point of view that during the experiments, the first batch of the studied steels was treated using standard thermal hardening technology (quenching and tempering), and the second batch was treated using standard technology with additional deep cryogenic treatment. According to the results of the research, the features of wear of high-carbon alloy steels depending on the type of final structure were established by comparative analysis. It is shown that the chemical composition, parameters of the thermal hardening regime, and the duration of the tests have different effects on the wear resistance of tool steels, however, in this study, steels that were subjected to additional deep cryogenic treatment are in all cases characterized by the lowest weight loss during abrasive wear.*

Keywords: *high carbon steel, alloying, retained austenite, heat treatment, wear resistance, deep cryogenic treatment*

REFERENCE

1. Bobyr S. V., Parusov E. V., Goloubenko T. M., Baranovs'ka O. Ye., Chuiko I. M. Doslidzhennya vplivu kriogenного obroblyennya na osoblivosti formuvannya strukturi ta znosostykyt' stali 38HN3MFA. Fundamental'ni ta prikladni problemy chornoï metalurgii. 2022. Vol. 36. P. 430–440. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2022-36-430-440>
2. Bobyr S. V., Parusov E. V., Goloubenko T. M., Baranovs'ka O. Ye. Pro osoblivosti formuvannya strukturi pid chas izotermichного gartuvannya ta kriogenного obroblyennya stali 38HN3MFA. Nauka i metalurgiya : materialy vseukraïns'koï naukovo-tekhnichnoï konferencii Dnipro, 22–24 listopada 2022 : IChM NANU, UDUNT MON Ukraini. P. 46–47. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2022-conferens>
3. Serhii Bobyr, Pavlo Krot, Eduard Parusov, Tetiana Golubenko, Olena Baranovs'ka Increasing the wear resistance of structural alloy steel 38CrNi3MoV subjected to isothermal hardening and deep cryogenic treatment. Applied Sciences. 2023. № 13(16). 9143. <https://doi.org/10.3390/app13169143>