

**С. В. Бобирь**, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0001-6816-1554

**Е. В. Парусов**, д.т.н., с.н.с. ORCID 0000-0002-4560-2043

**Т. М. Голубенко**, к.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-3583-211X

**О. Є. Барановська**, к.т.н., н.с., ORCID 0000-0002-4106-5797

**І. М. Чуйко**, к.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-4753-614X

*Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КРІОГЕННОГО ОБРОБЛЕННЯ НА ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СТАЛІ 38ХНЗМФА ПІСЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ТЕРМІЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ**

**Анотація.** Метою роботи є дослідження впливу комплексного термічного оброблення на особливості формування структури та властивостей вуглецевої сталі, що легована хромом, нікелем, молібденом та ванадієм. У теперішній час для виготовлення різноманітних металовиробів металургійного та машинобудівного призначення (прокатні валки, лінійки, прошивні оправки, деталі енергетичного обладнання) використовують вуглецеві леговані сталі (38ХНЗМФА, 65ХЗСМФ, 80ХЗМФ), які містять хром, молібден, нікель, ванадій та інші дефіцитні й дороговартісні хімічні елементи. Однак стійкість до зношування готових металовиробів із зазначених сталей в жорстких умовах експлуатації (значні циклічні навантаження та підвищені температури) виявляється на практиці недостатньою. Одним зі способів ефективного впливу на поліпшення експлуатаційної стійкості вуглецевих легованих сталей може бути застосування криогенного оброблення після попереднього термічного зміцнення. Наведено результати досліджень впливу та тривалості криогенного оброблення на особливості формування структури, мікротвердості, твердості й зносостійкості сталі 38ХНЗМФА, яка була попередньо піддана термічному зміцненню. Встановлено, що тривалість витримування сталі 38ХНЗМФА у рідкому азоті повинна становити не менше 1,0 години, що дозволяє досягти підвищення мікротвердості та зносостійкості на 12 % і 17,4 % відповідно. Отримані результати дозволяють стверджувати, що застосування криогенного оброблення на завершальній стадії термічного зміцнення забезпечить підвищення експлуатаційної стійкості металовиробів відповідального призначення, які виготовлені зі сталі 38ХНЗМФА. Розроблений спосіб може бути рекомендований до промислової реалізації технології комплексного термічного оброблення вуглецевих сталей із підвищеною зносостійкістю, які додатково містять хром, нікель, молібден і ванадій.

**Ключові слова:** легована сталь, зносостійкість, твердість, структура, криогенне оброблення.

**Посилання для цитування:** Дослідження впливу криогенного оброблення на особливості формування структури та зносостійкість сталі 38ХНЗМФА після попереднього термічного зміцнення / С. В. Бобирь, Е. В. Парусов, Т. М. Голубенко,

О. Є. Барановська, І. М. Чуйко. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2022. Вип. 36. С. 430-440. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-430-440.

**Актуальність проблеми.** Практично всі вуглецеві леговані сталі після швидкого охолодження до кімнатної температури містять деяку кількість залишкового аустеніту, який при подальшому охолодженні нижче критичної точки  $M_k$  може перетворюватися у мартенсит. Найбільш істотний вплив на положення критичної точки  $M_k$  й, відповідно, кількість залишкового аустеніту чинить вміст вуглецю в сталі. Універсальним способом, який здатен зменшити або сприяти повному розпаду аустеніту, є високотемпературний відпуск, але при цьому істотних змін зазнає структура сталі. Альтернативним способом зменшення кількості залишкового аустеніту в структурі загартованої сталі може бути криогенне оброблення, яке дозволяє продовжити процес розпаду аустеніту в мартенсит за рахунок більш глибокого охолодження до інтервалу низьких або наднизьких температур. Останній спосіб слід розглядати, як подальше загартування сталі, яка містить залишковий аустеніт. Для забезпечення повної відсутності або досягнення мінімальної кількості аустеніту у структурі сталі після термічного зміцнення її необхідно миттєво охолодити до від'ємних температур, оскільки витримування за кімнатної температури може обумовити стабілізацію аустеніту [1].

Практичні задачі криогенного оброблення зводяться до цілеспрямованого впливу на підвищення поверхневої твердості та, відповідно, поверхневої зносостійкості металовиробів, що виготовлені з інструментальних та конструкційних сталей. Тому зусилля матеріалознавців зазвичай зосереджені на обґрунтованому визначенні перспективного компонентного складу [2–4] та дослідженні впливу параметрів режиму термічного зміцнення на особливості формування структури та властивостей легованих сталей [5–9].

На сьогоднішній день в науково-технічній літературі практично відсутні експериментальні дані щодо впливу комплексних режимів термічного оброблення низьковуглецевих легованих сталей на параметрами їхньої структури та експлуатаційну стійкість, тому цей напрямок потребує проведення відповідних досліджень.

**Мета роботи** – дослідити вплив комплексного термічного оброблення на особливості формування структури, мікротвердості, твердості й експлуатаційної стійкості вуглецевої сталі, що легована хромом, нікелем, молібденом та ванадієм.

**Матеріал та методика досліджень.** Дослідження впливу комплексного та криогенного оброблення виконували на зразках від промислової партії прокату з конструкційної легованої сталі, хімічний склад якої відповідав вимогам ГОСТ 4543-71. Криогенне оброблення зразків проводили у спеціально розробленій камері з можливістю регульованого охолодження

до наднизьких температур. У якості охолоджувального середовища використовували газоподібний та рідкий азот. Прилади та обладнання: оптичний мікроскоп «Axiovert 200M MAT», твердомір «ТК-2», мікротвердомір «ПМТ-3». Зносостійкість дослідних зразків  $\varnothing 40,0 \pm 0,1$  мм визначали за допомогою машини тертя «СМЦ-2», а їхню масу визначали на високоточних вагах «JD 100» із точністю зважування 0,0001 г.

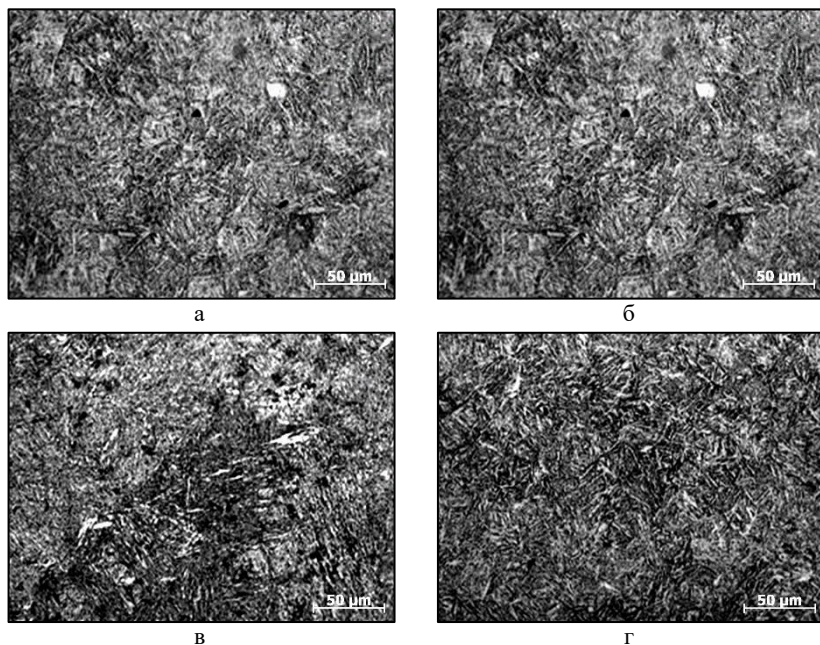
**Результати досліджень та їх обговорення.** Сталь 38ХНЗМФА використовують на практиці для виготовлення деталей відповідального призначення, при цьому вона характеризується достатньою високою стійкістю метастабільного аустеніту (більше 3,0 год.) під час ізотермічного охолодження в інтервалі температур 400–500 °С [5, 10–12]. Для легованих сталей, які володіють істотною стійкістю метастабільного аустеніту, зазвичай використовують ступінчасте охолодження. В якості охолоджуючого середовища традиційно застосовують розплавлені солі та луги, які є екологічно шкідливими. Тому під час проведення досліджень становило інтерес дослідити вплив комплексного термічного оброблення сталі 38ХНЗМФА без використання вищезазначених охолоджувальних середовищ.

Відомо, що кріогенне оброблення суттєво впливає на формування остаточних властивостей легованих сталей інструментального призначення [13], зокрема на їхню зносостійкість, тому зазначене оброблення було застосоване в якості заключного для дослідних зразків сталі 38ХНЗМФА після попереднього термічного зміцнення. За режимом № 1 зразки сталі 38ХНЗМФА піддавали термічному зміцненню за стандартною технологією: завантаження в піч за температури 630 °С, нагрівання до 850 °С, витримування, загартування в маслі, відпуск при температурі 630 °С протягом 3,5 годин. За режимом № 2 зразки сталі 38ХНЗМФА піддавали комплексному термічному обробленню із додатковим застосуванням кріогенного оброблення у спеціальній камері з газоподібним та рідким азотом [14]. У відповідності до режиму № 2 дослідні зразки завантажували у піч за температури 630 °С, нагрівали до 850 °С, витримували, загартовували в маслі та піддавали кріогенному обробленню за наступною схемою: охолодження у середовищі газоподібного азоту з середньою швидкістю 5 °С/хв. до –180 °С, витримування у рідкому азоті, нагрівання з середньою швидкістю 5 °С/хв. до температури 20 °С. Після кріогенного оброблення зразки піддавали відпуску за температури 600 °С протягом 40 хв.

Для встановлення ефективності впливу тривалості кріогенного оброблення на зміну мікротвердості сталі 38ХНЗМФА після оброблення за стандартним режимом зразки піддавали витримуванню у рідкому азоті протягом 10 хв., 1 год. і 24 год. Характерна структура дослідних зразків після стандартного та кріогенного оброблення наведена на рис. 1.

Структура сталі 38ХНЗМФА після термічного зміцнення складається з сорбіту відпуску. Істотних (видимих) змін структура сталі 38ХНЗМФА

після криогенного оброблення не зазнає, що обумовлено високою термодинамічною стабільністю сорбіту відпуску та очевидно практичною відсутністю залишкового аустеніту після відпуску [6].



а – після стандартного оброблення; б, в, г – після стандартного оброблення та витримування у рідкому азоті протягом 10 хв., 1 год. і 24 год. відповідно.

Рисунок 1 – Структура дослідних зразків сталі 38ХН3МФА.

Середнє значення мікротвердості після термічного зміцнення сталі 38ХН3МФА становить  $\sim 3130$  МПа, але після криогенного оброблення протягом 1 год. воно зростає на  $\sim 12\%$  і становить  $\sim 3500$  МПа. Збільшення тривалості витримування зразків у рідкому азоті до 24 год. не викликає істотної зміни мікротвердості сталі 38ХН3МФА, однак незначне підвищення до  $\sim 3558$  МПа все ж спостерігається (рис. 2). Отже, для ефективного впливу на формування мікротвердості тривалість витримування сталі 38ХН3МФА у рідкому азоті повинна становити не менше 1,0 год. Збільшення тривалості криогенної обробки не є доцільним.

Визначення твердості дослідних зразків проводили після зачищення поверхні дрібним абразивом до металевого блиску (без використання шліфування). Результати вимірювання твердості дослідних зразків, що були піддані стандартному та криогенному обробленню, а також у стані постачання (поковки) наведено в табл. 1.

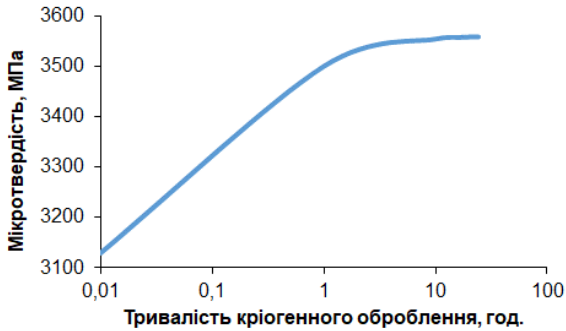


Рисунок 2 – Вплив тривалості криогенного оброблення на зміну значень мікротвердості термічнозміцненої сталі 38ХНЗМФА.

Таблиця 1 – Результати вимірювання твердості дослідних зразків.

№ вимірювання	Твердість, HRC			
	режим № 1	режим № 2		у стані постачання
1	38,5	40,0	41,0	28,0
2	40,5	41,0	41,0	28,0
3	39,0	41,0	41,0	28,0
4	40,0	41,0	41,0	28,0
5	39,5	41,0	41,0	28,0
сер. значення	39,5	40,9		28,0

Твердість зразків, що піддавалися додатковому криогенному обробленню (режим № 2), за середніми значеннями виявилась вищою на 1,4 HRC, ніж для зразків, які були оброблені за стандартним режимом (режим № 1). При цьому слід зазначити, що розподіл значень твердості на поверхні зразків зі сталі 38ХНЗМФА після криогенного оброблення виявляється більш рівномірним (практично однаковим в межах похибки вимірювань). Дослідження впливу криогенного оброблення на зносостійкість сталі 38ХНЗМФА проводили на зразках, що були оброблені за режимами № 1 і № 2. Під час випробування на установці «СМЦ-2» задавали наступні параметри: обертання валу (дослідний зразок) – 300–500 об./хв., прослизання контргіла до 10 %, зусилля стискання зразків – 800 Н. Тривалість на зношування третям за трьома періодами випробувань становила 30 тис., 50 тис. та 70 тис. циклів (обертів). В якості контргіла використовували високовуглецеву сталь після загартування із твердістю 62 HRC. Зношування випробувальних зразків визначили за втратою їхньої маси шляхом зважування на високоточних електронних вагах із точністю до 0,0001 г. Результати випробувань наведено в табл. 2, та у графічному вигляді на рис. 3, 4. Сумарне зношування за три цикли випробувань складало: для зразка, обробленого за режимом № 1 – 0,9532 г і 0,7873 г – для зразка, обробленого за режимом № 2. Тобто в останньому випадку втрата маси зразка виявляється на ~17,4 % меншою, що підтверджує позитивний вплив криогенного оброблення після попереднього

термічного зміцнення на підвищення зносостійкості сталі 38ХНЗМФА. При практично однакових діаметрах дослідних зразків і контртіла (40 мм, різниця до 0,1 мм) лінійна швидкість на поверхні зразків під час випробувань становила 0,63–1,10 м/с, а швидкість ковзання – 0,063–0,11 м/с. Температура поверхні зразків у результаті прослизання після кожного циклу випробувань не перевищувала 100 °С. Загальне зменшення діаметрів дослідних зразків за всю тривалість випробувань становило ~ 0,2–0,3 мм. Зменшення діаметрів зразків відбувалося за рахунок видавлювання (розвальцювання) матеріалу за межі контакту в осьовому напрямку, що свідчить про більш високу пластичність дослідного матеріалу.

Таблиця 2 – Результати випробувань зразків на контактне зношування.

Кількість обертів	Швидкість обертання, об./хв.	режим № 1 маса зразка, г	режим № 2 маса зразка, г	режим № 1 зношування зразка, г	режим № 2 зношування зразка, г
0	–	78,1412	79,6444	–	–
30 тис.	300	77,7088	79,2901	0,4324	0,3543
50 тис.	500	77,4642	79,0930	0,2446	0,1971
70 тис.	500	77,1880	78,8571	0,2762	0,2359
<b>разом за три цикли випробувань</b>				0,9532	0,7873

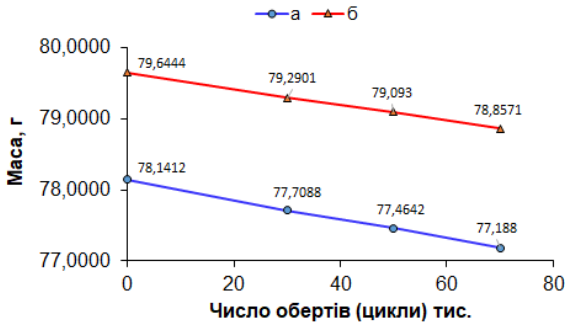


Рисунок 3 – Зміна маси дослідних зразків зі сталі 38ХНЗМФА під час випробувань на зношування тертям: а – режим № 1; б – режим № 2.

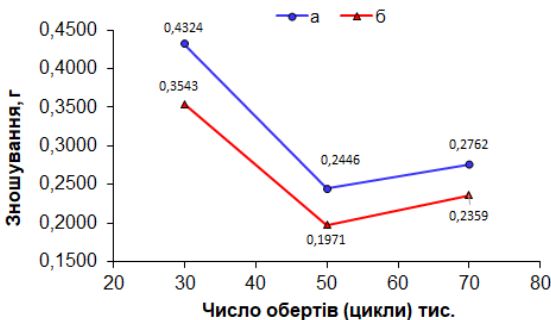


Рисунок 4 – Втрата маси дослідних зразків зі сталі 38ХНЗМФА під час випробувань на зношування тертям: а – режим № 1; б – режим № 2.

Підвищення швидкості обертання від 300 об./хв. до 500 об./хв. після першого циклу випробувань впливає менш істотно на зносостійкість, ніж зменшення кількості обертів від 30 тис. до 20 тис. Характер зношування під час втрати матеріалу обох зразків на глибину до 0,2–0,3 мм суттєво не відрізняється, що обумовлено впливом криогенного оброблення на загальний об'єм металу на відміну від відомих способів поверхневого зміцнення.

Таким чином, результати проведених досліджень дозволяють стверджувати, що застосування криогенного оброблення на завершальній стадії термічного зміцнення повинно забезпечити підвищення зносостійкості та істотно скоротити тривалість високотемпературного відпуску (~ у 5,3 рази) металовиробів відповідального призначення, які виготовлені зі сталі 38ХНЗМФА.

### **Висновки**

Досліджено вплив криогенного оброблення на зносостійкість легованої сталі 38ХНЗМФА після попереднього термічного зміцнення. Показано, що видимих змін структура сталі 38ХНЗМФА після стандартного режиму та криогенного оброблення не зазнає, що обумовлено високою термодинамічною стабільністю сорбіту відпуску. Встановлено, що тривалість витримування сталі 38ХНЗМФА у рідкому азоті повинна становити не менше 1,0 год., що дозволяє підвищити середні значення мікротвердості на ~ 12 %. Твердість дослідних зразків сталі 38ХНЗМФА, які були піддані комплексному термічному обробленню, за середніми значеннями виявилась вищою на 1,4 HRC у порівнянні зі стандартним режимом. Крім того, розподіл значень твердості поверхні зразків зі сталі 38ХНЗМФА після криогенного оброблення виявляється більш рівномірним. За результатами випробувань на зношування тертям встановлено, що зносостійкість термічнозміцненої сталі 38ХНЗМФА після криогенного оброблення підвищується на ~ 17,4 %. Одержані результати дозволяють стверджувати, що застосування криогенного оброблення забезпечить підвищення експлуатаційної стійкості із одночасним зменшенням тривалості високотемпературного відпуску на завершальній стадії термічного зміцнення металовиробів відповідального призначення, що виготовлені зі сталі 38ХНЗМФА.

### **Перелік посилань**

1. Счастливец В. М., Калетина Ю. В., Фокина Е. А., Калетин А. Ю. О роли остаточного аустенита в структуре легированных сталей и влияния на него внешних воздействий. *Физика металлов и металловедение*. 2014. Т. 115. № 9. С. 962–976.
2. Федулов В. Н. Перспективы использования существующих и создания новых инструментальных сталей для производства технологической оснастки горячего формообразования изделий. *Литье и металлургия*. 2006. № 1 (37). С. 125–129.

3. Понкратин Е. И., Ленартович Д. В., Стеблов А. Б. Новые теплостойкие стали для штампов горячего деформирования. *Сталь*. 2009. № 1. С. 77–80.
4. Бабаскин Ю. З., Шипицин С. Я. Стали с нитридной фазой для кузнечно-прессового инструмента горячего деформирования. *Сталь*. 2010. № 2. С. 68–70.
5. Лещенко А. Н., Вишняков А. П. Исследование кинетики превращения аустенита в хромоникелевой стали марки 38ХНЗМФА. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2000. № 1. С. 49–50.
6. Иванов Ю. Ф., Козлов Э. В. Кинетика выделения частиц карбида типа  $Me_2C$  при высокотемпературном отпуске стали 38ХНЗМФА. *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 1995. № 8. С. 65–66.
7. Козлов Э. В., Попова Н. А., Климашин С. И., Тихонькова О. В., Подковка В. П., Тайлашев А. С., Целлермаер В. В., Громов В. Е. Влияние закалки на структуру и фазовый состав литой конструкционной стали 30ХНЗМФА. *Ползуновский Вестник*. 2005. № 2 (Ч. 2). С. 153–158.
8. Голубев А. Е., Сергеев Ю. Г. Изотермическая закалка стали 38ХНЗМФА. *XXX Юбилейная неделя науки СПбГТУ*: материалы межвузовской научной конференции. Ч. VI, Санкт-Петербургский государственный технический университет, 2002. С. 38–39.
9. Бобырь С. В., Нефедьева Е. Е., Евсюков М. Ф. Особенности фазово-структурных превращений при охлаждении хромистых сталей для инструмента горячей деформации. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2014. Вып. 29. С. 221–228.
10. Иванов Ю. Ф., Козлов Э. В. Исследование влияния скорости охлаждения на параметры структуры стали 38ХНЗМФА. *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 1991. № 6. С. 50–51.
11. Крамаров М. А., Кондратьев А. С. Влияние высокой термической обработки на механические свойства и трещиностойкость стали 38ХНЗМФА. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1990. № 1. С. 15–20.
12. Калетин А. Ю., Кутын А. В., Гербих Н. М. Длительный высокотемпературный отпуск стали 38ХНЗМФА со структурой бейнита. *Физика металлов и металловедение*. 1986. № 61 (5). С. 915–921.
13. Крот П. В., Бобырь С. В., Жарков И. П., Нефедьева Е. Е., Тимофеев Г. В. Повышение износостойкости инструментальных сталей методом криогенной закалки. *Металлургические процессы и оборудование*. 2013. № 4. С. 88–98.
14. Азотний кріостат для широкодіапазонної термообробки матеріалів : пат. 84214 Україна. № u201305483 ; заявл. 29.04.2013 ; опубл. 10.10.2013. Бюл. № 19.

## References

1. Shastlivtsev V. M., Kaletina Yu. V., Fokina E. A., Kaletin A. Yu. *O roli ostatochnoho austenita v strukture lehirovannykh staley i vliianie na neho vneshnikh vozdествiiv* [About the role of residual austenite in the structure of alloyed steels and the influence of external impact on it]. *Fizika metallov i metallovedenie* [Physics of metals and metal science]. 2014. Vol. 115. No. 9. P. 962–976 (in Russian).
2. Fedulov V. N. *Perspektivy ispolzovaniia suschestvuyuschikh i sozdaniia novykh instrumentalnykh staley dlia proizvodstva tekhnologicheskoi osnastki goriachego formoobrazovaniia izdelii* [Prospects for the use of existing and creation of new tool steels for the production of technological equipment for hot forming of products]. *Lit'e*



- i metallurgii* [Casting and metallurgy]. 2006. No. 1 (37). P. 125–129 (in Russian).
3. Ponkratin E. I., Lenartovich D. V., Steblou A. B. *Novye teplostoikiye stali dlia shtampov goriachego deformirovaniia* [New heat-resistant steels for hot forming dies]. *Stal* [Steel]. 2009. No. 1. P. 77–80 (in Russian).
  4. Babaskin Yu. Z., Shipitsin S. Ya. *Stali s nitridnoi fazoi dlia kuznechno-pressovoho instrumenta goriachego deformirovaniia* [Steels with nitride phase for hot forming forging and pressing tools]. *Stal* [Steel]. 2010. No. 2. P. 68–70 (in Russian).
  5. Leschenko A. N., Vishniakov A. P. *Issledovanie kinetiki prevrascheniia austenita v khromonikelevoi stali marki 38HN3MFA* [Study of the kinetics of austenite transformation in chromium-nickel steel grade 38CrNi3MoV]. *Metallurgicheskaiia i gornorudnaia promyshlennost* [Metallurgical and mining industry]. 2000. No. 1. P. 49–50 (in Russian).
  6. Ivanov Yu. F., Kozlov E. V. *Kinetika vydeleniia chastits karbida tipa Me<sub>2</sub>C pri vysokotemperaturnom otpuske stali 38HN3MFA* [Kinetics of precipitation of Me<sub>2</sub>C type carbide particles during high-temperature tempering of steel 38CrNi3MoV]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Chernaia metallurgii* [News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy]. 1995. No. 8. P. 65–66 (in Russian).
  7. Kozlov E. V., Popova N. A., Klimashin S. I., Tikhon'kova O. V., Podkovka V. P., Tailashev A. S., Tsellermaer V. V., Hromov V. E. *Vliianie zakalki na strukturu i fazovyi sostav litoi konstruktсионnoi stali 30HN3MFA* [Effect of hardening on the structure and phase composition of cast structural steel 38CrNi3MoV]. *Polzunovskii Vestnik* [Polzunovskii Herald]. 2005. No. 2 (Part 2). P. 153–158 (in Russian).
  8. Golubev A. E., Serheev Yu. G. *Izotermicheskaia zakalka stali 38HN3MFA* [Isothermal hardening of steel 38CrNi3MoV]. *XXX Yubileinaia nedelia nauki SPbGTU* [XXX Anniversary Science Week of St. Petersburg State Technical University] : materials of the interuniversity scientific conference. Part VI, St. Petersburg State Technical University, 2002. P. 38–39 (in Russian).
  9. Bobyr S. V., Nefedeva E. E., Evsyukov M. F. *Osobennosti fazovo-strukturnykh prevraschenii pri ohlazhdenii khromistykh stalei dlia instrumenta goriachei deformatsii* [Features of phase-structural transformations during cooling of chromium steels for a hot deformation tool]. *Fundamentalnye i prikladnye problemy chernoii metallurhii* [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy]. 2014. Vol. 29. P. 221–228 (in Russian).
  10. Ivanov Yu. F., Kozlov E. V. *Issledovanie vliianiia skorosti okhlazhdeniia na parametry struktury stali 38HN3MFA* [Study of the effect of cooling rate on the parameters of the structure of steel 38CrNi3MoV]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Chernaia metallurgii* [News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy]. 1991. No. 6. P. 50–51 (in Russian).
  11. Kramarov M. A., Kondratev A. S. *Vliianie vysokoi termicheskoi obrabotki na mekhanicheskie svoistva i treschinostoikost stali 38HN3MFA* [Influence of high heat treatment on mechanical properties and crack resistance of 38CrNi3MoV steel]. *Metallovedenie i termicheskaia obrabotka metallov* [Metal science and heat treatment of metals]. 1990. No. 1. P. 15–20 (in Russian).
  12. Kaletin A. Yu., Kutin A. V., Gerbikh N. M. *Dlitelnyi vysokotemperaturnyi otpusk stali 38HN3MFA so strukturoi beinita* [Long-term high-temperature tempering of 38CrNi3MoV steel with bainite structure]. *Fizika metallov i metallovedenie* [Physics of metals and metal science]. 1986. No. 61 (5). P. 915–921 (in Russian).

13. Krot P. V., Bobyr S. V., Zharkov I. P., Nefedeva E. E., Timofeev G. V. *Povyshenie iznosostoikosti instrumentalnykh stalei metodom kriohennoi zakalki* [Improvement of wear resistance of tool steels by cryogenic hardening]. *Metallurhicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2013. No. 4. P. 88–98 (in Russian).
14. *Azotnyi kriostat dlia shirokodiapazonnoi termoobrobky materialiv* [Nitrogen cryostat for wide-range heat treatment of materials] : pat. 84214 Ukraine. № u201305483 ; stated 29.04.2013 ; published 10.10.2013. Bulletin No. 19 (in Ukrainian).

**S. V. Bobyr**, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0001-6816-1554

**E. V. Parusov**, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0002-4560-2043

**T. M. Golubenko**, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0002-3583-211X

**O. E. Baranovska**, Ph. D. (Tech.), Researcher, ORCID 0000-0002-4106-5797

**I. M. Chuiko**, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0002-4753-614X

*Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine*

**STUDY OF THE INFLUENCE OF CRYOGENE PROCESSING  
ON THE CHARACTERISTICS OF STRUCTURE FORMATION  
AND FATIGUE RESISTANCE OF 38KH3MFA STEEL  
AFTER PRELIMINARY THERMAL HARDENING**

**Summary.** The purpose of the work is to study the influence of complex heat treatment on the peculiarities of the formation of the structure and properties of carbon steel alloyed with chromium, nickel, molybdenum and vanadium. Currently, carbon alloy steels (38CrNi3MoV, 65Cr3SiMoV, 80Cr3MoV) containing chromium, molybdenum, nickel, vanadium and other expensive chemical elements are used for the production of various metallurgical and machine-building products (rolling rolls, rulers, piercing mandrels, parts of power equipment). However, the wear resistance of finished products made of specified steels in harsh operating conditions (significant cyclic loads and elevated temperatures) is insufficient in practice. One of the methods of effective influence on the improvement of the operational resistance of alloyed carbon steels may be the use of cryogenic treatment after preliminary thermal hardening. The results of studies of the effect and duration of cryogenic treatment on the features of structure formation, microhardness, hardness, and wear resistance of 38CrNi3MoV steel previously subjected to thermal hardening are presented. It was established that the duration of exposure of 38CrNi3MoV steel in liquid nitrogen should be at least 1.0 hours, which allows to achieve an increase in microhardness and wear resistance by 12 % and 17.4 %, respectively. The obtained results allow us to state that the use of cryogenic treatment at the final stage of thermal hardening will ensure an increase in the operational durability of products of special purpose, which are made of 38CrNi3MoV steel. The developed method can be recommended for the industrial implementation of the technology of complex heat treatment of carbon steels with increased wear resistance, which additionally contain chromium, nickel, molybdenum and vanadium.

**Key words:** alloy steel, wear resistance, hardness, structure, cryogenic treatment.

**For citation:** Doslidzhennia vplyvu kriohennoho obroblennia na osoblyvosti formuvannia struktury ta znosostiikist stali 38KhN3MFA pislia poperednoho

termichnoho zmitsnennia [Study of the influence of cryogenic processing on the characteristics of structure formation and fatigue resistance of 38KHN3MFA steel after preliminary thermal hardening] / S. V. Bobyr, E. V. Parusov, T. M. Golubenko, O. E. Baranovska, I. M. Chuiko. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. 2022. Collection 36. P. 430-440. [In Ukrainian]. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-430-440.

*Стаття надійшла до редакції збірника 02.11.2022 р.  
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 5 від 20.12.2022 р.)*