

УДК 669.017:519.21

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.48.1143

ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ З ТЕРМІЧНОЮ ОБРОБКОЮ СТАЛІ НА СТРУКТУРУ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КЛИНКА НОЖА

КАЧУР В. І., *асп.*

Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 810-77-91, e-mail: spbdnepr@gmail.com, ORCID ID: 0009-0004-8838-4295

Анотація. Вступ. Головною вимогою до якісної ножової сталі є її збалансований хімічний склад і відповідна термічна обробка, яка забезпечує оптимальні показники твердості, зносостійкості та корозійної стійкості ріжучої частини. Саме поєднання цих характеристик визначає експлуатаційні властивості ножа, включаючи його здатність тривалий час утримувати ріжучу кромку та протистояти механічним і хімічним впливам. Сучасна промисловість пропонує широкий спектр якісних матеріалів для виготовлення ножів, зокрема інструментальні сталі, спеціальні штампові сталі, а також високотехнологічні сталі, отримані методом порошкової металургії. Використання порошкових технологій дозволяє досягти однорідної мікроструктури, підвищеної зносостійкості та покращеної міцності, що робить такі матеріали особливо популярними серед виробників високоякісних ножів. **Матеріали та методика.** У цій роботі була використана конструкційна шарикопідшипникова сталь ШХ15Ш (ТУ 141594, ДСТУ 4738:007) та жаростійка нержавіюча сталь 40X13 (ДСТУ 4738:007), які поєднуються між собою методом горнового зварювання. Сталь ШХ15Ш є високовуглецевою легованою сталлю з високою твердістю та чудовою зносостійкістю, що робить її придатною для виготовлення ріжучої частини. Водночас, сталь 40X13 характеризується високою корозійною стійкістю та ударною в'язкістю, що дозволяє використовувати її для обкладок композитного матеріалу. Таким чином, отриманий композитний клинок поєднує в собі жорсткість і гостроту ріжучої частини з механічною міцністю та стійкістю до корозії зовнішніх шарів. **Результати експерименту.** Для порівняння ефективності різних матеріалів досліджується також клинок із сталі N690 (Böhler, Австрія) – високоякісної кобальтової нержавіючої сталі мартенситного класу. Додавання кобальту до сплаву сприяє утворенню більш дрібнозернистої мікроструктури, що покращує загальні експлуатаційні характеристики матеріалу. Крім того, ця сталь відома своєю високою твердістю (до 60 HRC після термообробки) та стійкістю до зношування, що робить її популярною серед виробників преміальних ножів. **Висновки.** Подальший аналіз порівняльних характеристик отриманих клинків дозволить визначити їх оптимальні сфери застосування та оцінити ефективність використання композитних матеріалів у ножовій індустрії.

Ключові слова: залишковий аустеніт; зернистий перліт; дрібногольчастий мартенсит; глобулярні карбіди; відпал; відпуск; загартовування; границя зерна; комплексне легування; зносостійкість; складні карбіди

INFLUENCE OF CHEMICAL COMPOSITION WITH HEAT TREATMENT OF STEEL ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF A KNIFE BLADE

KACHUR V.I., *Postgrad. Stud.*

Department of Materials Science, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (066) 409-89-05, e-mail: spbdnepr@gmail.com, ORCID ID: 0009-0004-8838-4295

Abstract. Introduction. The main requirement for high-quality knife steel is its balanced chemical composition and appropriate heat treatment, which provides optimal indicators of hardness, wear resistance and corrosion resistance of the cutting part. It is the combination of these characteristics that determines the operational properties of the knife, including its ability to hold the cutting edge for a long time and resist mechanical and chemical influences. Modern industry offers a wide range of high-quality materials for the manufacture of knives, including tool steels, special die steels, as well as high-tech steels obtained by powder metallurgy. The use of powder technologies allows you to achieve a homogeneous microstructure, increased wear resistance and improved strength, which makes such materials especially popular among manufacturers of high-quality knives. **Materials and methods.** In this work, structural ball bearing steel ShKh15Sh (TU 141594, DSTU 4738:007) and heat-resistant stainless steel 40X13 (DSTU 4738:007) were

used, which are combined with each other by the method of furnace welding. Steel ShKh15Sh is a high-carbon alloy steel with high hardness and excellent wear resistance, which makes it suitable for the manufacture of the cutting part. At the same time, steel 40X13 is characterized by high corrosion resistance and impact toughness, which allows it to be used for composite material linings. Thus, the resulting composite blade combines the rigidity and sharpness of the cutting part with the mechanical strength and corrosion resistance of the outer layers. **The results of the experiment.** In the course of research, it was found that changes in the chemical composition of the 40KXHM alloy significantly affect its mechanical properties, including hardness and resistance to shock loads. An increase in the content of carbon, molybdenum and chromium in the alloy leads to an increase in its hardness. This is with the formation of stronger carbide and molybdenum phases in the structure of the alloy, which leads to an improvement in its mechanical properties. Increased hardness makes the alloy more resistant to wear and increases its durability in operating conditions. An increase in the nickel content in the alloy leads to an increase in its resistance to shock loads. This is caused by an increase in plasticity and impact toughness of the alloy with an increased nickel content. Higher resistance to shock loads makes the alloy suitable for use in conditions that require high resistance to shocks, for example, in the production of machine parts and equipment. A mathematical model of the dependence of the strength of the alloy on the percentage content of the components of the chemical composition was built, which allows to control the indicators of the strength of the alloy in the process of its manufacture. **Conclusions.** To compare the effectiveness of different materials, a blade made of N690 steel (Böhler, Austria) is also studied – a high-quality cobalt stainless steel of the martensitic class. Adding cobalt to the alloy contributes to the formation of a finer-grained microstructure, which improves the overall performance characteristics of the material. In addition, this steel is known for its high hardness (up to 60 HRC after heat treatment) and wear resistance, which makes it popular among manufacturers of premium knives. **Conclusions.** Further analysis of the comparative characteristics of the obtained blades will allow to determine their optimal areas of application and assess the effectiveness of the use of composite materials in the knife industry.

Keywords: retained austenite; granular pearlite; fine-needle martensite; globular carbides; annealing; tempering, hardening; grain boundary; complex alloying; wear resistance; complex carbides

Вступ. Клинок ножа повинен відповідати вимогам його застосування а саме: мати гарну зносостійкість робочої частини, відповідну геометрію і лінійні розміри, високі показники корозійної стійкості, пружності, витримувати бокової та контактні навантаження. Зносостійкість ріжучої кромки напряму залежить від структури і твердості сталі, які забезпечуються термопластичною та термічною обробкою. Режим термічної обробки, температури нагрівання, витримки, швидкості охолодження залежать від хімічного складу сплавів. Тому до вибору марки сталі для леза ножа, треба підходити дуже відповідально. В нашій роботі буде проводитися порівняння двох технологій виготовлення клинків ножів,

проаналізований хімічний склад вихідних матеріалів, мікроструктури на різних етапах термічної обробки, дефекти які можуть з'явитися при порушенні температурно-часових режимів обробки.

Мета завдання: Експериментально встановити оптимальні режими термічної обробки композитного клинка ШХ15Ш в обкладинках 40X13, та клинка із моносталі n690. Проаналізувати кінцеві мікроструктури для отримання необхідних механічних властивостей, виявити переваги та недоліки одного способу виготовлення над іншим.

Матеріали та методика. Для чистоти експерименту використаємо однакові клинки по геометрії і лінійним розмірам, дивись (табл. 1) [16].

Таблиця 1

Геометричні розміри клинка

Повна довжина клинка (мм)	Ріжуча частина (мм)	Ширина клинка (мм)	Довжина хвостовика (мм)	Товщина обуха (мм)
200	110	20	90	4

Клинки повинні виготовлятися методом ручного кування з дотримання всіх технологічних режимів, які будуть розраховані і оптимально відповідати

умовам застосування інструменту. За прототип візьмемо клинок фінського типу, за його універсальність та здатність працювати в екстремальних умовах і

витримувати значні навантаження. Товщина в обухі близько 4 мм – забезпечить нам запас міцності на злам при бокових навантаженнях, а невелика довжина ріжучої частини при ширині в 20 мм, надійну міцність при правильній термічній обробці.

Результати експерименту. Виходячи з умов застосування клинка, геометрії і експлуатаційних вимог, обирається матеріал- марка сталі для його виготовлення. Для забезпечення високих показників зносостійкості, ріжуча частина на ножі повинна виготовлятися з високовуглецевої інструментальної,

штампової, конструкційної шарикопідшипникової, пружинноресорної або порошкової сталі з вмістом вуглецю не менше – 0,6 %. Клинок ножа з меншим відсотком по вуглецю, навіть при грамотній термопластичній обробці, не забезпечить тривалої роботи без підточування. Потрібно також враховувати корозійну стійкість ріжучої частини, що також впливає на зносостійкість. Тому для композитного клинка, враховуючи вартість і доступність матеріалу вибираємо сталі ШХ15Ш і 40Х13. Хімічний склад яких (табл. 2, 3).

Таблиця 2

Хімічний склад сталі ШХ15Ш [8]

Сталь	ТУДСТУ	C	Si	Mn	Cr	P	S	Ni	Cu	примітка
ШХ15Ш	ТУ141594 ДСТУ 4738:007	0,95–1,05	0,17–0,37	0,20–0,40	1,30–1,65	0,027	0,02	0,25	0,25	Ni, Cu не більше 0,5 %

Таблиця 3

Хімічний склад сталі 40Х13 [2]

Сталь	C	Si	Mn	Cr	S	P
		не більше			не більше	
40Х13	0,36–0,45	0,8	0,8	12,0–14,0	0,025	0,030

За своєю структурою сталь шх-15 ш схожа на звичайні вуглецеві сталі. Невеликий відсоток хрому позитивно впливає на її прогартованість і дозволяє застосовувати менші швидкості охолодження. А високий вміст вуглецю, приблизно 1 % надає сталі після термічної обробки показників твердості на рівні 62-65 HRC. Хром розчиняється в обох фазах після відпалу, як в фериті, так і в цементиті. Легований хромом цементит повільно розчиняється в аустеніті, а аустеніт з хромом, повільно розпадається, цим і пояснюється менша швидкість гартування в порівнянні з вуглецевими сталями. Сталь отримана методом електрошлакового переплаву з мінімумом шкідливих домішок.

Сталь 40Х13 відноситься до класу хромистих мартенситних. Основні легуючі

елементи хром та вуглець. Сплав містить в своєму складі 13 % хрому, що відповідає мінімуму для забезпечення підвищеної корозійної стійкості [7].

Для порівняння оберемо моносталеву австрійського виробника компанії Bohler Uddeholm- n690. Ця сталь відноситься до мартенситного класу, та отримана методом електрошлакового переплаву. По способу застосування схожа на ШХ15Ш, але збільшеним відсотком легуючих елементів. Її застосовують для виготовлення підшипників, які працюють в агресивних середовищах, ріжучого інструменту, ножів м'ясорубних машин. Велике розповсюдження цей сплав отримав у виробництві туристичних, мисливських ножів для виживання.

Таблиця 4

Хімічний склад сталі n690 (Австрія) [9]

Сталь	C	Cr	Mo	V	Co	Mn
n690	1–1,08	16,8–17,3	0,9–1,1	0,1	1,4–1,5	0,35–0,4

Сталь має відносно невисоку вартість, що дає можливість використовувати її для виготовлення клинків середнього цінового рівня.

Хімічний склад сплаву дивись таблицю 4.

Сталь за своїм хімічним складом схожа на VG-10 Японія, X102CrMo17 (Німеччина), 95 X18 (Україна), але на відміну від аналогів має у своєму складі кобальт. Цей елемент позитивно впливає на жароміцність сплаву, але негативна впливає на прогартованість.

1. Вуглець – 1,08 % необхідний для підняття міцності, надає сплаву необхідну твердість.

2. Хром – 17,3 % забезпечує супротив руйнуванню при високих температурах, значно покращує прогартованість сплаву, твердість.

3. Молібден – 1,05 % необхідний для мінімізації крихкості, забезпечує жаростійкість матеріалу, стійкість до підвищених температур, значно підвищує прогартованість.

4. Ванадій – 0,10 % підвищує пружність сплаву, в комплексі з хромом забезпечує руйнуванню корозією.

5. Кобальт – 1,5 % є основним легуючим елементом для кобальтової нержавійки, забезпечує поліпшення механічних властивостей, жароміцність, яка необхідна для обробляючого інструменту.

6. Марганець – 0,4 % позитивна впливає на твердість та міцність.

7. Кремній – 0,4 % забезпечує зносостійкість, збільшує стабільність та надійність сплаву [2].

Горнове зварювання.

Операція, яка дозволяє з'єднувати в композит сталі з різним вуглецевим еквівалентом. В нашому випадку, шарикопідшипникова хромиста ШХ15Ш та жаростійка нержавіюча 40X13. В результаті отримуємо композитний сплав з властивостями високої корозійної стійкості та відмінною зносостійкістю ріжучої частини клинка. Фактори, які впливають на успішність операції горнового (ковальського зварювання):

1. Правильно підібраний флюс (речовина яка запобігає проникненню кисню в зону зварювання).

2. Вага пакету (чим більше вага, тим довший час потрібний на нагрів).

3. Теплопровідність сталей (залежність від вмісту вуглецю та легуючих елементів).

4. Середовище нагрівання (газ, кам'яне вугілля, деревне вугілля).

5. Температура в приміщенні де проводяться роботи.

6. Швидкість та час пластичного деформування при механічному з'єднанні пакету з витисненням флюсу.

Остання операція (витиснення флюсу з зони зварювання на наковальні) відіграє суттєве значення. Якщо пакет буде недостатньо прогрітим температура нижча за температуру 1 200, 1 250 °C та час з'єднання перевищений $T = 1,5-2$ хвилини, горнове зварювання буде низької якості. Отримаємо не провари по площинам з'єднання і як наслідок втрата міцності та монолітності пакету. Перевищення температурно-часових показників веде до утворення осередків оплавлень, вигорання легуючих елементів та вуглецю з структури сплавів, зростає ймовірність утворення пор та порожнин в з'єднанні. Як наслідок отримуємо велику кількість мікротріщин, які при невеликому навантаженні об'єднуються в магістральну (крихке руйнування). При безпомилково проведеній операції з дотриманням технологічних режимів, отримуємо монолітне з'єднання сталей з атомарним змішуванням хімічних елементів в зоні зварного шову.

Після проведення шести експериментальних випробувань (пружність, твердість, зносостійкість ріжучої кромки) приймаємо наступні режими виготовлення композитного клинка дивись таблицю 5.

При відпуску $T = 270$ °C і витримці 3 години клинок витримав навантаження але залишкова деформація перевищила 1 мм на довжину клинка, що не відповідає вимогам Держстандарт 51500- 99 “ Ножі та кинжали мисливські” , Дата введення 2000-07-01.

Приймаємо режими відпуску $T = 270\text{ }^{\circ}\text{C}$, тривалість дві години твердість 59–59,5 HRC.

*При проведенні випробувань, клинок затискався в лецатах на глибину 10 мм вздовж осової лінії ножа, фіксація відбулася у вертикальному положенні.

Навантаження проводилась поступово, без зміни знаку. Мета випробувань – перевірити пружність кінцевої частини клинка, яка максимальна навантажена при роботі на злам.

Структури сталі шх15ш після операцій термічної обробки (табл. 8).

Таблиця 5

Температурно-часові режими виготовлення клинка з композитної сталі ШХ15Ш в обкладинках 40Х13 [9]

Назва операції	Температура (Т, °C)	Час τ (хв.)
Рекристалізаційний відпал	720-740	57
Ковальське (горнове) зварювання	1 200–1 250	16*
Виготовлення клинка методом кування	750–950	50
Неповний відпал	840	17
Загартування	840	13
Відпуск	270	123

* Підігрів пакету 15 хвилин, з'єднання під флюсом 1,5–2 хвилини.

Таблиця 6

Залежність твердості клинка ножа від температури відпуску сталі ШХ15Ш

Марка сталі	Тривалість відпуску (год)	HRC при температурі відпуску °C (середнє значення замірів)			
ШХ15Ш		150	180	220	270
	1	67	66,5	64,5	63,5
	1,5	63,5	63	63	61,5
	2	63	62,5	61	59,5
	3	62,5	61	59,5	58

Таблиця 7

Результати випробувань на пружність композитних клинків [5]

Марка сталі	Тривалість відпуску (год)	HRC при температурі відпуску °C (середнє значення замірів)				Навантаження (кгс)	Результати випробувань
ШХ15Ш в обкладках 40Х13 (композит)		150	180	220	270	250*	
	1	67	66,5	64,5	63,5		Руйнування
	1,5	63,5	63	63	61,5		Руйнування
	2	63	62,5	61	59,5		+
	3	62,5	61	59,5	58		Залишкова деформація

* Клинок витримав навантаження без залишкової деформації за температури 270 °С і витримці 2 години. За $T = 150\text{ °С}$, $T = 180\text{ °С}$, $T = 200\text{ °С}$ при витримці дві години, клинки зламались.

Таблиця 8

Структури сталі ШХ15Ш після термообробки [4]

Вид термічної обробки	Назва структури
Відпал (рекристалізаційний)	зернистий перліт з цементитними зернами від 1 до 10 мкм
Загартування	мартенсит з залишковим аустенітом та дрібні карбіди
Відпуск	Дрібногочастий мартенсит відпуску (схований мартенсит, дрібні мілкодисперсні карбіди рівномірно розподілені по структурі, залишковий аустеніт)*

* Відсоток залишкового аустеніту складає 8–10 %. Він рівномірно розчиняється по об'єму зразка, що його важко помітити навіть за допомогою силового оптичного мікроскопу. виявляється рентгеноструктурним аналізом.

Технологічний процес виготовлення клинка ножа з моносталі п690.

Технологічний процес включає в себе наступні операції:

1. Рекристалізаційний відпал.
2. Виготовлення клинка методом кування.

3. Ізотермічний відпал.

4. Загартування.

5. Кріообробка [11].

6. Розмерзання.

7. Відпуск.

Температурно-часові режими виготовлення леза ножа (табл. 9).

Таблиця 9

Температурно- часові режими виготовлення клинка із сталі п690

Вид термічної обробки	Назва структури
Відпал (рекристалізаційний)	зернистий перліт з цементитними зернами від 1 до 10 мкм
Загартування	мартенсит з залишковим аустенітом та дрібні карбіди
Відпуск	Дрібногочастий мартенсит відпуску (схований мартенсит, дрібні мілкодисперсні карбіди рівномірно розподілені по структурі, залишковий аустеніт)*

* Охолодження в рідкому азоті.

Кріообробка – обробка холодом, використовується для зменшення кількості залишкового аустеніту та перетворення його в мартенсит, для високовуглецевих, легованих сталей [1]. Так як у сталях з високим відсотком вуглецю, кінець мартенситного перетворення (Мк лінія), лежить в області мінусових температур, кількість залишкова аустеніту в високовуглецевих сталях без кріообробки може складати 35–45 %, що негативно впливає на механічні властивості клинка ножа – твердість, зносостійкість ріжучої

кромки, супротив контактним навантаженням.

Результати випробувань клинків з мартенситної сталі п690 на пружність (табл. 10).

За температур відпуску $T = 150\text{ °С}$, $T = 180\text{ °С}$ клинки зламались (витримка – 1 година). Після відпуску клинків за температур $T = 150\text{ °С}$, $T = 180\text{ °С}$, $T = 220\text{ °С}$ та витримці 2 години клинки не зламались але залишкова деформація перевищила 1 мм на довжину клинка, що не відповідає вимогам Держстандарт 51500-99.

Таблиця 10

Випробування клинків зі сталі п690 на пружність [5]

Марка сталі	Тривалість відпуску	HRC за температури відпуску °C			Навантаження (кгс)	Результати випробування
п690		150	180	220	250	
	1	61,5	61	60,5		+
	2	58,5	58	57,5		Залишкова деформація

* Клинок витримав навантаження при температурі $T = 220$ °C, витримці 1 година, відповідна твердість: 60,5- 61 HRC.

Таблиця 11

Структура сталі п690 після термообробки

Вид термічної обробки	Назва структури
Рекристалізаційний відпал	Зернистий переліт з карбідами
Загартування	Мартенсит, залишковий аустеніт, карбіди
Відпуск	Мартенсит відпуску з нерівнорозмірними карбідами, залишковий аустеніт

Випробування на зносостійкість кинжали мисливські». Результати приведені в таблиці 12.

Таблиця 12

Результати випробувань на зносостійкість клинків [5]

Сталь клинка ножа	Кут загострення ріжучої кромки в градусах	Матеріал для випробувань	Кількість та якість поверхні зрізу шкала 5 балів
Композит ШХ15Ш в обкладках 40X13	36	Березова паличка діаметром 12 мм та вологості не більше 12 %	* 180/5 175/4 168/4 182/5 184/5 Σ 178/5
п690	36	Березова паличка діаметром 12 мм та вологості не більше 12 %	* 215/5 208/4 197/5 199/5 187/4 Σ 201/5

* Випробування проводились клинками, обробленими по режимам термічної обробки з урахуванням досліджень на пружність, а саме: п690 – загартування $T = 1\ 100$ °C. Кріообробка 3 години, відпуск $T = 220$ °C – 1 година, твердість – 60-61 HRC.

Композит ШХ15Ш в обкладках 40X13:

Загартування $T = 840\text{ }^{\circ}\text{C}$, відпуск $T = 270\text{ }^{\circ}\text{C}$, тривалість – 2 години, твердість 58–59 HRC.

Приведемо деякі дефекти термічної обробки, від яких залежить структура вихідного матеріалу і відповідно механічні властивості (табл. 13).

Таблиця 13

Дефекти структуроутворення пов'язані з термічною обробкою [4]

Назва дефекту	Відображення на шліфі після травлення
Карбідна неоднорідність	Карбіди різні по розмірам та розподіленню по площині шліфа
Карбідна полосчастість	В місцях скупчення карбідів структура мартенситно-трооститна, а на ділянках з низьким вмістом карбідів присутній гольчастий мартенсит
Карбідна ліквація	Крупні включення карбідів об'єднані в сегрегації
Карбідна сітка	Крупні карбіди розподілені у вигляді сітки по площині шліфа



Рис. 1. Полосчастість в загартованій сталі ШХ15Ш $\times 3000$

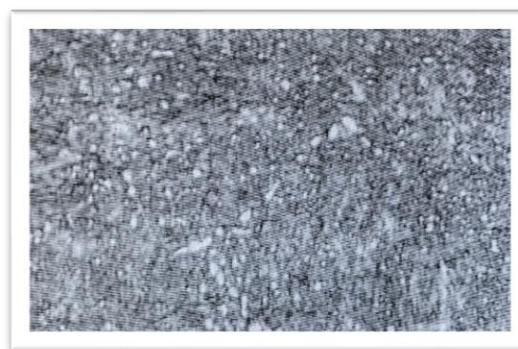


Рис. 2. Ділянка карбідної сітки в сталі ШХ15Ш (загартування відпуск) $\times 3000$

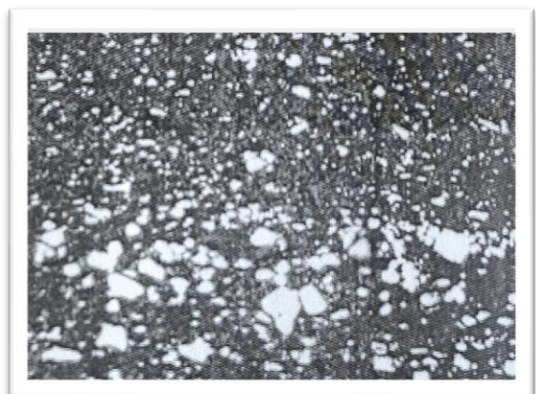


Рис. 3. Карбідна ліквація в сталі ШХ15Ш $\times 3000$

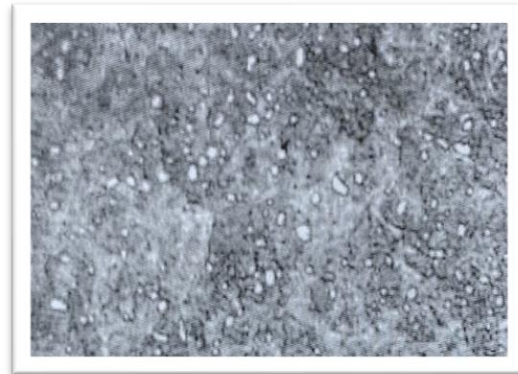


Рис. 4. Структура сталі ШХ15Ш з неоднорідно розмірними карбідами $\times 3000$

Наведемо приклади мікроструктур, які мають дефекти, пов'язані з неправильно призначеними режимами термічної обробки (рис. 1–4).

Приведемо приклад мікроструктур композиту та моносталі п690, термообробка яких виконана без порушення технологічної

схеми, по режимах (табл. 5, 9). Аналізуючи мікроструктури, можна зробити висновок про перевагу п690 над композитом ШХ15Ш в обкладках 40X13, за розподіленням та розміром карбідної складової, яка є основою зносостійкості (утримання ріжучої кромки) клинка ножа, але механічні властивості

нижчі в порівнянні з композитним клинком. Потрібна також додаткова операція термообробки, яка потребує високоякісного дорогого обладнання. Як наслідок вартість готового виробу значно вища ніж клинок з композитної сталі. Вагомим чинником також є вартість австрійської нержавійки в стані постачання.

Обладнання для проведення випробувань та досліджень, яке було використано в роботі:

1. Твердомір Роквелла HRA1 «Мікротех» BRAND
2. Муфельна піч HABERTHERM HTC 03/14 з відкидними дверцятами 3216-00006
- Оптичний мікроскоп AXIOVERT 200MAT.

Висновки

Після проведених випробувань на твердість, пружність, зносостійкість ріжучої кромки клинків, встановлені оптимальні режими термічної обробки для сталей.

1. Композитна сталь ШХ15Ш в обкладках 40X13:

загартування $T = 840\text{ }^{\circ}\text{C}$;
відпуск $T = 270\text{ }^{\circ}\text{C}$, дві години;
твердість 58–59 HRC.

Структура сталі після операції відпуску-дрібногольчастий відпущений мартенсит з дрібними карбідами рівномірно розподіленими по структурі.

2. Мартенситна моносталь п690:
загартування $T = 1\ 100\text{ }^{\circ}\text{C}$;
відпуск $T = 220\text{ }^{\circ}\text{C}$, одна година;
твердість після кріообробки 60–61 HRC.

Структура після операції відпуску-мартенсит відпуску з різнорозмірними карбідами на основі (Cr, Mo, V, C), які нерівномірно розподілені по структурі.

Обов'язкове застосування кріообробки для клинків із сталі п690, що веде до збільшення зносостійкості ріжучої кромки на 12–15 % [12]. Дотримування режимів термопластичної та термічної обробки, для зменшення вірогідності виникнення дефектів структуроутворення, які негативно впливають на механічні властивості клинків. Слід зазначити, що термічна обробка, легування, різні види захисних поверхонь та пластична деформація позитивно впливають на комплекс механічних властивостей [13–15].

Виготовлення експериментальних клинків проводити тільки методом ручного кування, щоб нівелювати дефекти прокатного виробництва та позитивно впливати на формування мікроструктури, субструктури та кінцевої структури виробів. Після термічної обробки основними недоліками п690 є менші показники пружності клинка, додаткова складна операція термічної обробки (кріообробка), більше часу витрачається на кування заготовки(комплексне легування). Приріст зносостійкості клинка складає 12–15 % в порівнянні з композитним (ШХ15Ш в обкладках 40X13). Але композит виграє в показниках пружності, надійності, технологічності (можливість використання вторинної сировини), показники корозійної стійкості практично рівні з моносталлю. Тому незначна перевага в зносостійкості австрійської кобальтової нержавійки, нівелюється вищими механічними показниками композитного клинка, доступністю матеріалу, значно меншою вартістю готового виробу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бялік О. М., Черненко В. С., Писаренко В. М., Москаленко Ю. Н. Металознавство : підруч. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : Політехніка, 2002. 384 с.
2. Галико А. В., Кузик О. В., Кропівний В. М., Кропівна А. В., Молокост Л. А. Матеріалознавство : навч. посіб. Кіровоград : КОД, 2015. 168 с.
3. Пчелінцев В. О., Дегула А. І. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : навч. посіб. Суми : СумДУ, 2012. 247 с.
4. Бялік О. М., Кондратюк С. Є., Кіндрачук М. В., Черненко В. С. Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія. Київ : ВПІ ВПК Політехніка, 2006. 328 с.
5. ГОСТ № 51500-99. Ножі і кинджали мисливські. 1999.

6. Technical Specifications. URL: <https://www.us.bohler.com/en/>
7. Марочник стали і сплавів. URL: http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=207
8. ДСТУ 4738:007. Сталь конструкційна підшипникова. Діапазон розмірів 8-400.
9. LLC BOHLER UDDEHOLM UKRAINE. Suchkova str., 117, 51200, Novomoskovsk, Ukraine. Bestellinr Purchaser's order Prüfgegenstand/object of test Sheets made n690 Microclean.
10. ДСТУ 4738:007. Діапазон розмірів 8-220. Клас сталі : Корозостійка жароміцна.
11. Cryogenic Society of America. URL: <https://www.cryogenicsociety.org/>
12. Hlushkova D. B., Bagrov V. A., Saenko V. A., Volchuk V. M., Kalinin A. V., Kalinina N. E. CSA cryogenic treatment database of research articles America. Study of wear of the building-up zone of martensiteaustenitic and secondary hardening steels of the Cr–Mn–Ti system. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2023. № 2 (144). Pp. 105–109. URL: <https://doi.org/10.46813/2023-144-105>
13. Hlushkova D. B., Bagrov V. A., Demchenko S. V., Volchuk V. M., Kalinin O. V., Kalinina N. E. Structure and properties of powder gas-plasma coatings based on nickel. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2022. № 4 (140). Pp. 125–130. URL: <https://doi.org/10.46813/2022-140-125>
14. Большаков Вад. И., Большаков В. И., Волчук В. М., Дубров Ю. И. Часткова компенсація неповноти формальної аксіоматики при ідентифікації структури металу. *Вісник НАН України*. 2014. № 12. С. 45–48. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/73434>

REFERENCES

1. Byalik O.M., Chernenko V.S., Pisarenko V.M. and Moskalenko Y.N. *Metaloznavstvo : pidruchnyk, 2-he vydannya, pereroblene i dopovnene* [Metallurgy : textbook, 2nd edition, revised and supplemented]. Kyiv : Polytechnic Publ., 2002, 384 p. (in Ukrainian).
2. Galiko A.V., Kuzyk O.V., Kropivny V.M., Kropivna A.V. and Molokost L.A. *Materialoznavstvo : navchal'nyy posibnyk* [Materials Science : textbook]. Kirovograd : KOD Publ., 2015, 168 p. (in Ukrainian).
3. Pchelintsev V.O. and Degula A.I. *Mekhanichni vlastyvoli ta konstruktsiyna mitsnist' materialiv : navch. posib.* [Mechanical properties and structural strength of materials : textbook]. Sumy : SumDU PUBL., 2012, 247 p. (in Ukrainian).
4. Bialik O.M., Kondratyuk S.E., Kindrachuk M.V. and Chernenko V.S. *Strukturnyy analiz metaliv. Metalohrafiya. Fraktohrafiya* [Structural analysis of metals. Metallography. Fractography]. Kyiv : VPI VPK "Polytechnics", 2006, 328 p. (in Ukrainian).
5. *HOST № 51500-99. Nozhi i kyndzhaly myslyvs'ki* [GOST no. 51500-99. Hunting knives and daggers]. 1999. (in Ukrainian).
6. Technical Specifications. URL: <https://www.us.bohler.com/en/>
7. *Marochnyk staly i splaviv* [Steel and alloy grader]. URL: http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=207. Title from the screen. (in Ukrainian).
8. *DSTU 4738:007. Stal' konstruktsiyna pidshypnykova. Diapazon rozmiriv 8-400* [DSTU 4738:007. Structural bearing steel. Size range 8-400]. (in Ukrainian).
9. LLC BOHLER UDDEHOLM UKRAINE, Suchkova str., 117, 51200, Novomoskovsk, Ukraine Bestellinr Purchaser's order Prüfgegenstand/object of test Sheets made n690 Microclean.
10. *DSTU 4738:007. Diapazon rozmiriv 8-220 Klas stali : Korozostiyka zharomitsna* [DSTU 4738:007. Size range 8-220 Steel class : Corrosion-resistant, heat-resistant]. (in Ukrainian).
11. Cryogenic Society of America. URL: <https://www.cryogenicsociety.org/>
12. Hlushkova D.B., Bagrov V.A., Saenko V.A., Volchuk V.M., Kalinin A.V. and Kalinina N.E. CSA cryogenic treatment database of research articles America. Study of wear of the building-up zone of martensiteaustenitic and secondary hardening steels of the Cr–Mn–Ti system. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2023, no. 2 (144), pp. 105–109. URL: <https://doi.org/10.46813/2023-144-105>
13. Hlushkova D.B., Bagrov V.A., Demchenko S.V., Volchuk V.M., Kalinin O.V. and Kalinina N.E. Structure and properties of powder gas-plasma coatings based on nickel. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2022, no. 4 (140), pp. 125–130. URL: <https://doi.org/10.46813/2022-140-125>
14. Bolshakov Vad.I., Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Chastkova kompensatsiya nepovnoty formal'noyi aksiomatyky pry identyfikatsiyi struktury metalu* [The partial compensation of incompleteness of formal axiomatics in the identification of the metal structure]. *Visnyk akademiyi nauk Ukrayiny* [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2014, no. 12, pp. 45–48. (in Ukrainian). URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/73434>

Надійшла до редакції: 14.02.2025.