

УДК 669.017:519.21

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.040723.7.979

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ КЛИНКА, ВИГОТОВЛЕНОГО МЕТОДОМ ГОРНОВОГО ЗВАРЮВАННЯ<sup>1</sup>

ВОЛЧУК В. М.<sup>1</sup>, докт. техн. наук, проф.,КАЧУР В. І.<sup>2\*</sup>, аспір.,ТЮТЕРЄВ І. А.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц.

<sup>1</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (097) 334-75-88, e-mail: [volchuk.volodymur@pdaba.edu.ua](mailto:volchuk.volodymur@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-7199-192X

<sup>2\*</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 810-77-91, e-mail: [dniprovik@gmail.com](mailto:dniprovik@gmail.com)

<sup>3</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 474-33-55, e-mail: [lab120@pdaba.edu.ua](mailto:lab120@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-1224-3355

**Анотація. Постановка проблеми.** Одними з головних вимог, що пред'являються до клинка – досягти вагомих показників корозійної стійкості і пружності, можливості витримувати бокові та контактні навантаження. Завдяки поєднанню за допомогою горнового зварювання високо вуглецевої і нержавіючої сталей досягається ефект зонного загартовування в подальшій термічній обробці. Технологія зонного загартовування – це комбінація різних показників твердості на одному лезі ножа, що веде до значного підвищення пружності і довговічності клинка, зменшує ризик утворення гартовочних тріщин. Горнове зварювання дозволяє з'єднати в композит сталі, які мають високий вміст вуглецю ( $C = 0,9...1\%$ ,  $C = 0,4...0,45\%$ ) і хрому ( $Cr = 13...14\%$ ), що звичайним електродуговим методом зробити практично не можливо. Високий еквівалент вуглецю і легованість хромом ускладнює існуючі процеси зварювання. При відповідних режимах термопластичної деформації, отримуємо в зоні ковальського зварювання монолітне з'єднання двох сталей на атомарному рівні, що само по собі вже є композит (поєднання двох матеріалів з різними властивостями з отриманням третього вихідного).

**Матеріали та методи.** Травлення клинка в кислотному розчині. Для отримання заготовок під ковальське (горнове зварювання) брали прутки з сталі ШХ15Ш (ТУ141594 ДСТУ4738:007)  $\varnothing - 20$  мм, довжиною  $L - 80$  мм для ріжучої частини клинка, прутки з сталі 40X13 ДСТУ 7838:007, для обкладок  $\varnothing - 20$  мм,  $L - 150$  мм. Загальна вага пакету 0,42 кг. **Результати експерименту.** При проведенні чотирьох експериментальних спроб, для визначення температурно-часових режимів відпуску, для клинка ножа із композиту (ШХ15Ш в обкладках 40X13), прийшли до таких показників: 1. температура нагрівання 260...270 °С; 2. витримка – 1,8...2 год.; 3. охолодження – повітря. Твердість клинка 58–59 HRC, ріжуча частина – 52–54 HRC обкладки. За таких умов отримані максимальні показники зносостійкості ріжучої кромки, високі показники пружності клинка. Для сталі п690: 1. температура нагрівання під відпуск 200...220 °С; 2. витримка – 1 год.; 3. охолодження – повітря.

**Висновки.** Клинки ножів запропоновано виготовляти методом ручного кування, без застосування пневматичних та гідравлічних молотів, для забезпечення чистоти експерименту. В роботі проведені розрахунки режимів термічної обробки, аналіз мікроструктур отриманих моносталі та композиту, економічна доцільність, переваги та недоліки одного способу отримання леза клинка над іншим.

**Ключові слова:** композит; аустеніт; термічна обробка; відпуск; субструктура; зносостійкість; відпал; карбід

## RESEARCH OF PRODUCTION TECHNOLOGY AND PROPERTIES OF THE BLADE IS MADE BY THE MINE WELDING METHOD

VOLCHUK V.M.<sup>1</sup>, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,KACHUR V.I.<sup>2\*</sup>, Postgrad. Stud.,TIUTIERIEV I.A.<sup>3</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

<sup>1</sup> Стаття публікується в авторському редагуванні.

<sup>1</sup> Department of Materials Science, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (097) 334-75-88, e-mail: [volchuk.volodymur@pdaba.edu.ua](mailto:volchuk.volodymur@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-7199-192X

<sup>2\*</sup> Department of Construction Technologies, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (096) 810-77-91, e-mail: [dniprovik@gmail.com](mailto:dniprovik@gmail.com)

<sup>3</sup> Department of Materials Science, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (067) 474-33-55, e-mail: [lab120@pdaba.edu.ua](mailto:lab120@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-1224-3355

**Abstract. Problem statement.** One of the main requirements for the blade is to achieve significant indicators of corrosion resistance and elasticity, the ability to withstand lateral and contact loads. Thanks to the combination of high-carbon and stainless steels with the help of pit welding, the effect of zone hardening is achieved in the subsequent heat treatment. Zone hardening technology is a combination of different hardness indicators on one knife blade, which leads to a significant increase in the elasticity and durability of the blade, reduces the risk of hardening cracks. Mine welding allows you to combine into a composite steels that have a high content of carbon ( $C = 0,9...1\%$ ,  $C = 0,4...0,45\%$ ) and chromium ( $Cr = 13...14\%$ ), which with an ordinary electric arc method is practically impossible to do. High carbon equivalent and chromium doping complicates existing welding processes. With the appropriate modes of thermoplastic deformation, we get in the zone of forge welding a monolithic connection of two steels at the atomic level, which in itself is already a composite (combination of two materials with different properties to obtain a third starting material). **Materials and methods.** Etching the blade in an acid solution. To obtain blanks for blacksmithing (pit welding), we took steel bar ШХ15Ш (ТУ141594 DSTU4738:007)  $\varnothing - 20$  mm, length  $L - 80$  mm for the cutting part of the blade, steel bar 40X13 DSTU 7838:007, for covers  $\varnothing - 20$  mm,  $L - 150$  mm. The total weight of the package is 0,42 kg. **The results of the experiment.** When conducting four experimental attempts to determine the tempering temperature-time regimes for a composite knife blade (ШХ15Ш in 40X13 facings), the following parameters were obtained: 1. heating temperature 260...270 °C; 2. exposure for 1,8...2 hours; 3. cooling – air. The hardness of the blade is 58–59 HRC, the cutting part is 52–54 HRC of the coating. With such indicators, the maximum indicators of wear resistance of the cutting edge and high indicators of blade elasticity were obtained. For steel n690: 1. heating temperature for tempering 200...220 °C; 2. exposure for 1 hour; 3. cooling – air. **Conclusions.** Knife blades are proposed to be made by manual forging, without the use of pneumatic and hydraulic hammers, to ensure the purity of the experiment. The work includes calculations of heat treatment regimes, analysis of the microstructures of the obtained monosteel and composite, economic feasibility, advantages and disadvantages of one method of obtaining a blade over another.

**Keywords:** composite; austenite; heat treatment; tempering; substructure; wear resistance; annealing; carbides

**Вступ.** Основна увага завжди приділяється матеріалу клинка ножа. Адже від нього залежить технічні, механічні та експлуатаційні властивості зносостійкість ріжучої кромки, пружність леза ножа, твердість, контактна міцність, корозійна стійкість. Зазвичай для виготовлення клинка ножа використовують сталі вміст вуглецю в яких більше ніж 0,4 %. Це обумовлено вимогами до леза клинка ножа, а саме зносостійкість його ріжучої частини, яка напряму залежить від твердості і структури самої сталі. При правильно проведений термічній обробці, якій передус термопластична деформація (кування), сталь 40X13 набуває показників твердості нарівні 56–57 HRC, що достатньо для звичайного кухонного ножа. Для ножів з високо вуглецевих сталей ( $C 0,6-1,45\%$ ), показники твердості сягають 58–67 HRC. Ножі виготовлені з порошкових високолегованих сталей можуть мати

твердість 68–70 HRC. Але на ресурс ріжучої кромки ножа, її зносостійкість, впливають кілька чинників умови, навантаження, структура, яка обумовлена попередньою термопластичною обробкою і кінцевою термічною. Твердість ріжучої кромки не є показником якості клинка. В нашій роботі ми спробуємо довести переваги композитного клинка із сталі ШХ15Ш в обкладках 40X13, над лезом виготовленим із моносталі n690. Мартенситна сталь n690 австрійського виробництва є однією із найкращих для ножів середнього цінового сегменту. Сталь виготовляється за технологією поздовжньо-поперечного прокату листа після електрошлакового переплаву.

Це одна з найсучасніших технологій в сучасній металургії. Сталь n690 має низький відсоток шкідливих домішок: сірки, фосфору, неметалічних включень, що позитивно впливають на структуру та

механічні властивості. Технологія виготовлення композитного клинка більш складна, але матеріали мають більш розповсюджене використання.

Одними з головних вимог, що пред'являються до клинка – досягти вагомих показників корозійної стійкості і пружності, можливості витримувати бокові та контактні навантаження. Завдяки поєднанню за допомогою горнового зварювання високо вуглецевої і нержавіючої сталей досягається ефект зонного загартовування в подальшій термічній обробці. Технологія зонного загартовування – це комбінація різних показників твердості на одному лезі ножа, що веде до значного підвищення пружності і довговічності клинка, зменшує ризик утворення гартовочних тріщин. Горнове зварювання дозволяє з'єднати в композит сталі, які мають високий вміст вуглецю ( $C = 0,9-1 \%$ ,  $C = 0,4-0,45 \%$ ) і хрому ( $Cr = 13-14 \%$ ), що звичайним електродуговим методом зробити практично не можливо. Високий еквівалент вуглецю і легованість хромом ускладнює існуючі процеси зварювання. При відповідних режимах термопластичної деформації, отримуємо в зоні ковальського зварювання монолітне з'єднання двох сталей на атомарному рівні, що само по собі вже є композит (поєднання двох матеріалів з різними властивостями з отриманням третього вихідного). Клинки ножів запропоновано виготовляти методом ручного кування, без застосування пневматичних та гідравлічних молотів, для забезпечення чистоти експерименту. В роботі проведені розрахунки режимів термічної обробки, аналіз мікроструктур отриманих моносталі та композиту, економічна доцільність, переваги та недоліки одного способу отримання леза клинка над іншим.

Одними з головних вимог, що пред'являються до клинка – досягти вагомих показників корозійної стійкості і пружності, можливості витримувати бокові та контактні навантаження. Завдяки поєднанню за допомогою горнового зварювання високо вуглецевої і нержавіючої

сталей досягається ефект зонного загартовування в подальшій термічній обробці. Технологія зонного загартовування – це комбінація різних показників твердості на одному лезі ножа, що веде до значного підвищення пружності і довговічності клинка, зменшує ризик утворення гартовочних тріщин. Горнове зварювання дозволяє з'єднати в композит сталі, які мають високий вміст вуглецю ( $C = 0,9-1 \%$ ,  $C = 0,4-0,45 \%$ ) і хрому ( $Cr = 13-14 \%$ ), що звичайним електродуговим методом зробити практично не можливо. Високий еквівалент вуглецю і легованість хромом ускладнює існуючі процеси зварювання. При відповідних режимах термопластичної деформації, отримуємо в зоні ковальського зварювання монолітне з'єднання двох сталей на атомарному рівні, що само по собі вже є композит (поєднання двох матеріалів з різними властивостями з отриманням третього вихідного). Клинки ножів запропоновано виготовляти методом ручного кування, без застосування пневматичних та гідравлічних молотів, для забезпечення чистоти експерименту.

В роботі проведені розрахунки режимів термічної обробки, аналіз мікроструктур отриманих моносталі та композиту, економічна доцільність, переваги та недоліки одного способу отримання леза клинка над іншим.

**Мета завдання.** показати переваги технології горнового зварювання та властивостей композита клинка ножа зі сталі ШХ15Ш в обкладках із корозійної сталі 40X13 над технологією ручного кування клинка з моносталі n690.

**Матеріали та методика.** За основу геометрії клинка і його розмірів був прийнятий клинок фінського типу. Обов'язковою умовою являється виготовлення клинків методом ручного кування, що забезпечує правильність і дотримання всіх необхідних режимів, технологічних параметрів клинка, механічних властивостей, що зменшить відсоток браку, тому що весь технологічний процес починається з відпалу сталі, а закінчується готовим клинком ножа з

відповідними механічними властивостями. Весь комплекс механічних властивостей досягається відповідними режимами термічної обробки. Клинок ножа повинен мати невелику довжину, мати достатньо товстий обух, щоб забезпечити міцність на зламі і водночас мати високі пружні властивості. Виходячи з умов і підбирається хімічний склад вихідних матеріалів і технологія виготовлення клинків. Після виготовлення двох клинків проводиться випробування на зносостійкість ріжучої кромки, механічні випробування на згин (пружність клинка без залишкової деформації), випробування на тріщиностійкість. За основу візьмемо геометричні розміри клинка скандинавського типу.

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

**Результати експерименту.** Враховуючі умови використання ножа, його геометричні форми і експлуатаційні вимоги, матеріал клинка повинен мати досить високі механічні властивості і невисоку ціну. Тому до його підбору потрібна відноситись особливо ретельно. Розглянемо декілька розповсюджених ножових сталей з приблизно однаковим хімічним складом і механічними властивостями вітчизняного і зарубіжного виробництва.

Таблиця 2 [12]

**Вітчизняні сталі і їх аналоги**

Вітчизняні сталі	Зарубіжні аналоги
40X13	AISI 420
X12MФ	D2
ШХ15Ш	N690
9ХС	L3
65X13	440С

Таблиця 3 [1]

**Хімічний склад сталі ШХ15Ш**

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

Як відомо хром потрібен сталі для кращого прогартовування. За своєю природою сталь ШХ15Ш і сталь 40X13 схожі на звичайні вуглецеві, з приблизно 1 %С. Хром розчиняється в обох фазах відпаленої сталі в фериті і в цементиті [3]. Легований хромом цементит повільно розчиняється в аустеніті, а аустеніт, який вміщує хром, повільно розпадається, цим і пояснюється менша критична швидкість гартування цих сталей, в порівнянні з вуглецевими. Сталь отримана методом електрошлакового переплаву з мінімальним вмістом шкідливих домішок.

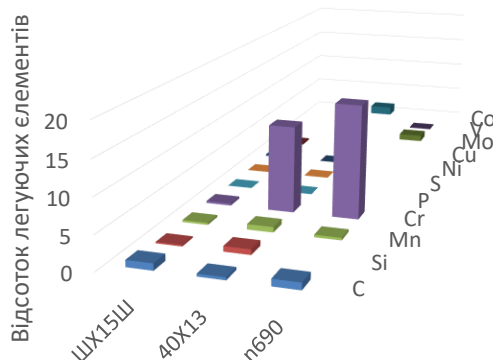
Сталь 40×13 – хромиста сталь мартенситного класу. Легована вуглецем та хромом (основні легуючі елементи). В цій сталі міститься ≈13 % Cr, що відповідає мініальному його вмісту, який забезпечує підвищену корозійну стійкість.

Таблиця 4 [2]

**Хімічний склад сталі 40X13**

Сталь	C	Si	Mn	Cr	S	P
	не більше				не більше	
40X13	0,36–0,45	0,8	0,8	12,0–14,0	0,025	0,030

Гістограма хімічного складу сталей клинків



	ШХ15Ш	40Х13	n690
C	1	0,4	1,02
Si	0,2	0,8	
Mn	0,3	0,8	0,37
Cr	0,3	13	17
P	0,027	0,03	
S	0,02	0,025	
Ni	0,25	0	
Cu	0,25	0	
Mo			1
V			0,1
Co		1,45	

Рис. 1. Хімічний склад сталей ШХ15Ш, 40Х13 та n690

Таблиця 5 [14]

## Хімічний склад сталі n690 (Австрія)

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 n690 відноситься до нержавіючих легованих мартенситних сплавів і має досить великий вміст легуючих елементів, які в свою чергу позитивно позначаються на її механічних властивостях. До аналогів даного матеріалу, з приблизно таким же хімічним складом, можливо віднести сталь австрійського виробництва 440С. Але в ній масова частка легуючих елементів (насамперед кобальту і молібдену) відчутна нижча. Це негативно, позначається на деяких важливих технологічних і механічних властивостях: здатність приймати

загартовування, імовірність розвитку відпускнуї крихкості першого та другого роду, твердості, пружності. Всі ці властивості відіграють важливу роль у забезпеченні надійності, та збільшення терміну експлуатації клинка. Однією з найбільш важливих характеристик сталі n690 є її здатність протистояти зародженню і розвитку корозії в нормальних умовах. Крім того, в результаті застосування кріообробки, збільшити твердість можливо до 60–61 HRC.

За шкалою 3 навантаження на індентор становить 150 кг. Дана марка сталі містить досить багато вуглецю (трохи більше 1 %).

Якби не додавання легуючих елементів, то цю сталь можна було класифікувати, як заевтектоїдну високовуглецеву інструментальну сталь. Високий вміст хрому, понад 17 відсотків, робить дану сталь стійкою до корозії. Крім того, збільшується прогартовування, покращуються показники

стійкості при навантаженні Молібден трохи більше одного відсотка, вводиться для зменшення крихкості і ламкості сплаву і покращує інші властивості і характеристики сталі п690. Крім того додатково сплав легується кобальтом 1,5 %, ванадієм 0,1 %, марганцем та кремнієм, масова частина кожного становить приблизно 0,4 %. Одна з основних відмінностей сталі N690 в тому, що вона має у своєму складі кобальт, який підвищує жароміцність сталі і робить сильний вплив на її механічні властивості. На оцінку якості сталі впливає також масова частка шкідливих домішок. Так сталі, які виробляються за допомогою електродугового переплаву у вакуумі, будуть мати мінімальну кількість шкідливих домішок. Завжди сталь, яка має більш високий клас – має кращі експлуатаційні характеристики. Але не менш вагомим чинником є умови застосування і характер навантаження в ножі, геометрія самого клинка. Компанія BOHLER и UDDEHOLM є світовим лідером у виробництві інструментальних, спеціальних та швидкорізальних сталей та сплавів. Але із всієї лінійки продукції концерну, кобальтом легується тільки п690. Вміст кобальту в різних марках не перевищує 5 % для інструментів які сприймають значні навантаження, свердла, мітчики, зенкери та інш. Якщо інструмент працює з відносно нетвердими матеріалами, то масова частка кобальту становить 0,3–1,5 %. У сталі п690 міститься оптимальна кількість кобальту для забезпечення ріжучих та експлуатаційних характеристик леза ножа. Але чим більший відсоток кобальту в сплаві, тим гірше прогартованість – на відміну від молібдену. В зв'язку з чим, в термічній обробці сплаву і надання високих показників твердості 60–61 HRC, потрібно обов'язково використовувати операцію кріообробки. Наявність в сталі ванадію 0,1 % позитивно впливає на структуру сплаву подрібнюється зерно, рівномірно розподіляється по об'єму [15].

Натомість сталь ШХ15Ш, має в своєму складі невисокий вміст легуючих С (0,95–1,05 %) Cr (1,3–1,65 %), Si (0,17–0,37 %), Mn (0,2–0,4 %) елементів. Хром позитивно впливає на прогартованість

– сталі покращуючи її. Навіть невеликий відсоток 1,3–1,65 % в її хімічному складі, веде до повної прогартованості наскрізь деталей любого перерізу. Завдяки рівномірно легуваному хромом цементиту, сплав набуває високих показників твердості при загартуванні і як наслідок значної зносостійкості [4]. Марганець збільшує стійкість переохолодженого аустеніту і зміщує «С» подібну криву термодіаграми вправо сторону, збільшуючи прогартованість. Завдяки чому, для загартування сплаву, можна застосовувати значно менше критичні швидкості, використовуючи для охолодження мінеральні оливи. Це нам дає рівномірно загартовану структуру по всьому перерізу заготовки, чи готового виробу, зменшуючи ризики утворення тріщин, короблення (зміни геометричної форми). Марганець, як і кремній, також подрібнює зерно підвищуючи пружні та пластичні властивості, підвищуючи ударну в'язкість (коли його вміст не більше 2 %). Позитивно впливає на прогартованість сталі, затримує розпад переохолодженого аустеніту. Нікель впливає позитивно на механічні властивості (пружність, пластичність, ударну в'язкість, холодноламкість) [5].

З вищевикладеного можна зробити висновки, що сталь ШХ15Ш набуває високих показників і механічних властивостей, завдяки твердорозчинному зернограничному механізму зміцнення та комплексному легуванню. Твердість після загартування може сягати HRC 62–64. В шарикопідшипникових сталях регламентований вміст неметалічних включень, карбідної ліквіції [8].

Річ в тому, що навантаження шарикопідшипника локальні, і якщо в точці дотику шарика (ролика) і кільця в неоднорідній чи засміченій сталі, опиниться то чи інше включення, то може відбутися місцеве руйнування (викришування) і як наслідок руйнування. Неметалеві включення працюють як концентратори напруги і призводять до зародження тріщини, її росту до критичних розмірів. А динамічне навантаження приведе до руйнування

структури сплаву по крихкій схемі (твердість підшипник ролика чи шарика 61–62 HRC). Проаналізувавши хімічний склад двох сплавів можна зробити такі висновки [9].

Перша сталь п690 набуває своїх високих механічних властивостей завдяки комплексному легуванню досить дорогими тугоплавкими металами: (Mo, Co, V). Метод отримання цієї сталі електродуговий переплав, за технологією повздовжнього поперечного проектування та складна термічна обробка, для досягнення твердості (60–61HRC) [13].

Друга сталь ШХ15Ш, отримується методом електродугового плавлення, з подальшим електрошлаковим переплавом. Але карбіди сталі настільки дрібні і рівномірно розподілені по структурі, що їх важко помітити навіть на мікроструктурах. Хром з його низьким вмістом, не утворює карбідів, а лише входить до складу легованого цементиту. Завдяки чому сплав дуже гарно піддається загартовуванню і може мати твердість 62–64 HRC після відпуску, що впливає на зносостійкість [10]. Технологія термічної обробки сплаву є набагато простіше в порівнянні з п690.

**Технологічний процес виготовлення клинка.** Робота включає в себе підготовчі операції, слюсарні, термічні, контроль якості, проміжний та кінцевий.

Отримання заготовок для ковальського зварювання.

Послідовність операцій:

1. Рекристалізаційної відпал
2. Ковальське зварювання
3. Проміжний контроль якості
4. Виготовлення клинка методом кування.
5. Неповний відпал.
6. Загартовування клинка.
7. Відпуск.
8. Контроль якості та механічні випробування.
9. Слюсарна обробка.

Травлення клинка в кислотному розчині. Для отримання заготовок під ковальське (горнове зварювання) брали пруток із сталі ШХ15Ш (ТУ141594 ДСТУ4738:007) Ø – 20 мм, довжиною L – 80 мм для ріжучої

частини клинка, пруток із сталі 40X13 ДСТУ 7838:007, для обкладок. Ø – 20 мм, L – 150 мм. Загальна вага пакету – 0,42 кг.

Перед тим як проводити операцію горнового зварювання, слід визначитися із складом флюсу, який запобігатиме проникненню в площину зварювання кисню, буде захищати пакет сталі від оплавлення і окисленню металу, а також шлакоутворенню.

Склад флюсу:

1. бура  $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ;
2. сіль поварена;
3. товчене скло від пляшок;
4. товчений чавунний порошок.

Пропорції:

- бура+сіль ~80 %;
- товчене скло ~10–15 %;
- порошок чавуну ~5%.

При горновому зварюванні головним чинником є відсутність кисню між пакетами сталі, а також рівномірний нагрів заготовки.

При правильно підбраному складі флюсу зварювання можна проводити навіть при температурі 1 350–1 300 °С. Сталі з'єднуються на атомарного рівні в захисному середовищі флюсу, утворюючи повністю монолітне з'єднання. Нагрів пакету проводиться рівномірно, поступово, щоб запобігти ризику утворення температурних мікротріщин, непроварів. На успішність операції горнового зварювання впливає низка факторів: вага пакету (чим більше вага тим більше часу їде на прогрів). Теплопровідність сталі в пакеті. Чистота поверхонь на пластинах (повинні бути без слідів корозії і оксидних плівок). Середовище нагрівання (газ, кам'яне вугілля, деревне вугілля). Температура приміщення. Швидкість та час пластичного деформування при механічному з'єднанні пакету (витиснення флюсу з поверхонь). Остання операція має дуже суттєве значення, якщо прогріти пакет неповністю і температура його буде нижчою за 1 200–1 250 °С зварювання не відбудуться в повній мірі. Ми отримуємо не провар по пластинам з'єднання, а це веде до втрати міцності. В результаті нерівномірного прогріву пакету виникає градієнт температур між поверхнями з'єднання, флюс не проникає в площину, він просто стікає і не захищає поверхні від окислення, з зародженням

шлакових утворень. Завдяки використанню високотемпературного флюсу на поверхнях зварювання не відбувається окислення, навіть коли температуру підняти на 50–70 °С. При використанні в складі флюсу чавунної стружки, вміст вуглецю в місцях з'єднання і на поверхнях підіймається. Ми компенсує вуглець який вигорас. Якщо на поверхні пакету і відбудеться обезвуглецевування, цей шар буде знятий при подальшій слюсарні обробці.

Далі проходить проміжний контроль якості зварного з'єднання. Якщо його не пройдено, подальші операції проводити недоцільно. Зварювальний пакет обробляється в 5 % розчині азотної кислоти. В результаті травлення сталь ШХ15Ш буде мати чорний колір, а 40X13 світлий, металічний. Якщо під час горнового з'єднання відбудеться не провар, на границі розділу шарів будуть помітні шлакові включення – це осередки оплавлень. При відсутності браку, переходимо до наступної операції.

Використання деревного вугілля при зварюванні, дозволяє зменшити відсоток виділення сірки при згоранні, що зменшує шлакоутворення.

Для виготовлення клинка ножа із сталі п690 візьмемо пруток Ø – 20 мм, L – 40 мм LLL BOHLER и UDDEHOLM (табл. 8).

Порівнявши режими термопластичної обробки композиту і моносталі, можна зробити попередні висновки: температури операції в моносталі вищі. Це обумовлено зміщенням критичних точок нагріву сталь п690 завдяки її високолегованності. Час під нагрівання під кування вищий, завдяки тугоплавким металам з низькою теплопровідністю у хімічному складі, сплаву.

*Термічна обробка клинків.*

Термічна обробка – надання виробу комплексу механічних властивостей. Зміна властивостей сплаву, які отримуються в результаті обробки, повинні бути остаточними, інакше в термічній обробці не буде ніякого сенсу [3].

Таблиця 6

**Послідовність операцій гарного зварювання**

Операція	Час (хв)
Підігрів пакету до 1 250–1 300 °С*	14~15
Обробка флюсом	1,5~2
Прогрів пакету з флюсом	5~6
Механічне з'єднання флюсового пакету з повним витисненням флюсу	1,5~2

\* Підігрів пакету може сягати навіть 1 300–1 320 °С, так як в складі пакету, в обкладках – сталь 40X13, а її теплопровідність значно нижча, ніж ШХ15Ш.

Таблиця 7

**Режим кування композиту**

Операція	Температура, °С
початок кування	1000~950
кінець кування	800~750
чистові проходи	750~720*

\* З кожним проходом, температура пластичної деформації знижується останні проводяться при температурі 720–700 °С. Цим досягається ефект наклепування, придання поковці пластичних та пружних властивостей, подрібнення структури і субструктури [7].

Таблиця 8 [14]

**Режим кування сталь п690**

Операція	Температура, °С
початок кування	1100~1050
кінець кування	1000~950
чистові проходи	950~800



Рис. 2. Схема термічної обробки клинка із композитної сталі ШХ15Ш в обкладках 40X13



Режим термічної обробки композитної сталі ШХ15Ш в обкладках 40X13

Назва операції	Час, $\tau$ (хв)	Температура, (С°)
Нагрів під загартування	6	840
Витримка	8	840
Охолодження	0,09	3
Нагрів під відпуск	4	270
Витримка	120	270
Охолодження	2	5

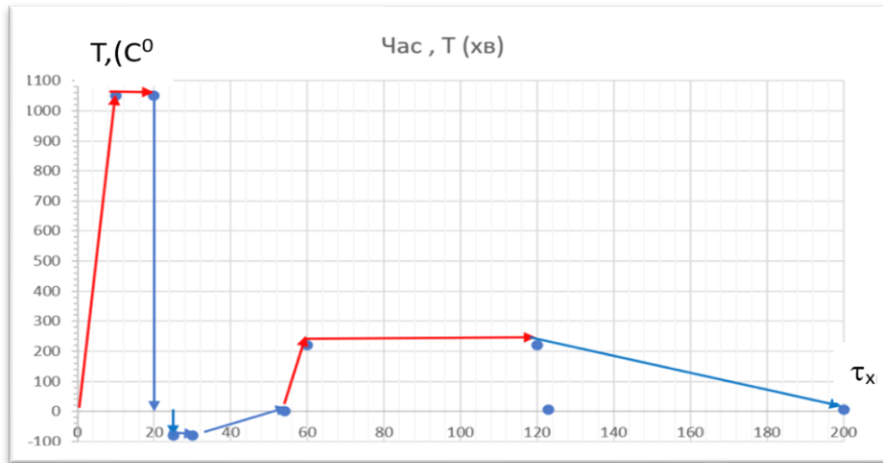


Рис. 3. Схема термічної обробки клинка зі сталі п690

Режим термічної обробки сталі п690

Назва операції	Час, $\tau$ (хв)	Температура, T (С°)
Нагрів під загартування	10	840
Витримка	10	840
Охолодження	0,12	3
Кріообробки	0,0042	-80
Витримка	6	-80
Розмерзання	24	2
Нагрів під відпуск	6	220
Витримка	60	220
Охолодження	3	5

Основними чинниками операції термічної обробки є:

- $t_{max}$  – максимальна температура до якої нагрівається виріб при термообробці;
- $\tau_v$  – час витримки сплаву при температурі нагріву;
- $\vartheta_{нагр}$  – швидкість нагріву;
- $\vartheta_{охол}$  – швидкість охолодження.

Температура нагріву для сталі визначають по діаграмі стану, швидкість охолодження по діаграмі ізотермічного розпаду аустеніту. Загальний час нагрівання заготовки обчислюється за формулою (1):

$$\tau_{заг} = \tau_n + \tau_v, \quad [1]$$

$\tau_{заг}$  – загальний час нагріву заготовки;  $\tau_n$  – час нагріву до заданої температури;  $\tau_v$  – час витримки (2,5 хв. – для високолегованих сталей, 2 хв. – для легованих сталей, 1 хв. – для вуглецевих сталей.)

Час нагрівання до заданої температури обчислюється за формулою:

$$\tau_n = 0,1 D_1 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad [2]$$

де  $\tau_n$  – час нагрівання до заданої температури;  $D_1$  – розмірна характеристика

виробу;  $K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$  – коефіцієнти середовища форми рівномірності нагрівання.

Для сплаву, час нагрівання залежить від розмірів заготовки теплопроводності нагрівального середовища і його доводиться визначати експериментально. Витримку при загартовуванні вибирають такою, щоб пройшли повністю всі структурні перетворення, гомогенізація аустеніту. Режими охолодження сплаву при загартовуванні підбирають так, щоб

забезпечити необхідну глибину загартованого шару. Охолоджуючу спроможність різних середовищ оцінюють в області температур найменшої стійкості переохолодженого аустеніту (650–550 °С) і мартенситного перетворення (300–200 °С). В останньому інтервалі бажано уповільнити охолодження для зменшення термічних гартувочних напруг. Середовище охолодження в нашому випадку – олива трансмісійна.

Таблиця 11 [11]

Швидкість охолодження сталі в різних охолоджуючих середовищах

Загартувачне середовище	Швидкість охолодження град/с, за	
	650–550 °С	300–200 °С
Вода:		
18 °С	600	270
28 °С	500	270
50 °С	100	270
Мінеральне мастило (олива)	100–150	20–50
Спокійне повітря	3	1

Схеми термічної обробки використані в нашій роботі проведені на (рис. 2, 3). Отримані розрахункові практичні величини дивись таблиці 7 та 8.

**Відпуск клинків.** Останньою операцією термічної обробки є відпуск. З фізичної точки зору операція відпуску – це переведення системи сплаву з метастабільного в стабільний стан. Після загартовування, в металі присутні напруги, викликані зміною різкого градієнта температур, фазовою перекристалізацією із зміною об'єму металу, наявністю високої кількості дислокацій, сплав обов'язково піддають операції відпуску. Відпуск знімає внутрішні напруги в об'ємі сплаву, більш рівномірно проходить розподіл дислокаційної сітки, знімаються навантаження, отримані в результаті фазового наклепу, рівномірно розподіляються карбіди, знімаються зернограничні напруги. Особливо ретельно призначаються температурно-часові режими операцій відпуску (рис. 2 та 3.) Мета відпуску – отримання структури відпущеного мартенситу. Основний вплив

на стабільність геометричних розмірів і твердість готового клинка, його експлуатаційні і механічні характеристики має, залишковий аустеніт.

В інструментальних високо вуглецевих сталях після загартовування (особливо в високолегованих) вміст залишкового аустеніту сягає 20–35 %. За температур загартування сталі ШХ15Ш відповідно:  $T = 840$  °С і відпуску  $100$  °С – 5–10 %,  $T = 880$  °С і відпуску  $150$  °С – 10–19 % [9].

Можна зробити висновок, що чим вища температура нагріву під загартовування, тим більша кількість залишкового аустеніту. Початок інтенсивного розпаду аустеніту починається тільки при температурі  $200$  °С, при цьому твердість загартованого сталі знижується. Якщо потрібно довести відсоток залишкового аустеніту до 5–8 %, застосовують обробку холодом (рис. 3.)

При проведенні чотирьох експериментальних спроб, для визначення температурно-часових режимів відпуску для клинка ножа з композиту (ШХ15Ш в обкладках 40X13) прийшли до таких показників:

1. температура нагрівання 260–270 °С;
2. витримка 1,8–2 год.;
3. охолодження – повітря.

Твердість клинка 58–59 HRC, ріжуча частина – 52–54 HRC обкладки.

За таких показників отримані максимальні показники зносостійкості ріжучої кромки, високі показники пружності клинка.

Для сталі п690:

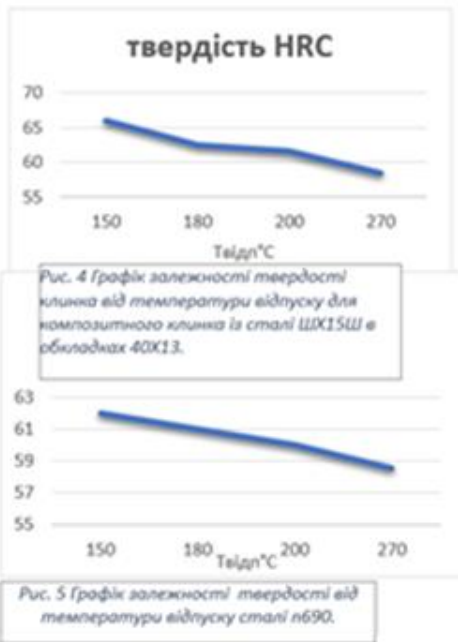
1. температура нагрівання під відпуск 200–220 °С;
2. витримка 1 год.;
3. охолодження – повітря.

Відмінністю сталі п690 від ШХ15Ш є значний відсоток залишкового аустеніту в структурі загартованої сталі.

Щоб зменшити долю залишкового аустеніту до 10–15 % ми застосували обробку холодом. Після чого провели відпуск клинка (рис. 3). Твердість клинка після кріообробки 60–61 HRC.

Далі проведемо графіки залежності твердості клинка від температури відпуску, які були отримані експериментально.

Мікроструктури досліджуваних марок сталей наведені на рисунках 6–8.



**Таблиця 12**  
Залежність твердості клинка від температури відпуску сталі ШХ15Ш

Температура °C	Твердість HRC*
150	65-67
180	62-63
200	61,5-62
270	58-59

\*Твердість замірялась на різальній кромці клинка.

**Таблиця 13**  
Залежність твердості від температури відпуску сталі п690

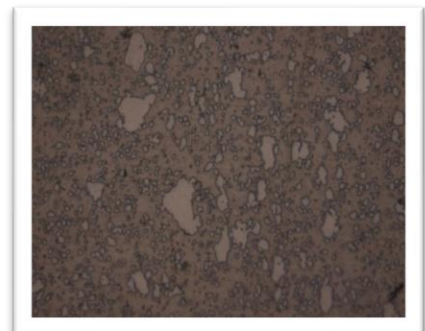
Температура °C	Твердість HRC
150	62-61
180	61,5-61
200	61-60
270	56-55



**Рис. 6.** Мікроструктури композиту із сталі ШХ15Ш в обкладках 40X13 зварювальний шов, ×500



**Рис. 7.** Мікроструктури композиту із сталі ШХ15Ш в обкладках 40X13 зварювальний шов, ×1000



**Рис. 8.** Мікроструктура сталі п690, ×500

## Висновки

Проаналізувавши розрахунки, практичні випробування, прийшли до висновку про перевагу композиту зі сталі ШХ15Ш в обкладках із сталі 40X13 над клинком з моносталі п690.

1. Висока зносостійкість ріжучої кромки клинка, обумовлена мікроструктурою сталі ШХ15Ш після термообробки. Вона складається з відпущеного мартеністу з дуже дрібними, рівномірно розподіленими карбідами вуглецю по всьому об'єму матеріалу. Відсоток хрому низький (1–1,5 %), тому він весь входить до складу легованого цементиту і рівномірно розподілений по всьому об'єму сплаву. При збільшенні навіть в 1000 разів на оптичному реверсивному мікроскопі ми бачимо тільки карбідну сітку з складних карбідних сполук (рис. 7). Натомість сталі п690 велика кількість карбідів простих, складних (Cr, Mo, V), які різні за розмірами і значно більший відсоток хрому, зв'язаного в карбіди. Структура сталі – відпущений мартеніт з сіткою не рівномірних карбідів, розподілених в феритній матриці. Хрома в хімічному складі 18 %, а карбіди його найбільші за розмірами, що негативно впливає на структуру (рис. 8).

2. Проста термічна обробка сталі ШХ15Ш в порівнянні з п690.

3. Набагато кращі пружні властивості клинка ножа. Це відбувається завдяки зонному загартовуванню. Середня частина ножа загартовується на 58–59 HRC, а обкладки мають твердість 50–52 HRC, так як температура загартовування ШХ15Ш – 840 °С, 40X13 – 1 050–1 100 °С.

4. Однією з основних переваг є економічна складова і доступність матеріалу. Сталь п690 в 5 разів дорожча ніж сталь ШХ15Ш і 40X13. Композитну сталь можна виготовити використовуючи вторинну сировину, наприклад, лопатки турбін, залишки ножів для кухні, кільця та шарики використаних підшипників.

5. До переваг п690 над композитом можна віднести високу корозійну стійкість в кислотах та лугах, але в сталі 40X13 теж міститься до 13 % хрому і вона відноситься до нержавіючих сталей. Ріжуча частина і частина, яка виходить до обкладок сталі ШХ15Ш захищена оксидної плівкою після травлення, яка теж досить стійка до корозії, але на менш тривалий проміжок часу.

6. Більш складна технологія виготовлення композиту ніж моносталі.

7. Механіко-експлуатаційні, показники і показники надійності значно вищі в композитному клинці, економічно, навіть при досить складній технології виготовлення, він виходить дешевше, а це один з найважливіших чинників в наш час.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 4738:007 (ГОСТ 2590-2006). Прокат сортовий сталевий гарячекатаний круглий. Сортамент (EN 10060:2003, NEQ; ГОСТ 2590-2006, IDT). 3 поправками. [Чинний з 01.10.2007]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. (Національний стандарт України). URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=25378](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25378)
2. Кузін О. А., Яцюк Р. А. Металознавство та термічна обробка металів : підруч. Львів : Афіша, 2002. 304 с.
3. Бялік О. М., Черненко В. С., Писаренко В. М., Москаленко Ю. Н. Металознавство : підруч., 2-е вид., перероб. і доп. Київ : Політехніка, 2006. 384 с.
4. Равська Н. С., Мельничук П. П., Касьянов А. Г., Родін Р. П. Технологія інструментального виробництва. Житомир : ЖІТІ, 2001. 555 с.
5. Котречко С. А. Предельная прочность. Кристаллы, металлы, конструкции. Киев : Наукова думка, 2008. 295 с.
6. Мешков Ю. Я., Котречко С. А., Шиян А. В. Механическая стабильность металлов и сплавов. Киев : Наукова думка, 2014. 278 с.
7. Погребна Н. Е., Куцова В. З., Котова Т. В. Механічна стабільність матеріалів : навч. посіб. Дніпро : НметАУ, 2021. 109 с.
8. Галико А. В., Кузик О. В., Кропівний В. М., Кропівна А. В., Молокост Л. А. Матеріалознавство : навч. посіб. Кіровоград : КОД, 2015. 168 с.

9. Федірко П. П., Кроль В. О. Матеріалознавство і слюсарна справа : навч. посіб. За ред. П. П. Федірка. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2018. 384 с.
10. Agostini P., Barbieri G., Coppola R. et al. Stress Distributions in P91 Martensitic Steel and in AISI 316LN Steel Welds for Gen IV Nuclear Applications. *J. Surf. Investig.* Vol. 14 (Suppl. 1). 2020. Pp. 25–30. [Електронний ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1134/S1027451020070022>
11. ДСТУ 4738:2007/ГОСТ 2590-2006. Прокат сортовий сталевий гарячекатаний круглий. Сортамент (EN 10060:2003, NEQ). З поправками. [Чинний від 01.10.2007]. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 12 с.
12. Technical Specifications [Електронний ресурс]. URL: <https://www.us.bohler.com/en/>.
13. Марочник сталі і сплавів [Електронний ресурс]. URL: [http://www.splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=207](http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=207).
14. LLC BOHLER UDDEHOLM UKRAINE. Suchkova str.117. 51200, Novomoskovsk, Ukraine Bestellinr Purchaser's order Prufgegenstand/object of test Sheets made n690 Microclean.

## REFERENCES

1. DSTU 4738:007 (GOST 2590-2006). *Prokat sortovyy stalevyy haryachekatanny kruhlyy. Sortament* [Rolled grade steel hot-rolled round. Assortment (EN 10060:2003, NEQ; GOST 2590-2006, IDT)]. With amendments. [Effective from 01.10.2007]. Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine, 2007. (National Standard of Ukraine). URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=25378](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25378) (in Ukrainian)
2. Kuzin O.A. and Yatsyuk R.A. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv : pidruch.* [Metal science and heat treatment of metals : textbook]. Lviv : Afisha Publ., 2002, 304 p. (in Ukrainian)
3. Bialik O.M., Chernenko V.S., Pysarenko V.M. and Moskalenko Yu.N. *Metaloznavstvo : pidruch.* [Metallurgy : subclass.]. 2nd ed., revision. and additional. Kyiv : Polytechnic Publ., 2006, 384 p. (in Ukrainian)
4. Ravska N.S., Melnychuk P.P., Kasyanov A.G. and Rodin R.P. *Tekhnolohiya instrumental'noho vyrobnytstva* [Technology of tool production]. Zhytomyr : ZHITI, 2001, 555 p. (in Ukrainian)
5. Kotrechko S.A. *Predel'naya prochnost'. Kristally, metally, konstruksii* [Ultimate strength. Crystals, metals, structures]. Kyiv : Naukova Dumka, 2008, 295 p. (in Russian)
6. Meshkov Yu.Ya., Kotrechko S.A. and Shiyan A.V. *Mekhanicheskaya stabil'nost' metallov i splavov* [Mechanical stability of metals and alloys]. Kyiv : Naukova Dumka, 2014, 278 p. (in Russian)
7. Pogrebna N.Ye., Kutsova V.Z. and Kotova T.V. *Mekhanichna stabil'nist' materialiv : navch. posib.* [Mechanical stability of materials : study guide]. Dnipro : NmetAU, 2021, 109 p. (in Ukrainian)
8. Galiko A.V., Kuzyk O.V., Kropivnyi V.M., Kropivna A.V. and Molokost L.A. *Materialoznavstvo : navch. posib.* [Materials science : study guide]. Kirovohrad : KOD, 2015, 168 p. (in Ukrainian)
9. Fedirko P.P. and Krol V.O. *Materialoznavstvo i slyusarna sprava : navch. posib.* [Material science and metalwork : study guide]. Under the editorship P.P. Fedyrka. Kyiv : "Condor" Publishing House, 2018, 384 p. (in Ukrainian)
10. Agostini P., Barbieri G., Coppola R. et al. Stress Distributions in P91 Martensitic Steel and in AISI 316LN Steel Welds for Gen IV Nuclear Applications. *J. Surf. Investig.* Vol. 14 (Suppl. 1), 2020, pp. 25–30. [Electronic resource]. URL: <https://doi.org/10.1134/S1027451020070022>
11. DSTU 4738:2007/GOST 2590-2006. *Prokat sortovyy stalevyy haryachekatanny kruhlyy. Sortament* [Rolled hot-rolled round steel. Assortment (EN 10060:2003, NEQ)]. With amendments. Valid from 01.10.2007. The publication is official. Kyiv : UkrSRNC Publ., 2016, 12 p. (in Ukrainian).
12. Technical Specifications [Electronic resource]. URL: <https://www.us.bohler.com/en/>.
13. *Marochnyk stali i splaviv* [Marochnik of steel and alloys]. [Electronic resource]. URL: [http://www.splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=207](http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=207). (in Ukrainian)
14. LLC BOHLER UDDEHOLM UKRAINE. Suchkova str. 117, 51200, Novomoskovsk, Ukraine Bestellinr Purchaser's order Prufgegenstand/object of test Sheets made n690 Microclean.

Надійшла до редакції: 01.04.2023.