

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет гірничо-металургійний  
Кафедра металургії матеріалознавства та організації виробництва

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП

Володимир ПАШИНСЬКИЙ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Інноваційна діяльність в матеріалознавстві»  
за спеціальністю 132 Матеріалознавство

на тему «Вдосконалення режимів обробки виробів з  
середньовуглецевих низьколегованих сталей з метою  
підвищення механічних характеристик»

Керівник роботи

Володимир ПАШИНСЬКИЙ

Консультант від  
бази практики

Іоланна ПОЛІЩУК

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Альона ТЕРЕЩЕНКО

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК


Віктор КОЛЕСНИК

Кам'янське, 2024

metinvest  
polytechnic

## ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	Гірничо-металургійний
Кафедра	Металургії, матеріалознавства та організації виробництва
Ступінь вищої освіти	магістр
Спеціальність	132 Матеріалознавство
ОПП	Інноваційна діяльність у матеріалознавстві

 **ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Гарант ОПП  
Володимир ПАШИНСЬКИЙ  
«05» грудня 2023 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

**Терещенко Альони Григорівни**

1. Тема роботи Вдосконалення режимів обробки виробів з середньовуглецевих низьколегованих сталей з метою підвищення механічних характеристик  
керівник роботи Пашинський Володимир Вікторович, професор, д.т.н.  
затверджені наказом Університету від 29.08. 2023р. №137.1/29.08.2023
2. Термін подання роботи 08.01.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні та міжнародні стандарти, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики кваліфікаційної роботи, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПАТ «Запоріжсталь» м.Запоріжжя, результати власних експериментів та досліджень тощо.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз питання та постановка задачі дослідження (літературний огляд, недоліки існуючих процесів та матеріалів, сучасні тенденції). 2. Матеріал та методика досліджень (марки та характеристики матеріалів, характеристика відібраних зразків, режими їх обробки (при наявності), методики визначення характеристик матеріалів та обробки даних). 3. Отримані результати та їх аналіз 4. Практичні рекомендації із застосування отриманих результатів. Економічна оцінка запропонованих рішень, 5. Заходи з промислової безпеки та захисту навколишнього середовища (при потребі). Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Презентація із зазначеними

результатами аналізу питання, задач дослідження, матеріалів та методики дослідження, опису отриманих результатів, економічна оцінка, промислова безпека, висновки.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1 - 4	<i>Пашинський В.В., професор, доктор технічних наук</i>

7. Дата видачі завдання 05.12.2023

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз питання та постановка задачі дослідження	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Матеріал та методика досліджень	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Отримані результати та їх аналіз	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Практичні рекомендації із застосування отриманих результатів. Економічне оцінка запропонованих рішень, Заходи з промислової безпеки та захисту навколишнього середовища	03. 01.2024 – 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.2024 – 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 – 24.01.2024

Здобувач

Альона ТЕРЕЩЕНКО

Керівник роботи

Володимир ПАШИНСЬКИЙ

## АНОТАЦІЯ

**Тема роботи:** «Вдосконалення режимів обробки виробів з середньовуглецевих низьколегованих сталей з метою підвищення механічних характеристик».

Робота містить 88 стор., 16 рис., 25 табл., 13 слайдів

**Викладення змісту роботи:** 30MnB5 – це боровмісна сталь для відпуску та загартування, призначена для виготовлення виробів і різноманітних деталей, які після термообробки мають високу міцність, зносостійкість і опір ударним та механічним навантаженням.

Гарячекатаний прокат зі сталі марки 30MnB5 широко застосовується при виробництві сільськогосподарської техніки для виготовлення зносостійких накладок, ножів грейдера, інших ножів та різальних полотен, гусеничних з'єднань, лопастей, футерівочних і сортувальних плит, дробильних агрегатів, ручного інструменту, плугів, дисків для борони та ін. Використання марки 30MnB5 є ефективнішим, ніж аналогів, оскільки в гарячекатаному стані вона є більш пластичною, краще підходить для холодного деформування й для різання. Після операцій загартування та відпуску ця сталь набуває високої міцності й твердості, внаслідок чого зростає зносостійкість готових виробів.

У даній роботі експериментальним шляхом проводився підбір режимів термічної обробки сталі марки 30MnB5 для формування її поліпшеного комплексу структури та властивостей, наведено результати та аналіз їх практичного застосування.

**Об'єкт і предмет дослідження:** Об'єкт дослідження – вплив режиму термічної обробки на структуру та механічні властивості сталі 30MnB5, предмет дослідження – низьколегована боровмісна сталь марки 30MnB5 виробництва ПАТ «Запоріжсталь».

**Мета і завдання роботи:** Дослідження та встановлення можливості отримання поліпшених механічних та технологічних

властивостей сталі марки 30MnB5 шляхом розробки режимів термічної обробки в лабораторних умовах ПАТ «Запоріжсталь».

**Методи дослідження:** Проведення аналізу даних, механічні випробування на розтяг, випробування на ударну в'язкість, випробування на твердість, проведення загартування та відпуску металу, визначення мікроструктури гарячекатаного прокату.

**Результати дослідження:** Практично досліджено та обрано режими термічної обробки для сталі марки 30MnB5 для формування необхідного поліпшеного комплексу її структури та властивостей.

**Область застосування:** Виробництво гарячекатаного прокату в умовах ПАТ «Запоріжсталь» з призначенням для виготовлення високоміцних та зносостійких деталей і конструкцій, що працюють під великими ударними навантаженнями.

**Стислі висновки:** В результаті даної роботи визначено вдосконалені режими термічної обробки сталі 30MnB5, що сприяє виробництву металопродукції з покращеним комплексом механічних характеристик. Завдяки цьому розширюється асортимент продукції на підприємстві і, відповідно, збільшується прибуток компанії.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** зносостійкість, міцність, 30MnB5, висока твердість, термічна обробка, EN10083, мартенсит, мікроструктура, аустеніт, ударні навантаження, стійкість до абразивного зносу.

## ABSTRACT

**Theme of the work:** "Improvement of processing modes for products made of medium-carbon low-alloy steels to improve mechanical characteristics".

The work contains 88 pages, 16 figures, 25 tables, 13 slides

**Summary of the work:** 30MnB5 is a boron-containing steel for tempering and quenching, designed for the manufacture of products and various parts that, after heat treatment, have high strength, wear resistance and resistance to shock and mechanical stress.

Hot-rolled steel from 30MnB5 is widely used in the production of agricultural machinery to make wear-resistant linings, grader knives, other knives and cutting blades, track joints, blades, liner and sorting plates, crushing units, hand tools, plows, harrow disks, etc. The use of 30MnB5 is more efficient than its analogues because it is more ductile in the hot-rolled state and is better suited for cold deformation and cutting. After quenching and tempering, this steel acquires high strength and hardness, which increases the wear resistance of finished products.

In this work, the selection of heat treatment modes for 30MnB5 steel to form its improved set of structure and properties was carried out experimentally, and the results and analysis of their practical application are presented.

The object of research is the production technology and technological scheme of heat treatment of steel grade 30MnB5, the subject of research is steel grade 30MnB5 produced by PJSC "Zaporizhstal".

**Object and subject of the study:** The object of the study is the effect of the heat treatment regime on the structure and mechanical properties of 30MnB5 steel, the subject of the study is low-alloy boron-containing steel grade 30MnB5 produced by PJSC "Zaporizhstal".

**Purpose and objectives:** To study and establish the possibility of obtaining improved mechanical and technological properties of steel grade 30MnB5 by developing heat treatment regimes in the laboratory conditions of PJSC "Zaporizhstal".

**Research methods:** Data analysis, mechanical tensile tests, impact strength tests, hardness tests, quenching and tempering of metal, determination of the microstructure of hot-rolled steel.

**Research results:** The heat treatment modes for 30MnB5 steel grade have been practically investigated and selected to form the required improved complex of its structure and properties.

**Scope of application:** Production of hot-rolled steel in the conditions of PJSC "Zaporizhstal" with the purpose of manufacturing high-strength and wear-resistant parts and structures operating under high shock loads.

**Brief conclusions:** As a result of this work, improved heat treatment modes for 30MnB5 steel have been determined, which contributes to the production of metal products with an improved set of mechanical characteristics. This expands the range of products at the enterprise and, accordingly, increases the company's profit.

**KEYWORDS:** wear resistance, strength, 30MnB5, high hardness, heat treatment, EN10083, martensite, microstructure, austenite, impact loads, abrasion resistance.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	9
1. АНАЛІЗ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1. Особливості та застосування зносостійких сталей типу Хардокс .....	10
1.2. Загальна характеристика боровмісних сталей.....	16
1.3. Сталь 30MnB5 для відпуску та загартування. Вимоги нормативної документації.....	18
1.4. Вплив бору на характеристики боровмісних сталей .....	19
1.5. Двофазні ферито-мартенситні сталі .....	25
1.6. Вплив термообробки на механічні властивості двофазних сталей.....	28
1.7. Аналіз отриманих даних і постановка задачі дослідження.....	30
2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	32
2.1. Матеріали дослідження.....	32
2.2. Методики експериментальних досліджень .....	33
3. ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ АНАЛІЗ .....	36
3.1. Технологія виробництва гарячекатаного прокату зі сталі марки 30MnB5.....	36
3.2. Дослідження впливу експериментальних режимів термічної обробки на властивості сталі марки 30MnB5 .....	48
4. ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	59
4.1. Рекомендації по практичному використанню результатів.....	59
4.2. Економічна оцінка запропонованих рішень .....	59
5. ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА ПРИ ПРОВЕДЕННІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	60
5.1. Заходи промислової безпеки при проведенні робіт у виробничих цехах .....	60
5.2. Безпека дослідника при проведенні робіт в лабораторії .....	62
5.2.1. Промислова безпека при проведенні механічних випробувань .....	62
5.2.2. Промислова безпека при проведенні пробопідготовки для дослідження структури.....	69
5.2.3. Промислова безпека при дослідженні мікроструктури та проведенні термічної обробки сталей .....	74
ВИСНОВКИ .....	80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	82
ДОДАТКИ.....	86

## ВСТУП

Для успішної конкурентоспроможності на міжнародному ринку та на ринку України металургійним підприємствам, незважаючи на всі технологічні та соціально-економічні труднощі, необхідно постійно поповнювати перелік своєї продукції, що відповідає високим нормам міжнародних та європейських стандартів.

В 2022 році комбінат ПАТ «Запоріжсталь» почав освоювати виробництво конструкційної низьколегованої боровмісної сталі марки 30MnB5 для відпуску та загартування, призначеної для виготовлення виробів та деталей, що після термічної обробки мають високу міцність, зносостійкість та опір високим механічним та ударним навантаженням. Для таких виробів і конструкцій дуже важливо мати комплекс структури та технологічних властивостей, в якому одночасно досягається високий рівень міцності, пластичності та опору до високих ударних навантажень.

В даній роботі показано процес супроводу освоєння технології виробництва сталі 30MnB5, а також дослідження та підбір експериментальних режимів термічної обробки цієї сталі, які б покращили механічні властивості гарячекатаного прокату.

## 1. АНАЛІЗ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1. Особливості та застосування зносостійких сталей типу Хардокс

Хардокс (англ. Hardox) – найменування серії зносостійких марок сталі виробництва шведського металургійного концерну SSAB, також це найменування торгової марки SSAB. Виробництво цих сталей компанією SSAB налагоджено з 1974 року [2].

Завдяки мінімальній кількості хімічних домішок у сталі всіх марок цього виробника вони вважаються еталоном за своїми характеристиками, а саме, вони вирізняються високими показниками зносостійкості, міцності, стійкості до ударного впливу і до навантажень вібраційного типу, містять високий відсоток легуючих домішок. Виробляються ці сталі шляхом гарячої прокатки, для підвищення характеристик міцності метал піддається обробці загартовуванням і відпуску.

Найпоширенішими є марки Хардокс 400, 450, 500 і 600, де цифри позначають вимірювану твердість за методом Брінелля. У таблиці 1.1 наведено хімічний склад цих марок:

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталей Хардокс

Марка	C	Cr	S	P	Ni	Mn	Si	B	Mo
400	<0,32	<1,4	<0,01	<0,025	<1,5	<1,6	0,7	--	–
450	0,18-0,26	0,1-1,4	<0,01	<0,025	0,1-1,5	1,3-1,6	0,25-0,7	0,004	~0,05
500	0,27-0,3	1,2-1,5	<0,01	<0,025	0,25-1,5	~1,6	0,6	<0,005	~0,45
600	<0,47	1,2	<0,01	<0,015	1,5-2,5	1-1,5	0,5-0,7	<0,005	~0,65

Аналогом серед вітчизняних зносостійких сталей для сталі Хардокс 400 є 18ХГТ, для марки 450 – 20ХН3А, 22ХНМ, для марки 500 – 110Г13Л, 25ХГТ, 30ХГСА, для марки 600 – 40ХФА, 35ХГСА, 40ХН, 35ХМ, 25ХГСА.

На ринку України сталь Хардокс стає дедалі популярнішою. Основними критеріями, що визначили таку популярність, є високі показники механічних характеристик у порівнянні з іншими сталями. Насамперед, це твердість, міцність, стабільність геометричних та фізичних властивостей.

Висока зносостійкість сталей Хардокс визначається її твердістю. Проте, на відміну від інших марок сталей, у сталей Хардокс заявлена твердість зберігається не тільки на її поверхні, але й у всьому обсязі [1]. Ця особливість дозволяє ефективно протистояти зносу протягом тривалого терміну експлуатації виробів, не змінюючи їх властивостей. Листовий прокат із високоміцної сталі Хардокс демонструє дивовижну стійкість до впливу різноманітних агресивних середовищ [2].

Недостатньо розглядати тільки твердість цього матеріалу для порівняння його стійкості до зношування. Сталь Хардокс 450 відрізняється від звичайних корозійностійких сталей. Завдяки ретельному контролю процесу загартування та відпуску сталь Хардокс 450 має гарантовану наскрізну твердість [8].

Під маркою Хардокс виробляється досить широкий спектр продукції, а саме:

- стійка до корозійного зношування листова сталь для кислотних середовищ;
- стійка до абразивного стирання товстолистова сталь;
- стійкі до абразивного стирання листові сталі Хардокс 400, 450, 500, 550, 600;
- зносостійка з підвищеною твердістю та ударною в'язкістю листова сталь Хардокс 500 Tuf;
- виключно стійка до абразивного зношування листова сталь Хардокс Extreme з твердістю 650...700 одиниць за Брінеллем;
- круглий прокат зі сталі Хардокс;

– труби зі сталі Хардокс з твердістю 400 та 500 одиниць за Брінеллем;

– жароміцна зносостійка листова сталь Хардокс HiTemp для робочих діапазонів температури 300...500°C.

Сталь досить в'язка, щоб не тріскатися. Виняткова ударна в'язкість дозволяє виробам із сталі Хардокс витримувати вібрацію, удари, тертя, поштовхи та інші навантаження. Вони легко піддаються будь-якій механічній обробці – згинанню, формуванню, зварюванню, проявляючи стійкість до появи та поширення тріщин. В агресивних середовищах, де непередбачувані поломки можуть не тільки завдати істотних матеріальних збитків, але й поставити під загрозу збереження майна та безпеку людей, застосування листового прокату Хардокс зводить всі ці ризики до мінімуму, оберігаючи обладнання від виходу з ладу.

Принципова відмінність листового прокату із сталі Хардокс від звичайної, навіть зносостійкої сталі, – у високій ударній в'язкості. Саме тому ця сталь може використовуватися також у металоконструкціях. Вона досить легко піддається деформаціям, не втрачаючи унікальних властивостей. Поряд з високою межею плинності, ця особливість дозволяє виготовляти зі сталі Хардокс вироби, в яких суттєво знижено власну вагу, що зрештою підвищує їхню конкурентоспроможність, даючи можливість збільшити корисне навантаження.

Сталь Хардокс 400 використовується для виготовлення конструктивних елементів ліній переробки дрібнофракційних сировинних матеріалів, що застосовуються в металургійному виробництві (невеликі бункери, шибєрні затвори, завантажувальні пристрої). Особливістю цих деталей є робота в умовах абразивного, часом ударного, впливу потоку частинок сипучих матеріалів (фракція 0-10 мм) з насипною щільністю від 0,3-2,3 г/см<sup>3</sup>. Ряд матеріалів шихти на основі дрібнофракційних матеріалів з вмістом рідкої фази, а також

являють собою агресивні середовища. Тобто в даному варіанті використання сталі є цілком раціональним рішенням.

Механічні властивості сталі Хардокс та її аналогів представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталей Хардокс та їх аналогів

Марка сталі	Межа плинності, МПа	Межа міцності, МПа	твердість по Брінеллю	Робота удару КCU; KCV Дж/см <sup>2</sup>	Відносне подовження, min %
HARDOX 400	1000	1250	370...430	45 (-40)	10
HARDOX 400	1200	1400	425...475	35 (-40)	10
HARDOX 400	1500	1250...1400	450...540	37 (-40)	10
18ХГНМФР	1080...1200	960...1030	360...375	43...108 (-40)	11...18
14ХГ2САФД	590...1030	490...930	–	39 (-40)	14...16
25ХГСП	≥620	≥800	285...390	40 (+20)	12
16ХГМФТР (клас міцності 380)	≥750	≥830	–	29 (-40)	16
16Х2ГСБ (клас міцності 500)	490...735	590...830	–	39; 29 (-40)	14...15
S690QL	650...690	760...940	228...278	30...40 (-40)	14

При обробці сталей Хардокс є свої нюанси. Для обробки сталей високої міцності рекомендується використовувати такий інструмент як,

швидкоріз з кобальтом, фрези Sandvik зі змінними пластинами, цілісні твердосплавні свердла (тільки ЧПК) [1]. Хардокс 400 фрезерується фрезами зі змінними пластинами, а з Хардокс 500 – витрата на інструмент зростає; свердла P6M5K5 (на малих оборотах з охолодженням; також необхідні заточені свердла).

В [1] описується практичний досвід в обробці сталі Хардокс 450. Оброблявся уступ шириною 50 мм рядково з глибиною 5 мм. Використовувалися фрези Sandvik, Seco, Walter, Iscar. Найкраще себе показала дороговартісна фреза Seco R220.96-0063-08-4A. Але воно того варте. Обробка велася на наступних режимах:  $a_p = 5$  мм,  $n = 800$  об/хв,  $V_f = 260$  мм/хв, без СОЖ. Сплав пластин – TP1500 найкращий. Хардокс 500 свердлиться швидкорізом та твердим сплавом (цілісні від 3 мм, напайні, зі змінними пластинами – для діаметрів від 12 мм).

Для нежорстких верстатів твердосплавний інструмент не рекомендується. При використанні швидкорізу вібрації кришать крайку, тому слід піднімати жорсткість. Швидкоріз рекомендується використовувати легований кобальтом, наприклад P6M5K5, або зарубіжний аналог HSS-Co. Свердла бажано застосовувати з потовщеною серцевиною та малим кутом нахилу гвинтових канавок.

Практичне застосування сталей типу Хардокс.

Сталь Хардокс 450 за своїми характеристиками незмінно перевершує м'яку сталь марок S235, S355. Саме тому вона служить стандартним матеріалом для виробництва зносостійкого обладнання, що використовується у важких умовах експлуатації. Підвищена твердість (на 50 одиниць за Брінеллем порівняно зі сталлю Хардокс 400) забезпечує кращу стійкість до деформації та абразивного зносу, а також більш тривалий термін служби обладнання. Додаткова твердість може використовуватися також для зменшення товщини листового матеріалу і ваги обладнання.

Сталь Хардокс 500 здебільшого використовується в промисловому і транспортному машинобудуванні. З неї виробляють: бункери та просіювачі; ковші та робочі елементи наземної та підземної спецтехніки; металоконструкції та частини скіпових підйомників; барабани автозмішувачів і цементовозів; шестерні та зірочки ланцюгових передач; завантажувальні пристрої [4].

В результаті проведених досліджень [9] встановлено, що листовий прокат зі сталей Хардокс товщиною 6,5 мм має такий самий термін служби, як і звичайні конструкційні сталі товщиною листа 80 мм. Перевірки проводилися за однакових умов зносу. Використання сталі Хардокс дає змогу зменшити товщину використовуваного металу більш ніж у 12 разів.

Термін служби виробів зі сталі Хардокс вдвічі довший, ніж у аналогічних виробів зі сталі інших марок з такою ж твердістю. А це означає, що споживачеві не доведеться витратити час і кошти на часту заміну зношених витратних матеріалів або ремонт деталей.

Споживачеві сталі Хардокс дають можливість:

- продовжити термін служби відповідальних вузлів і механізмів;
- зберегти гарний зовнішній вигляд і геометрію деталей;
- зменшити вагу конструкції без шкоди для її надійності.

На сьогоднішній день на ринку немає сталі, яка мала б високу стійкість до абразивного зносу (витримувала б постійне тертя абразивами), не розтріскувалася б від сильних ударів на морозі та забезпечувала б подібний термін служби виробів.

Завдяки високій стійкості до абразивного зносу, сталі Хардокс використовується для виготовлення:

- самоскидних і причіпних кузовів вантажівок, які використовуються для перевезення гірських порід, сільськогосподарської продукції, будівельного сміття та інших матеріалів з підвищеною абразивністю;

- кузовів сміттєвозів, які постійно піддаються не тільки механічним, а й хімічним навантаженням;
- ковшів екскаваторів, лопат бульдозерів і навісного обладнання тракторів, схильного до особливо сильного зносу;
- контейнерів різного призначення, зокрема й для перевезення агресивних речовин;
- конструкцій, які мають бути міцними і водночас легкими.

## 1.2. Загальна характеристика боровмісних сталей

Боровмісна сталь – це сплав заліза з вуглецем та іншими елементами, в який в якості легируючої добавки введений бор [10]. У невеликих кількостях він позитивно впливає на формування мікроструктури сталі і робить метал міцнішим.

Сталі з бором використовуються для виготовлення деталей аграрних і промислових машин: ножів грейдера, гусеничних ланцюгів, дробильних установок, ножів та різальних полотен, плугів, дисків для борони та інших. Щоб машини довше працювали без поломок, такі деталі повинні мати високу міцність, стійкість до ударів і зносостійкість.

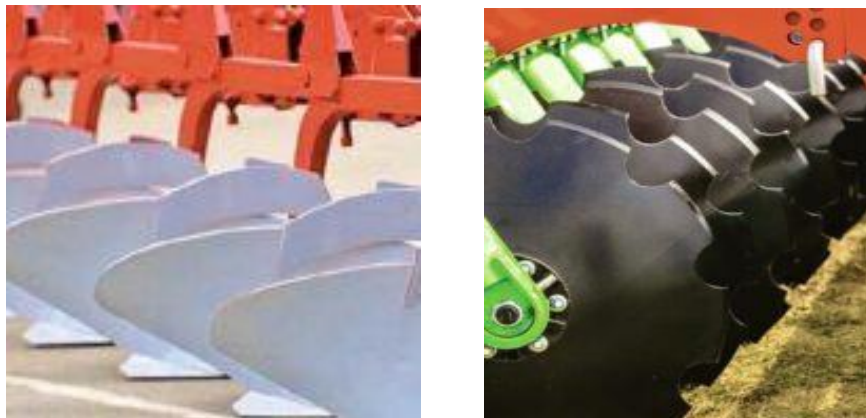


Рис. 1.1 – Приклади використання боровмісних сталей

Переваги сталей з бором:

- висока міцність в загартованому стані;
- формованність – простота виготовлення складних конструкцій і деталей в гарячекатаному стані;

- пластичність і хороша оброблюваність різанням в гарячекатаному стані;
- зносостійкість: загартована деталь прослужить довше;
- в'язкість і стійкість до тріщин;
- гарний опір механічним навантаженням

Першопроходцем серед легованих бором марок сталей для компанії Метінвест стала марка 30MnB5 [10]. Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча почав випускати цю марку в 2015 році. На українському ринку вона замінила «універсальну» радянську ресорно-пружинну сталь марки 65Г, яку певними способами обробки можна було пристосувати і для сільськогосподарської техніки. В той час у Європі низьколеговані боровмісні сталі вже набули широкого використання в аграрному машинобудівництві. Тож щоб замінити деталь імпортової техніки, що вийшла з ладу, потрібна була саме така сталь. До того ж, після загартування і відпуску, деталі набувають підвищеної експлуатаційної стійкості – їх ресурс в два-три рази вище в порівнянні з продукцією зі сталі 65Г. Не дивно, що українські компанії, які тоді перейшли на 30MnB5, сьогодні переросли у флагманів галузі.

Для підприємств, у яких технологія загартування передбачає використання масла замість води, компанія Метінвест в 2017-2018 роках освоїла випуск листа і рулонів зі сталі марки 38MnB5. Це більш міцна і зносостійка сталь, яку можна гартувати в маслі, як і 65Г. Таким чином, компанії можуть перейти на високоміцний метал без великих витрат, мінімально змінивши технологію [10].

Трійку найпопулярніших боровмісних марок сталей від Метінвесту замикає 27MnCrB5. Цей сплав додатково мікролегований хромом і марганцем, що забезпечує ще кращу прогартуємість та більшу міцність при низькому вмісті вуглецю. Прокат із такої сталі особливо зручний для виготовлення деталей, які потрібно зварювати.

### 1.3. Сталь 30MnB5 для відпуску та загартування. Вимоги нормативної документації

30MnB5 – це конструкційна низьколегована боровмісна сталь для відпуску та загартування, призначена для виготовлення виробів і різноманітних деталей, які після термообробки мають високу міцність, зносостійкість та опір великим механічним навантаженням.

Виробництво сталі марки 30MnB5 регламентується європейським (EN 10083-3) та міжнародним стандартом (BS EN ISO 683-2). В Україні гарячекатаний прокат, легований бором, в тому числі і сталь марки 30MnB5, виробляється за аналогічним стандартом – ДСТУ EN 10083-3.

У таблиці 1.3 наведено хімічний склад сталі 30MnB5 згідно ДСТУ EN 10083-3.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад сталі 30MnB5 за ДСТУ EN 10083-3, %:

C	Si	Mn	P	S	B
0,27-0,33	≤ 0,4	1,15-1,45	≤ 0,025	≤ 0,015	0,0008-0,0050

Механічні властивості сталі марки 30MnB5 після гартування і відпуску за режимам, що рекомендовані ДСТУ EN 10083-3, наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Механічні властивості сталі 30MnB5 після гартування і відпуску

для товщини прокату ≤ 8мм					8 мм < для товщини прокату ≤ 20 мм				
Межа плинності не менше		Межа міцності		Відносне подовження не менше	Межа плинності не менше		Межа міцності		Відносне подовження не менше
МПа	кгс/мм <sup>2</sup>	МПа	кгс/мм <sup>2</sup>		МПа	кгс/мм <sup>2</sup>	МПа	кгс/мм <sup>2</sup>	
800	82	950-1150	97-117	13	650	66	800-950	82-97	13

За ДСТУ EN 10083-3 проведення термічної обробки даної сталі рекомендується за наступним режимом:

1. загартування в інтервалі температур 860-900 °С;

2. гартувальне середовище – вода;
3. відпуск в інтервалі температур 400-600 °С.

#### **1.4. Вплив бору на характеристики боровмісних сталей**

Мікролегування сталей бором є одним із найперспективніших напрямів підвищення якості металу. Це пов'язано з механізмом впливу вільного бору або його сполук (карбіди та нітриди бору) на якісні показники сталі [13]. При цьому слід зазначити, що мікролегування бором конструкційних сталей на підприємствах Метінвесту використовується нечасто. Одна з причин – стереотип думок про механізм впливу бору на якісні показники металу.

Вплив бору на якісні показники сталі зазвичай пов'язують з утворенням нітридів бору, які мають високу температуру плавлення. Карбіди бору належать до дуже міцних хімічних сполук і за твердістю близькі до алмазу.

Що стосується оптимального вмісту бору в сталі, то більшість авторів [15] вважають, що ефективність мікролегування бором залежить від марки сталі та технології її виробництва, зокрема структури позапічної обробки і наявності відділень термічної обробки в прокатних цехах.

На підприємствах компанії Метінвест, обладнаних сучасними засобами позапічної обробки УКП і VD (наприклад, МК "Азовсталь") та відділеннями для термічної обробки металу, позитивний вплив бору на якість сталі проявляється більш ефективно [15]. Відсутність технічного оснащення для проведення операцій термічної обробки для гарячекатаного прокату на металургійному підприємстві значно зменшує частку високоякісного металу в сортаменті продукції підприємства.

Згідно з проведеним аналізом [20-24] у вітчизняній і зарубіжній металургії мікролегування (модифікування) бором використовується у

виробництві спеціальних сталей (для підвищення їхніх технологічних і службових характеристик), у виробництві вуглецевої сталі (для підвищення прогартованості без застосування дорогих мікролегованих елементів); у виробництві низьколегованих конструкційних сталей із метою економії дорогих легованих елементів (Mo, Ni, Cr) без погіршення механічних і службових властивостей.

Особливий інтерес викликає вплив бору на структуру низьковуглецевих сталей із вмістом вуглецю 0,02-0,03 % [24], у яких завдяки мікролегуванню бором вдалося отримати структуру нижнього бейніту і створити трубну сталь класу міцності X120 [20].

Використання бору дає змогу підвищити прогартовуємість металу, знизити ефект старіння і підвищити жароміцність сталі (за рахунок зміцнення меж зерен нітридами бору).

При виплавці мало- і середньовуглецевої сталі особливістю боровмісних сталей є їх висока пластичність, а також сприятливе співвідношення пластичних і міцнісних властивостей [20-24].

Застосування бору, поряд з іншими мікролегуєчими елементами, відкриває широкі можливості для отримання низьколегованих сталей, експлуатаційні характеристики яких у багатьох випадках не тільки не поступаються, а й перевершують рівень властивостей сталей, отриманих із застосуванням традиційної системи легування.

Нині немає чіткої загальновизнаної теорії, яка могла б пояснити теорії механізм впливу бору на якісні показники металу. На думку більшості дослідників основною відмінною особливістю бору є висока поверхнева активність і, відповідно, здатність впливати на розмір і стан границь зерен.

Багато вчених розцінюють бор як інтенсифікатор (модифікатор) впливу інших елементів на прогартовуємість, а не як самостійний легувальний елемент [22, 23]. На їхню думку, цей вплив більшою мірою залежить від вмісту в металі інших елементів. Для різних типів сталі та

систем легування вплив бору різний і пояснюється особливостями будови атомів бору. При цьому практично всі дослідники підкреслюють, що сприятливий вплив бору на технічні характеристики (насамперед на прогартуємість) проявляються лише в тих сталях, що пройшли термомеханічну обробку.

У процесах термічної обробки і контрольованої прокатки введення бору сприяє зниженню хімічної неоднорідності, подрібненню стовпчастих кристалів у безперервнолитій заготовці та формуванню дрібнодисперсної структури.

Внаслідок високої температури плавлення бору  $2027\text{ }^{\circ}\text{C}$  і його сполук (нітриди бору мають температуру плавлення  $2730\text{ }^{\circ}\text{C}$ , карбіди -  $2345\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) він утворює додаткові центри кристалізації та подрібнює структуру металу. У процесах термомеханічної обробки та контрольованої прокатки ці частинки закріплюють границі зерен аустеніту і тим самим стримують їх ріст. Ефект стабілізації переохолодженого аустеніту досягається за значно менших концентрацій бору, ніж вуглецю, і менших швидкостях охолоджень від температур під загартування [23, 24].

Усі боровмісні сталі мають дрібнозернисту структуру. Для більшості низьколегованих конструкційних сталей властивості металу залежать від його мікроструктури. Разом з тим, на думку С.М. Вінарова, вплив бору на якість сталі, в тому числі на прогартуємість, не завжди залежить від його впливу на розмір зерна. Тому, при оцінці ефективності мікролегування бором пропонують порівнювати якісні показники боровмісних сталей і такої ж сталі (аналогічного хімічного складу) без бору. На думку М.П. Брауна, бор є одним із найефективніших мікролегуючих елементів. При цьому слід зазначити, що позитивний вплив бору як мікролегуючої добавки реалізується тільки за рахунок розчиненого бору, а не в складі неметалевих включень.

За допомогою наявних аналітичних методів неможливо продиференціювати загальний та вільний (розчинений) вміст бору. При використанні хімічного методу можна відокремити розчинну і нерозчинну в кислотах частину бору. Однак це не є маркером для ухвалення рішення щодо технології борування сталі різного призначення. Вплив бору пов'язаний з особливостями кристалічної будови атома, з його здатністю утворювати твердий розчин впровадження та високою поверхневою активністю.

Що стосується оптимального вмісту бору в сталі, то він залежить від системи легування сталі. Встановлено позитивний вплив бору (у кількості 0,001-0,003 %) на прогартовуємість і стійкість сталі проти міжкристалітної корозії – МКК.

Корозійностійкі сталі, леговані бором, широко використовуються в атомній енергетиці завдяки високій стійкості до МКК. Остання визначається концентрацією бору на границях зерен. На прикладі сталі 02X17H15P показано [25], що при вмісті бору понад 0,003 % негативний вплив на стійкість до МКК пов'язаний з утворенням вторинних боридів – надлишкових фаз у структурі сталей.

Найбільш досліджено вплив бору на прогартовуємість сталі. Прогартовуємість – це здатність сталі набувати високої твердості на різну глибину. При цьому механізм такого впливу до кінця ще не вивчений.

Відомо, що збільшення прогартованості досягається за рахунок розчинного бору, який концентрується на границях зерен і перешкоджає утворенню зародків фериту.

На думку автора роботи [25], вплив бору на прогартовуємість ґрунтується на здатності гальмувати перетворення аустеніту на ферит і утворювати більш тверді фази – бейніт і мартенсит.

При більш високому вмісті бору (понад 0,003 %) його концентрація перевищує межу розчинності в  $\alpha$ -залізі – 0,002 %. На межах

утворюються великі карбіди бору, що сприяють утворенню фериту, і прогартовуємість знижується. Для забезпечення максимального ефекту прогартованості при вмісті бору 0,003 % сталь повинна містити 0,02-0,05 % алюмінію і 0,02-0,05 % титану [26].

Вплив бору на прогартовуємість залежить від вмісту азоту, вуглецю та інших елементів впровадження. Раніше встановлено, що в присутності азоту вплив бору на прогартовуємість різко знижується. З підвищенням вмісту вуглецю ефект прогартованості також знижується, а при  $[C] > 0,9$  % практично відсутній.

У середньовуглецевій (0,3-0,4 % C) низьколегованій сталі присутність незначних добавок бору (0,002-0,004 %) значно підвищує прогартовуємість. Цей ефект давно використовують за кордоном. За умови однакової прогартовуємісті мікролегування бором дає змогу знизити витрату більш дорогих легувальних елементів. У Німеччині сталі, леговані бором, типу 32CrV4 застосовуються для виготовлення болтів [26].

У низьколегованих сталях підвищення вмісту бору понад 0,005-0,01 % робить сталь малопластичною та червоноламкою.

Червоноламкість пояснюють наявністю легкоплавкої потрійної евтектики, що складається з оксикарбідів бору різного складу на основі FeB з  $T_{пл} = 1175$  °C. Водночас відомо, що високий вміст бору (у кількості 0,004-0,007 %) пригнічує процес старіння за рахунок утворення нітридів старіння за рахунок утворення нітридів бору [26]. Механізм такого впливу досить вивчений.

Відомо, що дія вільного азоту погіршує пластичні властивості металу і викликає ефект старіння. Мікродобавки бору, зв'язуючи азот у нітриди, зменшують імовірність розвитку процесів старіння. Бор виводить азот (а також вуглець) із кристалічної решітки заліза і знижує ступінь зміцнення металу. Тому цей ефект залежить від вмісту вуглецю у сталі. У високовуглецевій (0,7-0,9 % C) кордовій

сталі рекомендують забезпечити співвідношення В/Н менше 0,4, а в низьковуглецевій сталі – катанці оптимальне співвідношення В/Н = 0,8 [26].

У зв'язку з цим, для мінімізації процесу старіння низьковуглецевої напівспокійної сталі з вмістом вуглецю 0,06 % у металі має міститися не менше 0,005-0,01 % бору, а у високовуглецевій сталі – 0,0025 %.

Здатність інтенсивно змінювати структуру сталі при прискореному охолодженні металу робить бор обов'язковим компонентом багатьох високоміцних низьколегованих сталей і є передумовою зниження в них вмісту нікелю, молібдену та інших легуючих елементів.

Для більшості легувальних елементів позитивний вплив на властивості сталі пропорційний кількості добавки, що вводиться. Бор же істотно підвищує якість металу вже при введенні його у кількості 0,001-0,01 %. При такому вмісті вплив бору на прогартовуємість та в'язкість низько- і середньолегованих сталей відповідає ефекту легування хромом, марганцем, молібденом або нікелем із вмістом їх у 100-300 разів більшим за домішки бору [27].

У деяких літературних джерелах повідомляється, що вплив 0,001-0,0025 % бору еквівалентна впливу  $1,33 [\text{Ni}] + 0,31[\text{Cr}] + 0,4 [\text{Ni}]$ , а вплив 0,002 % бору на прогартовуємість сталей рівнозначна впливу  $1,5 [\text{Ni}]$  [23].

Висока активність бору щодо кисню й азоту дає змогу використовувати його в нестаріючих і корозійностійких сталях. Вміст бору у них становить 0,002-0,005 %.

Найважливішими передумовами застосування бору є його дешевизна, доступність, екологічна безпека і, головне, вкрай малий необхідний вміст у сталі. Літературних огляд даних про рекомендований вміст бору в металі свідчить, що він перебуває в межах 0,0005-0,005 %.

### 1.5. Двофазні ферито-мартенситні сталі

Двофазні сталі належать до покращених високоміцних сталей та були розроблені для підвищення міцності та оброблюваності тиском з покращеною здатністю до поглинання енергії. Відомо, що гартування в міжкритичних температурах формує ферито-мартенситну мікроструктуру і покращує механічні властивості. [6] Застосування двофазних сталей в автомобільній промисловості дозволило зменшити товщину без втрати формостійкості або здатності поглинати енергію при ударі. Двофазні сталі активно розвивалися у 80-х роках, але їх розвиток був обмежений високими виробничими витратами. Сьогодні завдяки сучасним технологічним досягненням можна досягти ефективного виробництва цих сталей за прийнятною вартістю, і вони широко використовуються в автомобільній промисловості для виготовлення структурних компонентів.

Мікроструктура двофазних сталей складається з часток мартенситу, оточених феритною матрицею. Може бути в наявності невелика кількість бейніту, перліту та/або залишкового аустеніту. Мартенситна фаза підвищує міцність, в той час як феритна складова забезпечує відмінну пластичність. Коли сталь навантажується, деформація концентрується у феритній фазі, отримуючи високу швидкість деформаційного зміцнення. Ця властивість, а також гарне відносне подовження, що мають ці сталі, дає межу міцності набагато вищу, ніж у звичайних сталей з подібною межею плинності.

Для пояснення поведінки двофазних сталей було запропоновано багато моделей. [6] Механічні властивості контролюються багатьма факторами, такими як об'ємна частка мартенситу і фериту, вміст вуглецю в мартенситній фазі, розмір зерна мартенситу та фериту, а також міцність обох фаз, на яку дуже впливає хімічний склад сталі.

Підвищення міжкритичної температури збільшує частку утвореного аустеніту, який під час швидкого охолодження

перетворюється на мартенсит, підвищуючи твердість та міцність. Однак існує баланс між двома протилежними ефектами: за низької частки мартенситу вміст вуглецю в цій фазі високий, тоді як зі збільшенням частки вміст вуглецю зменшується. Від вмісту вуглецю в мартенситі залежить твердість фази, а значить і кінцеві властивості матеріалу. [7]

Відомо, що існує діапазон фракцій мартенситу (35-50%), в якому механічні властивості двофазного сплаву є оптимальними, що пов'язано з балансом між фракцією мартенситу і твердістю обох фаз. Склад також визначає можливість отримання подвійної структури різного діаметру або товщини та технологічні аспекти, такі як зварюваність. Незважаючи на велику кількість інформації, все ще тривають дискусії щодо еволюції механічних властивостей цих сталей з вмістом вуглецю.

Метою роботи [6] було дослідження впливу вмісту вуглецю на мікроструктуру та механічні властивості двофазних сталей, отриманих зі звичайних конструкційних сталей. Для досягнення цих цілей використовувалися прутки з чотирьох різних звичайних вуглецевих сталей з номінальним вмістом вуглецю від 0,05 до 0,35 %. Досліджувані матеріали – це конструкційні сталі (ATR 500, AL220, AND 420S та ADN 420), які широко використовуються в будівельній галузі.

Для кожної проаналізованої сталі було визначено хімічний склад за допомогою оптичної емісійної спектроскопії та критичні температури  $A_{c1}$  та  $A_{c3}$  за допомогою лінійної термічної дилатометрії зі швидкістю нагріву  $15^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ . На основі отриманих результатів для зразків кожного матеріалу було проведено термічну обробку при різних міжкритичних температурах. Час витримки при температурі становив 30 хвилин з подальшим гартуванням у воді, як показано на рисунку 1.2. Через вплив вуглецю на прогартуємість, максимальна кількість мартенситу, яка може утворитися рівномірно по всьому перерізу, пов'язана з хімічним складом.

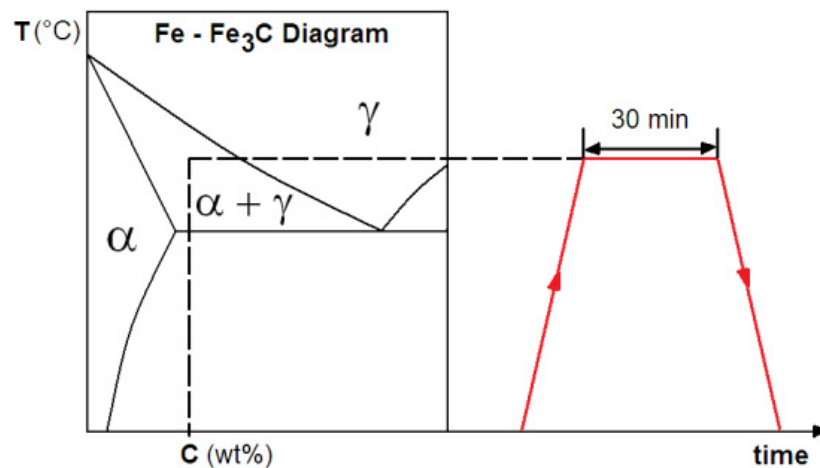


Рис. 1.2 – Міжкритична термічна обробка (МТО), що застосовується для отримання двофазних сталей.

Зі сталевих прутків після міжкритичної термічної обробки були отримані двофазні сталі – ферито-мартенситні мікроструктури з об'ємною часткою мартенситу від 23 до 96% для матеріалів з різним вмістом вуглецю. Твердість, границя плинності та межа міцності при розтягуванні зростали зі збільшенням об'ємної частки мартенситу та вмісту вуглецю. Відношення напружень було високим (1,55-2,25) у всіх випадках, досягаючи максимальних значень при 40-50% вмісту мартенситу. Відносне подовження до руйнування зменшувалося зі збільшенням вмісту вуглецю, хоча еволюція з фракцією мартенситу показує ту ж тенденцію, за винятком сталі з вмістом С (0,20%) сталі, яка демонструє збільшення відносного подовження зі збільшенням частки мартенситу, при  $M > 50\%$ . Розмір феритного зерна також може впливати на отримані властивості.

В результаті дослідження [6] встановлено, що для двофазних сталей з низьким вмістом вуглецю (0,08 і 0,11% С) об'ємна частка мартенситу має більший вплив на відносне подовження до руйнування, що пояснюється зменшенням вмісту вуглецю в мартенситі зі збільшенням його частки. Найкраще поєднання механічних

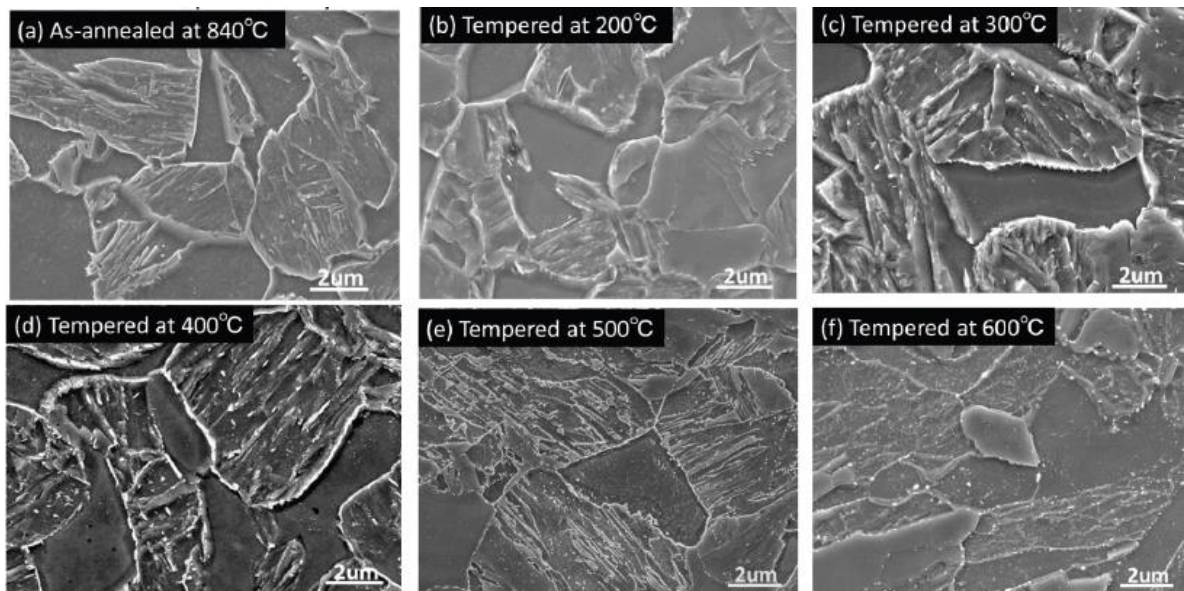
властивостей в досліджуваних двофазних сталях отримано при вмісті вуглецю від 0,1 до 0,15% та 50% мартенситу.

### **1.6. Вплив термообробки на механічні властивості двофазних сталей**

У роботі [5] досліджено зміну мікроструктури та механічних властивостей при відпуску низьковуглецевої двофазної сталі, що складається з фериту та мартенситу. Аналіз мікроструктури показав, що процес відпуску привів до осадження карбідів і огрубіння мартенситних структур. Нанотвердість кожної фази (мартенситу та фериту) зменшувалася з підвищенням температури відпуску. Границя міцності на розтяг мала лінійну залежність від співвідношення нанотвердості мартенситу і фериту. Рівномірне подовження спочатку не змінювалося при відпуску при температурі нижче 400 °C, але потім зменшувалося при відпуску при температурі вище 400 °C зі зменшенням відношення нанотвердості. Зроблено висновок, що відношення нанотвердості може бути хорошим параметром для контролю механічних властивостей двофазних сталей.

У даній роботі [5] двофазну сталь, що складається з мартенситу і фериту, відпускали при різних температурах від 200 до 600 °C і досліджували зміни мікроструктури та механічних властивостей за температурою відпуску.

Мікроструктури, які були отримані за допомогою скануючого електронного мікроскопу, зображено на рис.1.3.



а) – після міжкритичного відпалу, в) – після відпуску при 200 °С, с) – після відпуску при 300 °С, d) – після відпуску при 400 °С, е) – після відпуску при 500 °С f) – після відпуску при 600 °С

Рисунок 1.3 – Зображення мікроструктур зразків, загартованих при 840 °С, а потім відпущених при різних температурах

Основні результати роботи:

- Відпуск привів до осадження карбідів та огрубіння структури мартенситу. Висловлено припущення, що дрібнодисперсні карбіди в зразках, загартованих нижче 300 °С, закріплюють рухомі дислокації, що призводить до незначного збільшення границі міцності на 0,2%.

- Значення нанотвердості мартенситу і фериту зменшуються з підвищенням температури відпуску. Монотонність границі міцності на розрив межа міцності на розрив монотонно зменшувалася зі зменшенням співвідношення нанотвердості мартенситу і фериту. мартенситом і феритом (M/F). З іншого боку, тенденцію до рівномірного подовження можна розділити на дві області. В області I, де відношення твердості (M/F) менше 1,34 (що відповідає температурі відпуску вище 400°C), рівномірне видовження збільшується зі зменшенням відношення нанотвердості. На противагу цьому, рівномірне видовження

не залежало від відношення нанотвердості в області II ( $M/F > 1,34$ , що відповідає температурам відпуску нижче  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

### **1.7. Аналіз отриманих даних і постановка задачі дослідження**

Після опрацювання літературних джерел зрозуміло, що для виробів, які працюють з ударними навантаженнями, дуже важливо сформулювати такий комплекс механічних характеристик, у якому одночасно досягається високий рівень міцності, відносного подовження та ударної в'язкості.

Зазвичай, такий комплекс формують шляхом використання гартування з аустенітного стану с наступним відпуском в інтервалі  $400\text{--}650\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура та тривалість відпуску підбираються експериментально, спираючись на результати механічних випробувань.

Тож, подальший пошук шляхів покращення комплексу властивостей досліджуваного матеріалу спирався на наступні припущення. Потенційно підвищити пластичність мартенситних структур після гартування можливо за рахунок:

1. Підвищення вмісту залишкового аустеніту в структурі після гартування за рахунок підвищення температури нагріву під гартування. Досліджувана сталь містить підвищену концентрацію марганцю, що робить аустеніт більш стабільним, але одночасно, марганець сприяє зростанню аустенітного зерна, що може знизити ударну в'язкість

2. Формування дуальної ферито-мартенситної структури за рахунок неповного гартування з температур нижче  $A_{c3}$ . Присутність доевтектоїдного фериту у структурі після гартування може підвищити ударну в'язкість, але одночасно знижує міцнісні характеристики.

Таким чином, завданням даної роботи є перевірка вищезазначених гіпотез, а саме:

- встановлення залежності характеристик міцності та пластичності сталі 30MnB5 від режимів термічної обробки;

- визначення ефективності термічної обробки в залежності від товщину прокату;
- дослідження зміни структури сталі в ході експериментальних режимів її обробки;
- обґрунтування режиму гартування сталі, який зможе забезпечити необхідний комплекс характеристик міцності, пластичності та високого опору до ударних навантажень.

## 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Матеріали дослідження

Дослідження проводилося на зразках гарячекатаного прокату зі сталі марки 30MnB5 товщиною 3,0 мм, 5,0 мм, 7,0 мм та 8,0 мм виробництва ПАТ «Запоріжсталь».

Заготовки для виготовлення зразків для проведення випробувань та досліджень відбиралися в ЦХП, відділення №3. Їх розміри становлять:

для випробувань на розтяг – 360x40 мм;

для випробувань на ударну в'язкість – 70x25 мм;

для випробувань на твердість – 200x40 мм

для дослідження мікроструктури – 40x40 мм.

Зразки (рис. 2.1, 2.2, 2.3) для проведення дослідних випробувань виготовлялися на металообробних фрезерувальних та точильних верстатах з обов'язковим використанням охолоджуючої емульсії.



Рис. 2.1 – Заготовки, з яких виготовляються зразки для випробувань



Рис. 2.2 – Підготовлені зразки для випробування на розтяг



Рис. 2.3 – Зразок для випробування на ударну в'язкість з V-концентратором



Рис. 2.4 – Завантаження зразків у піч при проведенні термічної обробки

## 2.2. Методики експериментальних досліджень

Спільно з керівником проекту було визначено режими термічної обробки та сплановано проведення експериментів для сталі марки 30MnB5 всіх відібраних товщин. То ж для написання даної роботи проводилося декілька комплексів випробувань, а саме:

1. На зразках сталі 30MnB5 у стані постачання проведено:

- механічні випробування на розтяг;
- випробування на твердість;
- випробування на ударну в'язкість при температурі 20 °С;
- металографічний контроль.

2. Загартування на залишковий аустеніт при 920 °С. Термічна обробка проводилася з розрахунку 1,5 хв./мм перерізу заготовки, середовище для охолодження – вода. Потім частина зразків досліджувалася на:

- механічні випробування на розтяг;

- випробування на твердість;
- випробування на ударну в'язкість при температурі 20 °С;
- металографічний контроль,

а частина зразків піддавалася відпуску при температурах 500 °С та 400 °С, після чого також досліджувалася на:

- механічні випробування на розтяг;
- випробування на твердість;
- випробування на ударну в'язкість при температурі 20 °С;
- металографічний контроль.

3. Загартування в міжкритичному інтервалі температур при 790 °С. Термічна обробка проводилася з розрахунку 1,5 хв./мм перерізу заготовки, середовище для охолодження – вода. Потім частина зразків досліджувалася на:

- механічні випробування на розтяг;
- випробування на твердість;
- випробування на ударну в'язкість при температурі 20 °С;
- металографічний контроль,

а частина зразків піддавалася відпуску при температурах 500 °С та 400 °С, після чого також досліджувалася на:

- механічні випробування на розтяг;
- випробування на твердість;
- випробування на ударну в'язкість при температурі 20 °С;
- металографічний контроль.

Механічні випробування на розтяг проводилися відповідно ДСТУ EN 10002-1 «Випробування на розтяг. Частина 1. Метод випробування за кімнатної температури» на універсальній випробувальній машині INSTRON 5585.

Твердість зразків сталі 30MnB5 до проведення термічної обробки вимірювалася за методом Брінелля згідно ДСТУ ISO 6506-1 «Визначення твердості за Брінеллем. Частина.1 Метод випробування»,

твердість зразків після проведення термічної обробки – за методом Роквелла відповідно до ДСТУ ISO 6508-1 «Визначення твердості за Роквеллом. Частина 1. Метод випробування». Обладнання, на якому проводилось випробування на твердість, це – стаціонарні твердоміри Брінелля та Роквелла.

Випробування сталі 30MnB5 на ударну в'язкість при температурі 20 °C здійснювалося за ДСТУ ISO 148-1 «Випробування на ударний вигин за Шарпі на маятниковому копрі».

Після випробувань на ударну в'язкість зразки передавалися на підготовку до мікроструктурного дослідження. Шліфування проводилося на шліфувально-полірувальній машині Лесо GPX-300 з використанням шліфувального паперу різної абразивності, полірування – з використанням спеціального полірувального фетру та алмазних суспензій для полірування. Травлення зразків сталі 30MnB5 здійснювалося у 3%-розчині  $\text{HNO}_3$  та розчинника (технічного спирту).

Дослідження мікроструктури зразків сталі 30MnB5 проводили на оптичному металографічному мікроскопі Olympus GX-51 згідно ДСТУ 8972:2019 «Сталі та сплави. Методи виявлення та визначення величини зерна», ДСТУ 8974:2019 «Металографічний метод оцінювання мікроструктури листів та стрічки» при збільшенні  $\times 100$ ,  $\times 200$ ,  $\times 500$ .

Загартування та відпуск дослідних зразків сталі марки 30MnB5 проводилося в термічних печах Контрольній експрес-лабораторії Центру з випробувань та атестації продукції комбінату ПАТ «Запоріжсталь».

### 3. ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ АНАЛІЗ

#### 3.1. Технологія виробництва гарячекатаного прокату зі сталі марки 30MnB5

За Програмою робіт [34] ТУ ПАТ «Запоріжсталь» «З виготовлення дослідної партії гарячекатаних листів зі сталі марки 30MnB5» було проведено цикл робіт по налагодженню та відпрацюванню технології виробництва даної марки.

Спеціалістами Контрольної експрес-лабораторії Центру з випробувань та атестації продукції комбінату здійснювався супровід даної роботи в частині пробопідготовки, металографічного контролю, проведення механічних випробувань на розтяг, вимірювання твердості, випробування на ударну в'язкість дослідних та контрольних зразків.

В мартенівського цеху ПАТ «Запоріжсталь» було виплавлено дві плавки сталі марки 30MnB5 по 2 ковша – №061(2)2175 та №021(2)2146. Шихтування плавки №061(2)2175 проводили із застосуванням 17,0т бою електродвигунів (з розрахунку внесення 0,996 тони міді в завалку). Додаткова кількість міді в кількості 0,61 тони вносилася під час доведення двома порціями (0,4т і 0,21т), на наступних плавках мідь, як легуючий елемент, не використовувалась. Розкислення металу в печі проводили 45% феросиліцієм у кількості 1,0т на плавці №061(2)2175 та 0,5т на плавці №021(2)2146.

Витрата матеріалів у ківш наведена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Витрата матеріалів у ківш

№ п/п	Номер плавки	Ферросилико марганец		Al чушковой		Ферробор		Коксик в металл		Коксик в шлак	
		т/ковш	кг/т	кг/ковш	кг/т	кг/ковш	кг/т	кг/ковш	кг/т	кг/ковш	кг/т
1	0612175	5,2	22,999	120	0,531	115	0,509	150	0,663	50	0,221
	0622175	5,6	22,923	120	0,491	115	0,471	150	0,614	50	0,205
2	0212146	5,3	21,371	110	0,444	115	0,464	0	0,000	40	0,161
	0222146	5,3	23,114	110	0,480	115	0,502	0	0,000	40	0,174
<i>Среднее</i>		<i>5,4</i>	<i>22,602</i>	<i>115</i>	<i>0,486</i>	<i>115</i>	<i>0,486</i>	<i>75</i>	<i>0,319</i>	<i>45</i>	<i>0,190</i>

Додаткову кількість феросилікомарганцю 0,4т ( $5,2+0,4=5,6$ т) у ківш плавки №0622175 присадили після закінчення сходу металу внаслідок висипання при віддачі з бункера, після чого метал додатково перемішували аргоном протягом 4 хвилин.

Під час розливання плавки застосовували шлакоутворювальна суміш СК-В5-Р (з витратою 36 кг/зливок) і утеплювальна СПУ (з витратою 18 кг/зливок). Відливання зливок проводили у виливниці 2Б типу. Всього було відлито 58 зливок (1 зливок відлитої зверху) – 57 нормативної висоти (2450 мм), 1 зливок висотою 2000 мм.

Утеплення зливок на плавці №061(2)2175 здійснювали за чинною технологією. На плавці №021(2)2146 присадка утеплювальної СПУ на дзеркало зливок проводиться в 2 етапи: перша порція (один мішок 9 кг) присаджувалася відразу після відливання зливка, другий мішок присаджують в інтервалі 10-15 хвилин після закінчення відливання піддону.

Витримка рухомого складу під розливним майданчиком після закінчення розливання – 30 хвилин. Час від закінчення розливання до початку стриперування становив 2,33 години на плавці №061(2)2175 та 3 години – на плавці №021(2)2146.

Хімічний аналіз ковшової проби дослідних плавки сталі 30MnB5 представлений у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Хімічний аналіз ковшової проби дослідних плавки

№ п/п	Номер плавки	C	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Si	Ti	Al	Mo	V	B
1	0612175	0,28	1,38	0,018	0,025	0,35	0,01	0,03	0,365	0,001	0,022	0,002	0,006	0,005
	0622175	0,28	1,15	0,018	0,027	0,36	0,02	0,03	0,297	0,001	0,011	0,001	0,005	0,005
2	0212146	0,27	1,36	0,022	0,024	0,01	0,01	0,05	0,338	0,001		0,001	0,006	0,005
	0222146	0,27	1,26	0,021	0,024	0,01	0,01	0,05	0,344	0,001		0,001	0,005	0,005

Виробництва слябів зі сталі 30MnB5 у відділенні слябінгу. 1-й етап. Зливки плавки №0612175 та №0622175 сталі марки 30MnB5 передано з мартенівського цеху до нагрівальних колодязів відділення слябінг у

кількості 14-ти і 15-ти зливків 2Б типу загальною вагою 226,1т та 244,3т відповідно.

Нагрівання зливків відбувалося в першій групі нагрівальних колодязів згідно ТІ 226-П.ОЗ-ГЛ-02-2016 за 4-ю групою марок сталі. Зауваження щодо нагрівання зливків були відсутні.

Видача зливків у прокат проводилася по черзі: спочатку плавка №0622175, потім плавка №0612175. Прокатку виконано за режимами 4-ї групи марок сталі за ТІ 226-П.ОЗ-ГЛ-01-2016. Прокатка проводилася головною частиною вперед на розкати перетином 110×1250мм. Під час прокатки дослідних зливків здійснювалося часткове перекриття води (50%), виконували кантування розкатів для очищення від окалини.

На 1-му розкаті було виконано замір геометричних розмірів сляба в гарячому стані – фактичний перетин сляба 102×1280мм, після чого товщина сляба була скоригована.

Вирізку слябів з розкатів проводили в ручному режимі на сляби завдовжки 2000-2200мм (система СБІ замір не виконувала, зважаючи на нестандартні розміри слябів). В процесі вирізання слябів плавки №0622175 відзначено проблеми під час видалення донної обрізки на останньому слябі розкату довжиною 2500-2800мм (через малу довжину сляба розкат розгортало на рольгангу, що вимагало додаткових зусиль під час його подальшого центрування для різку донної частини).

Розкати №4, №5 було отримано зі зниженим донним обрізом (менше нормативу), оскільки отримана донна частина мала довжину 2400мм, було ухвалено оперативне рішення видалити обріз 400мм для отримання сляба мінімальною довжиною 2000мм.

Обріз становив (за Програмою робіт: головний обріз – 10,0-11,0%, донний обріз – 4,0-5,5%):

- на розкатах зливків плавки №0612175 – 11,0-13,3% головний обріз, 4,1-4,2% – донний обріз (на одному розкаті 8,9% - помилкова оцінка фабрикації слябів);

- на розкатах зливків плавки №0622175 – 11,0-13,8% головний обріз, 4,1-4,2% – донний обріз (на 2-х розкатах 2,8% - описано вище, на одному розкаті 12,4% - помилкова оцінка фабрикації слябів).

Під час вирізки слябів для забезпечення додаткової ідентифікації слябів, клеймування виконано за такою схемою: головний сляб – 3 клейма, середні сляби – 2 клейма, донний сляб – 1 клеймо. Додатково на слябах, як індекс, до номера плавки вказувався номер піддону.

Загалом отримано 172 сляба (89 слябів плавки №0622175 та 83 сляба плавки №0612175).

Усі сляби оперативно передавалися до дільниці термічних печей, складувалися у стопи (зазвичай 5 слябів у стопі) та були залишені для уповільненого охолодження. Кількість слябів по печах: піч №1 – 37 слябів, піч №2 – 75 слябів, піч №4 – 60 слябів.

Для забезпечення площинності, сляби були додатково придавлені зверху вантажем – слябами вуглецевих сталей. Спосіб укладання слябів зображено на рис. 3.2.

Після охолодження до температури 250-300°C сляби видавалися з печей для зачищення поверхневих дефектів. Зачищення слябів дослідних плавок проводилося вогневими різакми на складі слябів: піч №1 – 37 слябів, піч №4 – 60 слябів, піч №2 – 75 слябів.



Рис. 3.2 – Загальний вигляд укладених слябів

Одночасно із зачищенням проводилася прийомка слябів контролерами ВТК УЯ відповідно до «Методики проведення зачистки, огляду та прийомки слябів працівниками ВТК УЯ у відділенні з виробництва слябів ЦГП ПАТ "Запоріжсталь"» та Програмою робіт.

При прийомці слябів було виявлено всього 34 сляби з дефектом "усадка", серед яких з головної частини – 22 шт., середньої – 5 шт., донної – 8 шт. Забраковані сляби згодом були видані в прокат за окремою Програмою робіт.

З урахуванням виявлення браку слябів за дефектами усадочного характеру було підготовлено зміни №1 до Програми робіт «З виготовлення дослідної партії гарячекатаних листів зі сталі марки 30MnB5», де скориговано нормативи головного обрізу в бік збільшення (не менше 17% - за аналогією зі спокійними марками сталі 10, 20).

Виробництва слябів зі сталі 30MnB5 у відділенні слябінгу. 2-й етап.

За підсумками прокатки плавки першого етапу та позитивними результатами прокатки 2-х смуг товщиною 8,0 мм і 6,0 мм з їхнім змотуванням в рулон та подальшим різанням в ЦХП, відділення 3, були, зокрема, внесені коригування у фабрикацію слябів для подальшої їх прокатки та змотування в рулон.

Зливки плавки №0212146 та №0222146 сталі марки 30MnB5 передані з мартенівського цеху в нагрівальні колодязі відділення слябінг у кількості 15-ти та 14-ти злитків 2Б типу загальною вагою 231,7т та 229,3т відповідно.

Нагрівання злиwkів здійснювали в першій групі нагрівальних колодязів згідно ТІ 226-П.ОЗ-ГЛ-02-2016 за 4-ю групою марок сталі. Зауважень щодо нагрівання злитків не було. Видача злиwkів у прокат проводилася по черзі: спочатку плавка №0222146, потім – плавка №0212146.

Прокатку проведено за режимами 4-ї групи марок сталі ТІ 226-П.ОЗ-ГЛ-01-2016. Прокатка проводилася донною частиною вперед на

розкати перетином 140×1250мм. В процесі прокатки дослідних зливків частково перекидали воду (50%), виконувалося часткове кантування розкатів для очищення від окалини (по 4 розкати з кожної плавки).

На 1-му розкаті було виконано замір геометричних розмірів сляба в гарячому стані, перетин склав 143×1280мм.

Вирізку слябів з розкатів виконували в ручному режимі на сляби завдовжки 4200-4700мм. Під час вирізання слябів дослідних плавок труднощів не виявлено.

Обріз становив:

- на розкатах зливків плавки №0212146 склав 17,5-18,5% та 5,0-5,1% - донний обріз;

- на розкатах зливків плавки №0222146 та №022146-3 на ПУ-2 становив 17,7-19,4% та 4,2-4,3% - донний обріз.

За програмою робіт і зміною №1: головна обрізка - не менше 17%, донна обрізка - 4,0-5,5%.

Для забезпечення додаткової ідентифікації слябів клеймування виконано наступним чином: головний сляб – 2 клейма, донний сляб – 1 клеймо. Додатково на слябах, як індекс до номера плавки, вказували номер зливка за прокатом, при цьому сляби плавки №0222146-3 клеймувалися після номера плавки, як 31 та 32.

Загалом отримано 56 слябів (24 сляба пл.0222146, 4 сляба пл.0222146-3 і 28 слябів пл.0212146). Усі сляби оперативно були передані до термічних печей дільниці ад'юстажу, складувалися у стопи та були залишені для уповільненого охолодження. Однак 8 слябів було передано на 4-й склад ад'юстажу для охолодження на повітрі через відсутність місця для посадки в термічні печі.

Кількість слябів по печах: піч №1 – 12 слябів, піч №2 – 18 слябів, піч №4 – 18 слябів.

Для забезпечення площинності сляби були додатково придавлені зверху вантажем – слябами вуглецевих сталей.

Після охолодження до температури 250-300°C сляби були видані з печей для зачищення поверхневих дефектів. Зачищення слябів дослідних плавок проводилося вогневими різачками на складі слябів.

Виробництво гарячекатаного листа сталі зі сталі марки 30MnB5 в ЦГП. 1-й етап.

Прокатка придатних дослідних слябів плавки №0612175 (72 сляба) і плавки №0622175 (66 слябів) у кількості 138 шт. для подальшого переділу на гарячекатаний лист-підкат у ЦГП проводилася в кілька кампаній:

1-а кампанія – сляби-розвідники в кількості 4 шт. на замовлення;

2-а кампанія – сляби в кількості 5 шт. на замовлення;

3-я кампанія – сляби в кількості 15 шт. на замовлення.

Для виготовлення продукції на замовлення метал 1-ї та 3-ї кампаній був переданий на ЗЛМЗ, де проходив остаточне оздоблення та обробку.

Через незадовільні результати випробувань продукції із металопрокату марки 30MnB5 за 2-ми кампаніями прокатки решту металу було знято з призначення прокату на замовлену продукцію (метал 2-ї кампанії прокатки також було знято з призначення на замовлену продукцію).

Прокатка придатних слябів, що залишилися в кількості 114 шт., була проведена за 23 видачі порціями по 5 слябів на товщини 7,5-8,0 мм у листах для потреб сільськогосподарського призначення – умовно 4-та кампанія.

Посадку слябів проводили з підпоркою зі слябів вуглецевих марок сталі розмірами 140-150x1250x2000-2200мм, які під час видачі в прокат йшли на викид.

Нагрівання всіх дослідних слябів перетином 115x1250x2000-2200мм сталі марки 30MnB5 здійснювався в методичній печі №3 за режимами 4-ї групи марок сталі відповідно до ТІ 226-П.ОЗ-ГЛ-2016.

Видача слябів з печей проводилася без особливих зауважень (окремі дослідні сляби випадали на кут до 45°), тривалість перебування слябів на НВП після видачі з печі до подачі в кліть Дуо становила до 0,5 хвилини.

Прокатку слябів сталі марки 30MnB5 проводили за режимами 4-ї групи марок сталі (типу 44, 55, 65Г) відповідно до ТІ 226-П.ОЗ-ГЛ-2016. У чорновій групі клітей НТЛС 1680 проводили з накиданням мітел на передню частину розкату перед клітьями №1-4.

Окалину видаляли за допомогою гідрозбивів №1, 3, 5.

Прокатку дослідних слябів проводили за такими режимами:

1-а кампанія – прокатка слябів-розвідників плавки №0612175 30MnB5 у кількості 4 шт. виконана в ЦГП на НТЛС 1680. За ідентифікацією всі сляби середні.

Фактично виконана прокатка: 2 сляба на смуги розміром 8,0×1250мм, 1 сляба – на смуги розміром 7,5×1250мм та 1 сляб – на смугу розміром 7,0×1250мм.

2-а кампанія – прокатка слябів плавки №0622175 30MnB5 у кількості 5 шт. виконана в ЦГП на НТЛС 1680. За ідентифікацією всі сляби нижні.

Фактично виконано прокатку: 2 сляби на смуги розміром 8,0×1250мм, 2 сляби – на смуги розміром 7,5×1250мм та 1 сляб – на смугу розміром 7,0×1250мм.

3-я кампанія – прокатка слябів плавки №0612175 30MnB5 на НТЛС 1680 проводилася у три видачі, у кожній видачі по 5 шт. Усі сляби мали бути прокатані на смуги розміром 7,5x1250мм. За ідентифікацією всі сляби середні.

Фактично виконано прокатку: 13 слябів на смуги розміром 7,5×1250мм, 1 сляб на смуги розміром 8,0×1250мм і 1 сляб викид.

У другій видачі на другій смузі за 4-ю кліттю підігнуло голову догори, це вимагало додаткових дій для вирівнювання смуги перед

завданням у чистову групу клітей, що призвело до незначного остудження смуги і неможливості прокатати її на товщину 7,5 мм, смуга прокатана з товщиною 8,0 мм. Третій сляб на другій видачі випав на кут – повернення (скидання).

4-а кампанія – прокатка слябів плавки №0612(2)2175 30MnB5 на НТЛС 1680 проводилася в 23 видачі слябів, у кожній видачі по 5 шт. Фактично виконано прокатку: 15 слябів (видачі 1-3) на смуги розміром 7,5×1250мм, 97 слябів (видачі 4-23) – на смуги розміром 8,0×1250мм та 1 сляб – на смугу розміром 8,5×1250мм.

У 6-й видачі на другій смузі перед кліттю FSB підігнуло голову вгору, це вимагало додаткових дій для вирівнювання смуги перед подачею у чистову групу клітей (обрізка переднього кінця), що призвело до незначного остудження смуги та неможливості прокатати її на товщину 8,0 мм, смуга прокатана з товщиною 8,5 мм.

У 12-й видачі, з метою випробування оптимізації процесу виготовлення листового прокату сталі марки 30MnB5 було випробувано прокатку смуг у рулон зі змотуванням на моталці. За вказівкою начальника ЦГП останні 2 смуги від другої видачі прокатані та змотані в рулони: 1 смуга на товщину 8,0 мм (рис. 3.4) і друга смуга на товщину 6,0 мм (рис.3.5). Змотування візуально задовільне.



Рис. 3.4 – Змотування на моталці №3      Рис. 3.5 – Змотування на моталці №6

Рулони були передані для подальшого переділу на лист у ЦХП, відділення 3.

Після виходу смуг із 10-ї кліті смуги шлеперами передавалися на відповідний бічний рольганг. Після охолодження до температури 330-350 °С виконано порізку смуг на мірні довжини (до 6 метрів) із застосуванням вогневого різачка. Час різання кожної смуги становив 9-12 хвилин.

Усі листи промарковані фарбою із зазначенням номера плавки, геометричних розмірів і марки сталі. Додатково після порізки на кожному листі, починаючи з передньої частини смуги, крейдою виконано маркування листа умовним маркуванням – 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5 і т.д. (перша цифра номер смуги з прокатки, друга цифра номер листа з різання). На кожній смузі відрізалися ділянки неповної ширини в головній і хвостовій частині відповідно. Ділянки неповної ширини становили від 100мм до 600мм.



Рис. 3.6 – Приклад маркування порізаних листів зі сталі 30MnB5

На листах працівниками ВТК УЯ та ТУ виконано заміри товщини (по кромці) і ширини листів після порізки (вимоги ДСТУ: по товщині для товщини 5,5 до 7,5 мм – "-0,60/+0,25 мм", для товщини понад 7,5 до 10,0

мм "-0,80/+0,30 мм", допуск за шириною - для ширини понад 1000 мм +30мм):

Таблиця 3.4 – Заміри листів після порізки

дата проката	Плавка	Кол-во выдач	кол-во полос	заданные размеры, мм		факт размеры, мм			
				толщина	ширина	толщина		ширина	
						от	до	от	до
28.04.2022	612175	1	1	7,0	1250	7	7,27	1263	1270
			1	7,5	1250	7	7,75	1263	1270
			2	8,0	1250	7,78	8,17	1263	1268
04.05.2022	622175	1	2	7,5	1250	6,92	7,5	1265	1270
			3	8,0	1250	7,6	8,22	1262	1275
07.05.2022	612175	3	14	7,5	1250	7,3	8,2	1268	1273
				8,0	1250	8,05	8,2	1268	1270

Постачання прокату здійснюється з хімічним складом відповідно до ДСТУ EN 10083-3 та технічними характеристиками за ДСТУ 8429-2015. Механічні властивості – факультативні, з занесенням фактичних результатів у сертифікат. Пов'язано це з тим, що в EN 10083-3:2006 обумовлені механічні властивості сталі марки 30MnB5 у загартованому стані. Можливість загартування листів на комбінаті відсутня.

Від кожної товщини при різанні на стані НТЛС відбиралися карти для вирізки зразків на гільйотинних ножицях ГЛО або в ЦХП, відділення 3, для визначення хімічного складу, механічних властивостей та мікроструктури. Хімічний склад плавки №061(2)2175 як за ковшовою пробою, так і в прокаті, відповідає вимогам ДСТУ EN 10083-3 (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Хімічний аналіз прокату дослідної сталі 30MnB5

проба	Номер плавки	Марка	Химический анализ в процентах								
			C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	B
ковшечая	622175	30MnB5	0,28	1,38	0,365	0,018	0,025	0,03	0,01	0,35	0,005
в прокате	612175	30MnB5	0,23- 0,27	1,38- 1,4	0,33- 0,37	0,016- 0,024	0,021- 0,023	0,02- 0,03	0,01	0,34- 0,35	0,002- 0,003
ковшечая	622175	30MnB5	0,28	1,15	0,297	0,018	0,027	0,03	0,02	0,36	0,005
в прокате	622175	30MnB5	0,26- 0,29	1,11- 1,14	0,29- 0,3	0,017- 0,019	0,022- 0,025	0,03	0,01	0,34- 0,36	0,003- 0,0055
По программе работ ДСТУ EN 10083-3			0,27- 0,33	1,15- 1,45	≤0,4	≤0,035	≤0,035	-	-	≤0,4	0,002- 0,005

Фактичні механічні властивості прокату дослідної сталі марки 30MnB5 представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Механічні властивості прокату дослідної сталі 30MnB5

Цех	Вид	Номер плавки	Марка	Толщина, мм	$\sigma_T$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ ,%	Твердість, НВ
лист								
ЦГП	ГК	612175	30MnB5	7,25	45-46	64	20-23,5	179
ЦГП	ГК	612175	30MnB5	7,5	43-47	60-64	20-24,5	178-187
ЦГП	ГК	612175	30MnB5	8	43,5-50	64-67	21,5-24,5	179-187
ЦГП	ГК	622175	30MnB5	7	38,5-39,5	60-62	23,5-26	179
ЦГП	ГК	622175	30MnB5	7,5	39-39,5	62-63	21,5-22	179
ЦГП	ГК	622175	30MnB5	8	37-43,5	58-61	22-26	179

Твердість – в межах 179-187 НВ.

Результати контролю мікроструктури прокату дослідної сталі марки 30MnB5 представлені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Мікроструктура прокату дослідної сталі 30MnB5

Плавка	марка	толщина	Балл						зерно	полосчатість	обезуглероживание	
			ОС	ОТ	СХ	СП	СН	С				
лист												
612175	30MnB5	7		1-2			1	2-3	9-10; 10-9	16-26	нет	
612175		7,25		1-2			1-2	3	10-9	26	нет	
612175		7,5		1-2			1-2	1-3	10-9	16-26	нет	
612175		8		1-2			1	2-4	9-10	16	нет	
612175	30MnB5	7,5		1-2			1	1-3	10-9; 9-10	16-26	нет	
612175		8		1				1-2	10-9; 9-10	16-26	нет	
612175	30MnB5	7,5		1			2-3	1-2	1	10-9; 9-10	16-26	
612175		7,5		1-2				2	1-2	9-10	06-26	нет
612175		8		2	2		2-3	1-2	2-3	9-10	16-26	нет
622175	30MnB5	8					1-2	2	1	9-10	26	
622175		6	1-2				2	2	3	9-10	26	0,3-0,5%
622175		8	1	1				1		9	36	

Мікроструктура прокату здебільшого має смугастість 1-3-го балів, на переважній кількості зразків відсутнє знеуглецювання (на одній партії 0,3-0,6% товщини). Також відзначені неметалеві включення різного характеру.

## 3.2. Дослідження впливу експериментальних режимів термічної обробки на властивості сталі марки 30MnB5

3.2.1. До проведення експериментальних режимів термічної обробки сталі марки 30MnB5 відібрані зразки були випробувані за схемою, описаною в розділі 2.2. Результати проведених випробувань наведено в табл. 3.8 та табл. 3.9.

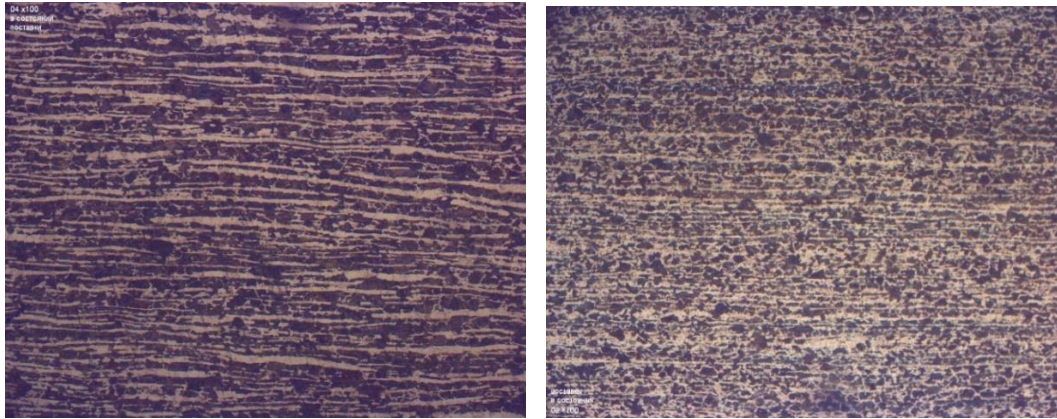
Таблиця 3.8 – Механічні властивості та твердість сталі 30MnB5 до проведення гартування

Партія	Марка	Номинальна товщина, мм	Навантаження при умовній межі плинності, кгс	Навантаження при умовній межі міцності, кгс	Умовна межа плинності, кгс/мм <sup>2</sup>	Межа міцності, кгс/мм <sup>2</sup>	Відносне подовження, %	Твердість, НВ
3-0	30MnB5	3,00	2360	3620	38,0	58	30,0	179
3-0	30MnB5	3,00	2360	3580	38,0	58	30,0	179
5-0	30MnB5	5,00	3560	5700	36,0	57	21,5	179
5-0	30MnB5	5,00	3420	5700	35,0	58	21,5	179
7-0	30MnB5	7,00	4700	8250	33,5	59	21,5	179
7-0	30MnB5	7,00	5100	8250	36,5	59	22,0	187
5421	30MnB5	8,00	5800	10000	36,0	62	23,5	187
3504	30MnB5	8,00	5700	9800	36,0	62	19,5	187

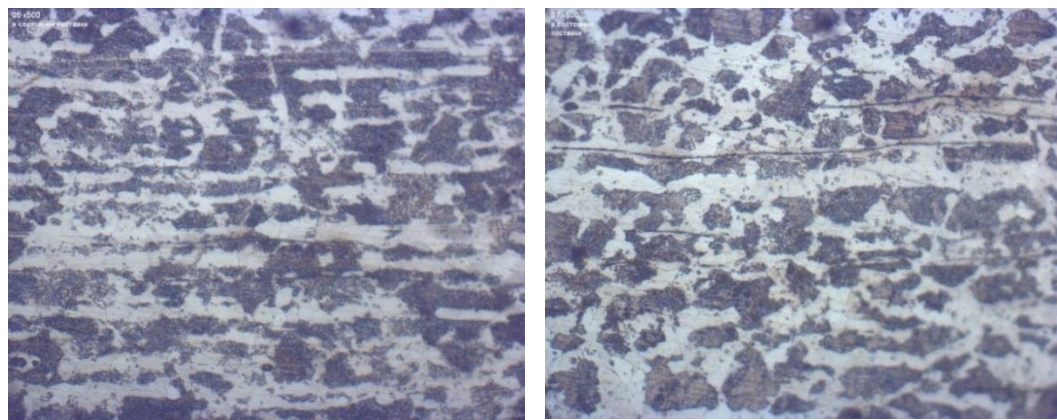
Таблиця 3.9 – Ударна в'язкість сталі 30MnB5 до проведення гартування

Партія	Марка	Номін. товщина, мм	Температура випробування, °С	Робота удару, кгс*м	Ударна в'язкість, кгс*м/см <sup>2</sup>
5--1	30MnB5	5,00	20 °С	2,4	6,0
5--2	30MnB5	5,00	20 °С	2,8	6,9
7--1	30MnB5	7,00	20 °С	2,8	7,0
7--2	30MnB5	7,00	20 °С	2,8	7,0
5421-1	30MnB5	8,00	20 °С	3,0	4,9
5421-2	30MnB5	8,00	20 °С	3,2	5,4
3504-1	30MnB5	8,00	20 °С	3,0	5,0
3504-2	30MnB5	8,00	20 °С	3,0	5,0

Мікроструктура зразків сталі марки 30MnB5 в стані постачання (до проведення термообробок) зображена на рис. 3.7.



а) при збільшенні x100



б) при збільшенні x500

Рис. 3.7 – Мікроструктура сталі марки 30MnB5 в стані постачання (до проведення термічної обробки)

З фото видно, що сталь має ферито-перлітну структуру з чітко виявленою смугастістю. Такий тип структури є типовим для гарячекатаного листового прокату з низько- та середньовуглецевих сталей. Формування такої структури зумовлює формування анізотропії властивостей, але у випадку динамічного навантаження перпендикулярно напрямку смугастості може забезпечити формування підвищеного опору до руйнування.

Далі було проведено термічну обробку зразків сталі марки 30MnB5 за режимами, що описані в [розділі 2.2](#).

3.2.2. Результати механічних випробувань на розтяг, твердість та ударну в'язкість після загартування на залишковий аустеніт при 920 °С наведені в таблиці 3.10 та 3.11.

Спостерігалось наступне – на більшості загартованих зразків межа плинності, а на деяких зразках – і межа міцності, не визначилися при випробуванні, оскільки висока твердість поверхні після гартування перешкоджає ефективному закріпленню відносно тонкого зразка у захватах випробувальної машини.

Таблиця 3.10 – Механічні властивості та твердість сталі 30MnB5 після проведення гартування при 920 °С

Партія	Марка	Номінальна товщина, мм	Навантаження при умовній межі плинності, кгс	Навантаження при умовній межі міцності, кгс	Умовна межа плинності, кгс/мм <sup>2</sup>	Межа міцності, кгс/мм <sup>2</sup>	Відносне подовження, %	Твердість, HRC
33-1	30MnB5	3,00	-	-	-	-	-	49
33-2	30MnB5	3,00	-	-	-	-	-	49
55-1	30MnB5	5,00	-	-	-	-	-	51
55-2	30MnB5	5,00	-	-	-	-	-	49
77-1	30MnB5	7,00	-	19950	-	144	0,7	50
77-2	30MnB5	7,00	-	19300	-	139	2,1	49
5421	30MnB5	8,00	-	16050	-	99	1,3	48
3504	30MnB5	8,00	-	18400	-	116	1,3	52

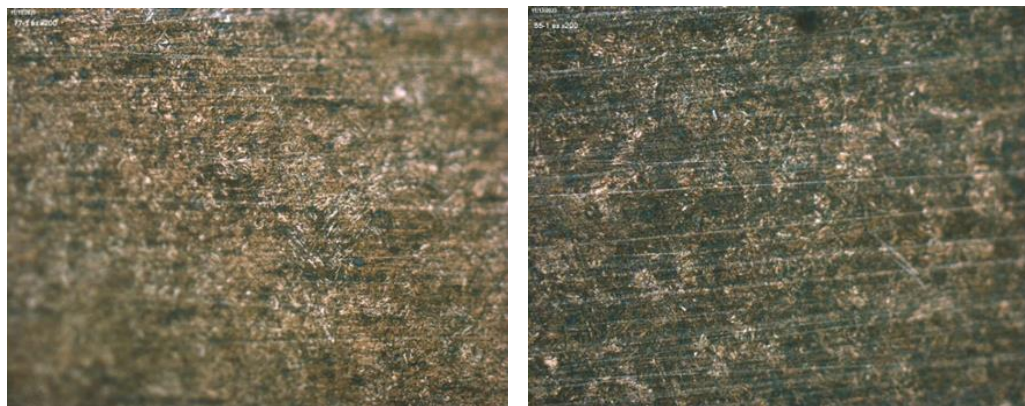
При даній термічній обробці сталі 30MnB5 отримано показник відносного подовження 0,7-2,1 %, що свідчить про дуже низьку пластичність металу. А ось показник твердості значно високий – 48-52 HRC.

Таблиця 3.11 – Ударна в'язкість сталі 30MnB5 після проведення гартування при 920 °С

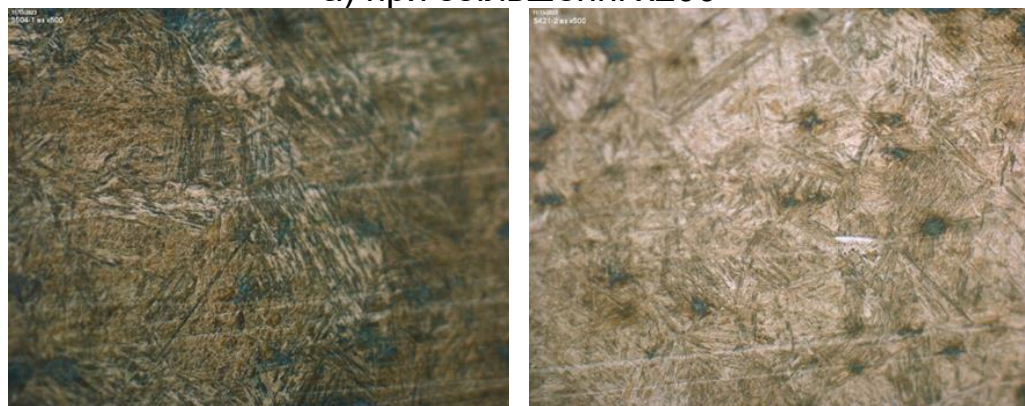
Партія №	Товщина прокату, мм	Температура випробування, °С	Робота удару, кгс*м	Ударна в'язкість, кгс*м/см <sup>2</sup>
55-1	5,00	20°С	1,8	4,6
55-2	5,00	20°С	1,8	4,6
77-1	7,00	20°С	1,8	4,5
77-2	7,00	20°С	1,4	3,5
5421-1	8,00	20°С	1,8	3,1
5421-2	8,00	20°С	1,8	3,1
3504-1	8,00	20°С	1,8	3,0
3504-2	8,00	20°С	1,8	3,0

Як видно з таблиці, ударна в'язкість сталі змінюється в межах від 3,0 до 4,6 кгс\*м/см<sup>2</sup>, при цьому робота удару, що витрачається для руйнування зразка, практично не змінюється, становить 1,8 кгс\*м. Це означає, що для руйнування металу завтовшки 5,0 мм необхідно стільки ж енергії, скільки і для руйнування металу завтовшки 8,0 мм. Тобто, змінюється ударна в'язкість непропорційно – зі збільшенням товщини прокату здатність витримувати ударні навантаження не зростає, а знижується. Тож за даних умов виробництва, прокатки та термічної обробки маємо гарячекатаний лист зі сталі марки 30MnB5, для якого збільшення товщини не є критерієм підвищення міцності, оскільки зразки товщиною 5,0-7,0 мм витримують навантаження більше, ніж зразки товщиною 8,0 мм. Ця тенденція спостерігається і при випробуванні зразків на розтяг (таблиця 3.10).

Мікроструктура загартованих на залишковий аустеніт зразків сталі марки 30MnB5 зображена на рис. 3.8.



а) при збільшенні x200



б) при збільшенні x500

Рис. 3.8 – Мікроструктура зразків, загартованих при температурі 920 °С

З аналізу мікроструктури загартованих зразків сталі марки 30MnB5 видно, що після гартування формується голчаста структура, типова для мартенситу та нижнього бейніту. Візуально залишковий аустеніт в структурі не локалізований, очевидно він розміщується між голками мартенситних кристалів. Але при збільшенні мікроскопу x500 (рис. 3.8, б) спостерігаються огрубіла голчаста структура, що може бути пов'язано зі зростанням аустенітного зерна при підвищеній температурі нагріву для гартування. Зростання зерна є негативним фактором, що викликає зниження ударної в'язкості, тому ефективність застосування високотемпературного гартування для підвищення комплексу механічних характеристик викликає багато сумнів. Позитивний ефект збільшення вмісту аустеніту нівелюється негативним впливом зростання зерна.

Результати механічних випробувань на розтяг та твердість зразків, загартованих при температурі 920 °C та подальшого відпуску при температурі 500 °C наведені в табл. 3.12, результати випробувань на ударну в'язкість за цих же температур – в табл. 3.13.

Таблиця 3.12 – Механічні властивості та твердість сталі 30MnB5 після проведення високотемпературного загартування з подальшим відпуском при температурі 500 °C

Партія	Марка	Ном. товщина мм	Навантаження при умовній межі плинності, кгс	Навантаження при умовній межі міцності, кгс	Умовна межа плинності, кгс/мм <sup>2</sup>	Межа міцності, кгс/мм <sup>2</sup>	Відносне подовження, %	Твердість HRC
3-1	30MnB5	3,00	5250	5700	84,0	91,0	11,0	30
3-2	30MnB5	3,00	5250	5600	85,0	90,0	12,0	30
05-3	30MnB5	5,00	6500	6950	66,0	71,0	11,0	24
05-4	30MnB5	5,00	6400	7100	66,0	72,0	9,2	25
07-3	30MnB5	7,00	10250	11750	73,0	84,0	11,5	25
07-4	30MnB5	7,00	11500	12800	83,0	92,0	11,5	27
04-3	30MnB5	8,00	13250	14750	84,0	93,0	12,5	28
04-4	30MnB5	8,00	13900	15250	88,0	97,0	10,5	27

З наведених результатів бачимо, що після проведення відпуску при температурі 500 °C твердість металу знижується до 24-30 HRC. Проте

збільшилась пластичність металу – показник відносного подовження зріс до 9-12,5 %.

Таблиця 3.13 – Ударна в'язкість сталі 30MnB5 після проведення гартування при 920 °C та відпуску при температурі 500 °C

Партія №	Товщина прокату, мм	Температура випробування, °C	Робота удару, кгс*м	Ударна в'язкість, кгс*м/см <sup>2</sup>
05-4	5,00	20 °C	1,8	4,5
05-5	5,00	20 °C	2,0	5,0
05-6	5,00	20 °C	1,9	4,8
07-4	7,00	20 °C	1,9	4,8
07-5	7,00	20 °C	1,8	4,5
07-6	7,00	20 °C	2,0	5,0
04-1	8,00	20 °C	1,8	3,0
04-2	8,00	20 °C	1,8	3,1
04-3	8,00	20 °C	1,8	3,0

Ударна в'язкість сталі після відпуску при температурі 500 °C практично не змінюється, становить 3,0-4,5 кгс\*м/см<sup>2</sup>, а робота удару при цьому дещо підвищилася – 1,8-2,0 кгс\*м.

Результати механічних випробувань на розтяг та твердість загартованих зразків при температурі 920 °C з подальшим відпуском при температурі 400 °C наведені в табл. 3.14, результати випробувань на ударну в'язкість за цих же температур – в табл. 3.15.

Таблиця 3.14 – Механічні властивості та твердість сталі 30MnB5 після проведення гартування при 920 °C та відпуску при 400 °C

Партія	Марка	Ном. товщина мм	Навантаження при умовній межі плинності, кгс	Навантаження при умовній межі міцності, кгс	Умовна межа плинності, кгс/мм <sup>2</sup>	Межа міцності, кгс/мм <sup>2</sup>	Відносне подовження, %	Твердість HRC
05-1	30MnB5	5,00	9250	9850	94,0	101,0	5,8	30
05-2	30MnB5	5,00	8000	8500	81,0	87,0	10,0	31
07-1	30MnB5	7,00	13200	14100	94,0	101,0	8,6	34
07-2	30MnB5	7,00	13750	14800	98,0	106,0	10,5	35
21-1	30MnB5	8,00	17250	18100	107,0	112,0	7,3	34
21-2	30MnB5	8,00	17000	17850	105,0	111,0	5,3	35

В даному випадку значно збільшилися показники межі плинності, межі міцності та твердості. Дещо зменшилося відносне подовження 5,3-10,0 %.

Таблиця 3.15 – Ударна в'язкість сталі 30MnB5 після проведення гартування при 920 °С та відпуску при температурі 400 °С

Партія №	Товщина прокату, мм	Температура випробування, °С	Робота удару, кгс*м	Ударна в'язкість, кгс*м/см <sup>2</sup>
05-1	5,00	20 °С	1,5	3,8
05-2	5,00	20 °С	1,4	3,5
05-3	5,00	20 °С	1,7	4,3
07-1	7,00	20 °С	1,6	3,9
07-2	7,00	20 °С	1,4	3,5
07-3	7,00	20 °С	1,4	3,5
21-1	8,00	20 °С	1,4	2,4
21-2	8,00	20 °С	1,6	2,7
21-3	8,00	20 °С	1,3	2,2

При цьому методі термічної обробки сталі марки 30MnB5 показники ударної в'язкості явно знижуються.

3.2.3. Результати механічних випробувань на розтяг, твердість та ударну в'язкість після загартування із міжкритичного інтервалу температур при 790 °С наведені в табл. 3.16, результати випробувань на ударну в'язкість – в табл. 3.17.

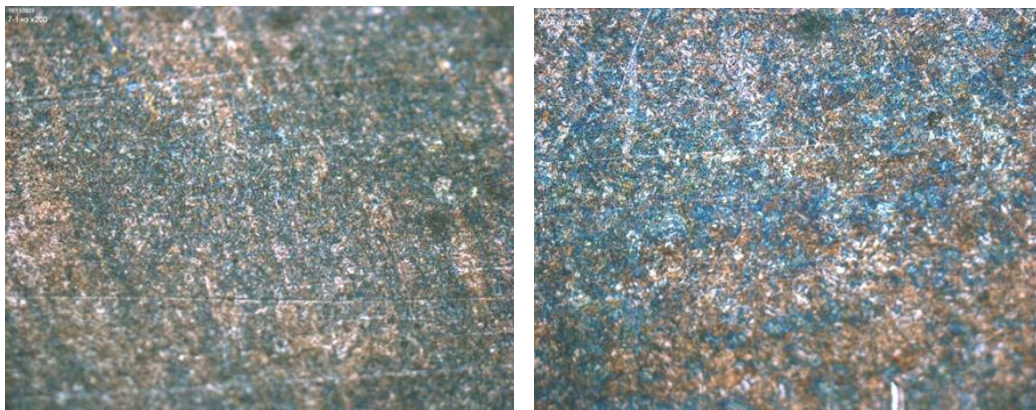
Таблиця 3.16 – Механічні властивості та твердість сталі 30MnB5 після проведення загартування при 790 °С

Партія	Марка	Номинальна товщина, мм	Навантаження при умовній межі плинності, кгс	Навантаження при умовній межі міцності, кгс	Умовна межа плинності, кгс/мм <sup>2</sup>	Межа міцності, кгс/мм <sup>2</sup>	Відносне подовження, %	Твердість, HRC
3--1	30MnB5	3,00	-	-	-	-	-	45
3--2	30MnB5	3,00	-	-	-	-	-	45
5--1	30MnB5	5,00	-	16500	-	166	4,2	45
5--2	30MnB5	5,00	-	18250	-	183	1,7	46
7--1	30MnB5	7,00	-	21400	-	152	2,1	50
7--2	30MnB5	7,00	-	21600	-	153	2,1	46
5421	30MnB5	8,00	-	20850	-	127	1,3	46
3504	30MnB5	8,00	-	21750	-	137	1,3	52

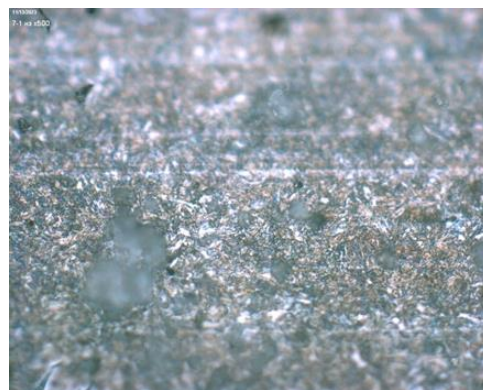
Таблиця 3.17 – Ударна в'язкість сталі 30MnB5 після проведення гартування при 790 °С

Партія	Марка	Номін. товщина, мм	Температура випробування, °С	Робота удару, кгс*м	Ударна в'язкість, кгс*м/см <sup>2</sup>
5--1	30MnB5	5,00	20 °С	1,8	4,5
5--2	30MnB5	5,00	20 °С	1,6	4,0
7--1	30MnB5	7,00	20 °С	1,6	4,0
7--2	30MnB5	7,00	20 °С	1,6	3,9
5421-1	30MnB5	8,00	20 °С	1,8	3,0
5421-2	30MnB5	8,00	20 °С	1,8	3,1
3504-1	30MnB5	8,00	20 °С	1,6	2,7
3504-2	30MnB5	8,00	20 °С	1,6	2,6

Мікроструктура загартованих із міжкритичного інтервалу температур при температурі 790 °С дослідних зразків зображена на рис. 3.9.



а) при збільшенні x200



а) при збільшенні x500

Рис. 3.9 – Мікроструктура сталі 30MnB5 після загартування при 790 °С

З аналізу структури витікає, що гартування з міжкритичного інтервалу призводить до формування дисперсної суміші голчастих структур мартенситу або нижнього бейніту і відносно невеликих фрагментів надлишкового фериту. Така структура потенційно сприяє отриманню підвищених значень опору до крихкого руйнування.

Результати механічних випробувань після загартування із міжкритичного інтервалу при температурі 790 °С та подальшим відпуском при 500 °С наведені в таблиці 3.18, результати випробувань на ударну в'язкість за цим же режимом – в таблиці 3.19.

Таблиця 3.18 – Механічні властивості та твердість сталі 30MnB5 після проведення гартування при температурі 790 °С та відпуску при температурі 500 °С

Партія	Марка	Ном. товщина мм	Навантаження при умовній межі плинності, кгс	Навантаження при умовній межі міцності, кгс	Умовна межа плинності, кгс/мм <sup>2</sup>	Межа міцності, кгс/мм <sup>2</sup>	Відносне подовження, %	Твердість HRC
3-1	30MnB5	3,00	5250	5700	84,0	91,0	11,0	30
3-2	30MnB5	3,00	5250	5600	85,0	90,0	12,0	30
05-3	30MnB5	5,00	6500	6950	66,0	71,0	11,0	24
05-4	30MnB5	5,00	6400	7100	66,0	72,0	9,2	25
07-3	30MnB5	7,00	10250	11750	73,0	84,0	11,5	25
07-4	30MnB5	7,00	11500	12800	83,0	92,0	11,5	27
04-3	30MnB5	8,00	13250	14750	84,0	93,0	12,5	28
04-4	30MnB5	8,00	13900	15250	88,0	97,0	10,5	27

Таблиця 3.19 – Ударна в'язкість сталі 30MnB5 після проведення гартування при температурі 790 °С та відпуску при температурі 500 °С

Партія №	Товщина прокату, мм	Температура випробування, °С	Робота удару, кгс*м	Ударна в'язкість, кгс*м/см <sup>2</sup>
05-4	5,00	20 °С	1,8	4,5
05-5	5,00	20 °С	2,0	5,0
05-6	5,00	20 °С	1,9	4,8
07-4	7,00	20 °С	1,9	4,8
07-5	7,00	20 °С	1,8	4,5
07-6	7,00	20 °С	2,0	5,0
04-1	8,00	20 °С	1,8	3,0
04-2	8,00	20 °С	1,8	3,1
04-3	8,00	20 °С	1,8	3,0

Мікроструктура зразків, загартованих із міжкритичного інтервалу при температурі 790 °С та відпущених при температурі 400 °С, зображена на рис. 3.10

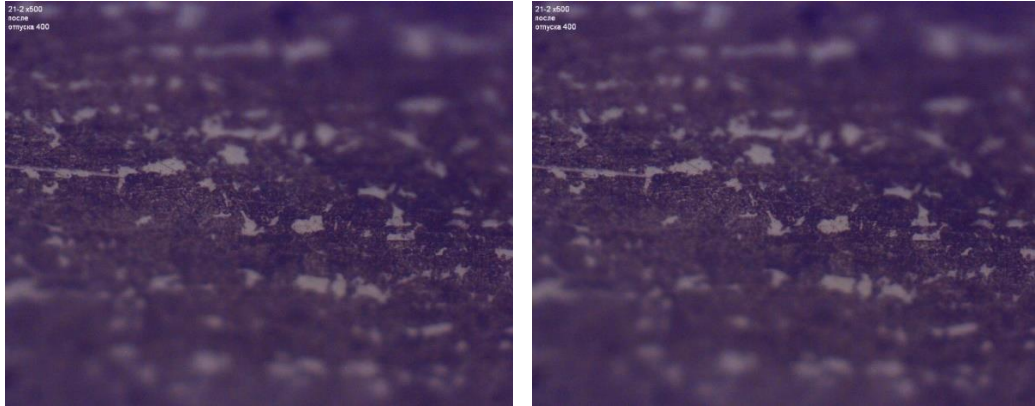


Рис. 3.10 – Мікроструктура сталі 30MnB5 після загартування при температурі 790 °С та відпущена при 400 °С, збільшення x500

Вивчення структури при збільшенні x500 у відпущеному стані показує, що ділянки фериту фрагментувалися при нагріві у міжкритичному інтервалі за рахунок часткового перетворення у аустеніт, але в цілому зберігають орієнтацію, характерну для смугастої структури прокатки.

Мікроструктура зразків, загартованих із міжкритичного інтервалу при температурі 790 °С та відпущених при температурі 500 °С, зображена на рис. 3.11.

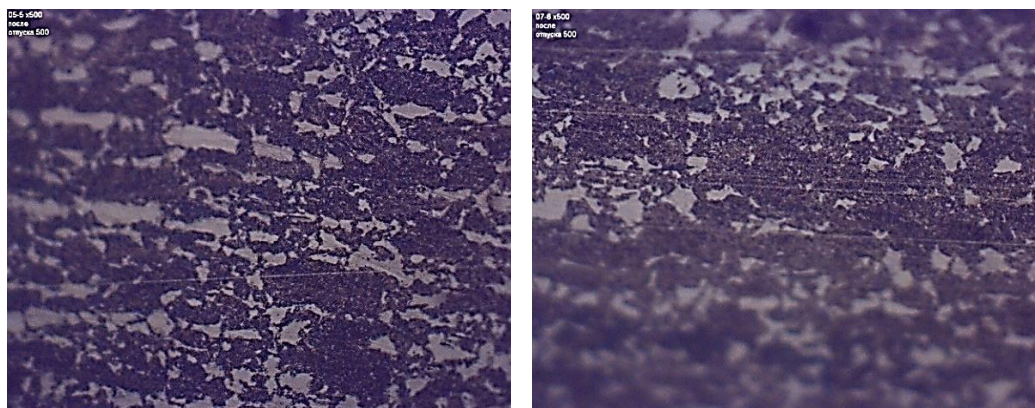


Рис. 3.11 – Мікроструктура сталі 30MnB5 після відпуску при 500 °С збільшення x500

Підвищення температури відпуску в цілому не змінює морфологію мікроструктури, але можна помітити подальший розвиток фрагментації феритних ділянок. Це може бути пов'язано зі стартом процесів рекристалізації зерен фериту.

## **4. ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **4.1. Рекомендації по практичному використанню результатів**

Отримані результати в даній роботі дозволяють запропонувати виробнику перспективний режим термічної обробки для поєднання міцності та пластичності сталі марки 30MnB5.

За результатами проведених досліджень можемо рекомендувати конкретний режим термічної обробки сталі 30MnB5 в залежності від потреб замовника, а саме: якщо для виготовлення металевих виробів чи конструкцій до прокатної продукції висуваються вимоги максимальної міцності та легкості, то в такому випадку для виробництва сталі 30MnB5 раціонально використати листовий прокат менший за товщиною, оскільки після загартування він виявляється за ефективністю рівним більш товстому металопрокату. Якщо ж є потреба в поєднання міцності та пластичності продукції зі сталі даної марки, тоді необхідно застосовувати інший варіант термічної обробки – низькотемпературне загартування в двофазному інтервалі температур з обов'язковим відпуском для формування ферито-мартенситної структури. В такому разі механічні властивості прокату зі сталі 30MnB5 будуть зростати пропорційно до його товщини.

### **4.2. Економічна оцінка запропонованих рішень**

За даними відділу збуту комбінату ПАТ «Запоріжсталь» за 2022 рік було відвантажено близько 2500 тон сталі марки 30MnB5.

Враховуючи проведені дослідження та той факт, що гарячекатаний лист зі сталі 30MnB5 товщиною 7,0 мм при даній технології виробництва та після високотемпературного загартування витримує більше питоме навантаження, ніж прокат товщиною 8,0 мм, то раціональним буде при замовленні на високоміцну продукцію виготовляти лист 7,0 мм, тим самим зекономивши на витратах усіх ресурсів для його виробництва.

## 5. ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА ПРИ ПРОВЕДЕННІ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 5.1. Заходи промислової безпеки при проведенні робіт у виробничих цехах

Роботи у виробничому цеху – це роботи з підвищеною небезпекою. На комбінаті ПАТ «Запоріжсталь» працівник в обов'язковому порядку повинен періодично проводити АБВР – Аналіз Безпеки Виконання Робіт (додаток А) з метою визначення можливості безпечного початку або продовження виконання робіт, а також дотримуватися вимог Кардинальних правил (додаток Б).

Необхідно обов'язково використовувати належні за нормами засоби індивідуального захисту, чистий справний спецодяг, спецвзуття, каску захисну, рукавички трикотажні, окуляри захисні, вкладиші протишумові.

У прокатному цеху основними потенційно небезпечними виробничими факторами є: шум, вібрація, надлишкове тепло, теплове випромінювання, електричний струм, статична електрика, частини (шматки) металу та окалини, що відлітають, рухомі та обертові механізми – прокатні стани, мостові крани, візки, частини механізмів клітей, що обертаються, смуги та листи по лінії стану, пересування рулонів по конвеєрах.

Основними джерелами виділень тепла в прокатному цеху є нагрівальні пристрої, метал, що прокатується, та готові прокатні вироби. При нагріванні та прокатці металу виділяються шкідливі речовини: металевий пил, пари металів і різних речовин. В процесі гарячої прокатки сталі в повітрі міститься пил у вигляді роздробленої окалини. У відділенні нагрівальних печей виділяються продукти згоряння палива тощо.

Заходи щодо боротьби з тепловим випромінюванням і надлишковим теплом зводяться до зменшення або повного усунення

випромінювання і створення необхідних умов віддачі тепла організмом. Велика увага приділяється створенню сприятливих умов роботи працівників цеху – кімнати відпочинку з кондиціонерами, приточно-втяжна вентиляція, організація питного режиму тощо.

Також велика увага приділяється безпеці та захисту від ураження електричним струмом. У виробничих цехах можливе безпосереднє зіткнення з відкритими струмопровідними частинами та кабелями.

Заходи щодо захисту від ураження електричним струмом в цеху:

- відкриті частини електричних пристроїв та обладнання, що перебувають під напругою (кабелі, дроти, шини, контролери та апарати) повинні бути надійно огорожені;

- розподільчі пункти та рубильники повинні бути захищені від мимовільного увімкнення під дією сили ваги рухомих їх частин.

Шум та вібрація негативно впливають на організм працівників цеху та на їх продуктивність роботи. Послаблення рівня шуму досягається наступними заходами:

- для персоналу облаштовуються звукоізолюючі кабінки з оглядовими вікнами;

- для захисту від шумових навантажень на організм людини робітниками використовуються спеціальні протишумові вставки та навушники.

Прокатні цехи включають різноманітні машини і механізми, призначені для: власне деформації металу, його транспортування, обробки, підготовки до прокатки та пакування готової продукції. Ці машини і механізми під час експлуатації становлять для персоналу основну потенційну небезпеку, тобто можливість заподіяння механічних травм. Під час проектування прокатного устаткування повинні враховуватися вимоги безпеки до машин

Пожежна безпека виробничих цехів забезпечується системою запобігання пожежам, системою пожежного захисту та заходами

організаційного характеру. Для попередження робітників і службовців підприємства встановлені такі сигнали: "увага всім", "повітряна тривога", "відбій повітряної тривоги", "радіаційна небезпека", "хімічна тривога". Усі дії, які розпочинаються при отриманні таких сигналів, здійснюються відповідно до інструкцій з цивільної оборони.

## **5.2. Безпека дослідника при проведенні робіт в лабораторії**

При проведенні випробувань та досліджень в Контрольній експрес-лабораторії Центру з випробувань та атестації продукції комбінату в обов'язковому порядку перед початком і під час виконання будь-якої роботи необхідно проводити Аналіз Безпеки Виконання Робіт (АБВР) з метою визначення можливості безпечного виконання робіт та вжиття необхідних заходів з охорони праці.

АБВР – це обов'язкова послідовність дій, яка виконується працівником (групою працівників) самостійно або за участю керівника перед початком і під час виконання робіт (Додаток ).

Дослідник зобов'язаний використовувати належні за нормами засоби індивідуального захисту, чистий справний спецодяг, спецвзуття, рукавички трикотажні, окуляри захисні, вкладиші протишумові.

### **5.2.1. Промислова безпека при проведенні механічних випробувань**

Відповідно до Інструкції з охорони праці № 43.17-2021 для лаборанта з фізико-механічних випробувань Контрольної експрес-лабораторії Центру з випробувань та атестації продукції комбінату лаборант з фізико-механічних випробувань виконує:

- механічні випробування зразків гарячекатаного і холоднокатаного листа різних марок сталі на розтягування при нормальних і підвищених температурах:

- випробування на холодний згин;

- випробування на видавлювання листів і стрічок за методом ERICHSEN;

- випробування на твердість за методами Бринелля, Роквелла та Шора;
- випробування на ударний вигин при кімнатних, знижених температурах, і після механічного старіння;
- випробування на згин з перегином.
- керівництва з експлуатації випробувального обладнання;
- порядок дій персоналу при виникненні відхилень від технологічних параметрів роботи обладнання (ПДП);
- правила внутрішнього трудового розпорядку працівників;
- піклуватися про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства;
- знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, правила поведінки з машинами, механізмами, обладнанням та іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту;
- на своєму робочому місці виконувати доручену роботу особисто і не передоручати її виконання іншій особі без узгодження з безпосереднім керівником, не допускати на своє робоче місце осіб, що не мають відношення до виконуваної роботи, залишати робоче місце можна тільки з дозволу безпосереднього керівника;
- виконувати тільки ту роботу, яку доручив керівник робіт, за умови, що безпечні методи її виконання йому відомі. У сумнівних випадках звернутися за роз'ясненням і вимагати від керівника робіт позапланового інструктажу з охорони праці. При дорученні нової незнайомої роботи пройти первинний інструктаж з охорони праці;
- стежити за станом інструменту, працювати тільки справним інструментом;

- доповідати керівнику робіт про всі несправності і порушення, що виникають під час виконання робіт, призупинити роботу до повного їх усунення або до отримання відповідних вказівок від керівника робіт;

- не працювати без належних захисних огорожень, кожухів, запобіжних пристроїв і пристосувань, з порушеними або деблокованими системами блокування обладнання;

- пересуватися за встановленими маршрутами безпечного руху по території комбінату і структурних підрозділів. На території підприємства дозволяється ходити тільки по тротуарах, доріжках, містках і переходах, спеціально призначених для пішохідного руху, керуючись схемами маршрутів руху пішоходів.

Небезпечні виробничі фактори, які можуть впливати на лаборанта з фізико-механічних випробувань:

- рухомі частини випробувального устаткування;
- гострі кромки, задирки і шорсткість на поверхні заготівок;
- електричний струм;
- підвищена і низька температура.

Шкідливі виробничі фактори, які можуть впливати на лаборанта:

- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- пил;
- вуглекислота і спирт етиловий.

Ідентифікація небезпек та оцінка ризиків при виконанні робіт за професією «лаборант з фізико-механічних випробувань»:

Таблиця 5.1 – Ідентифікація небезпек на робочому місці лаборанта з фізико-механічних випробувань

Джерело небезпеки	Небезпека	Категорія ризику	Наслідок небезпеки
Випробувальне	Електричний струм	А	травма

обладнання	Механічне пошкодження при контакті лаборанта з обладнанням	Н	травма
	Рухомі частини машин	Н	травма
	Шум	Н	Професійне захворювання
Проби і зразки	Механічне пошкодження при контакті лаборанта з пробою, зразком	Н	травма
	Падіння лаборанта при винесенні випробуваних зразків	Н	травма
Виготовлення реактиву для випробування при знижених температурах, використання вуглекислоти	Хімічний опік	Н	травма
	Вдихання парів шкідливих речовин	Н	ПЗ
	Вплив шкідливих речовин на руки лаборанта	Н	ПЗ
Температурна камера, високотемпературна піч, криокамера	Контакт лаборанта з предметами підвищеної або зниженою температурою	Н	травма
Прибирання	Вдихання парів	Н	ПЗ

виробничих приміщень	Токсичні і отруйні засоби	Н	травма
	Електричний струм	Н	травма

Вимоги безпеки під час роботи на випробувальному обладнанні:

Вимоги безпеки під час роботи на розривній машині (випробування на розтяг):

- установку зразків в захвати машини виконувати при повному закритті робочого вентиля, відсутності переміщення захватів, клини захватів повинні бути добре закріплені;

- стежити, щоб перед установкою зразків зазор між захватами був не менше 15 см (для вільного маніпулювання руками);

- встановити зразок в захвати розривної машини;

- дати попереднє навантаження на зразок за допомогою робочого вентиля подачі масла і провести випробування;

- у процесі всього випробування тримати одну руку на спускному вентилі, щоб в аварійному випадку скинути масло з циліндру в резервуар машини, відкриттям спускного вентиля, вимкнувши потім відразу ж і електромотор насоса;

- після закінчення випробування вимкнути машину.

Вимоги безпеки під час роботи на ручному маятниковому копрі ПСВ-30:

- підняти маятник у вертикальне положення і встановити його на запобіжний затискач, щоб уникнути випадкового падіння;

- встановити зразок на опори, відцентрувати його, при установці на опори і центруванні ударного зразку стежити, щоб голова не потрапили в зону гойдання маятника;

- звільнити затискач, привести маятник в рух;

- зупинку маятника виконувати повільним його гальмуванням рукояткою гальма.

Вимоги безпеки під час роботи на електромеханічному маятниковому копрі PW-30:

- встановити зразок на опори, відцентрувати його, при установці на опори і центруванні ударного зразку стежити, щоб голова і руки не потрапили в зону гойдання маятника;
- закрити огорожувальні дверцята;
- за допомогою кнопки «↑» підняти маятник;
- натиснувши чорну рукоятку вниз, привести маятник в рух;
- зупинку маятника проводити за допомогою рукоятки гальма.

Вимоги безпеки під час роботи по випробуванню на ударний вигин при знижених температурах:

- вентиль балону з вуглекислотою відкривати спеціальним ключем;
- при наборі вуглекислоти (сухого льоду) з балону надіти окуляри з бічними відкрilками, суконні або шкіряні рукавиці;
- набирати вуглекислоту в справний брезентовий мішок, щоб уникнути обмороження;
- охолоджені в термостаті зразки виймати щипцями, охолодженими одночасно із зразками (щипці брати в гумових рукавичках);
- при попаданні вуглекислоти на відкриті ділянки тіла промити їх під струменем води;

- спирт для проведення випробувань при знижених температурах зберігати в спеціальній закритій ємності з відповідними написами;

Вимоги безпеки під час роботи по випробуванню зразків при знижених температурах за допомогою камери кондиціонування:

- включити в мережу камеру кондиціонування;
- відкрити двері камери за допомогою чорної рукоятки (обертанням проти годинникової стрілки) і помістити зразки в камеру;
- закрити двері камери;

- встановити необхідне значення температури на контролері за допомогою стрілок «більше», «менше»;
- встановити перемикач «нагрів/охолодження» проти індикатора «охолодження»;
- переконатися в тому, що CO<sub>2</sub> (вуглекислий газ) подається в необхідній кількості;
- за показанням спостерігати зниження температури в камері до необхідного значення;
- зразки з камери брати охолодженими одночасно із зразками щипцями (щипці брати в гумових рукавичках), щоб уникнути обмороження.

Щоб уникнути травмування лаборанту заборонено:

- під час проведення випробувань на ручному маятниковому копрі ПСВ-30 підхоплювати маятник на льоту;
- наносити удари по вентилю або балону з вуглекислотою;
- при наборі вуглекислоти перебувати проти вихідного струменю балона;
- вдихання концентрованого CO<sub>2</sub> і потрапляння його на незахищені ділянки тіла.

Вимоги безпеки під час роботи на приладі для визначення твердості:

- плавно привести наконечник в контакт з робочою поверхнею зразка;
- прилад повинен бути захищений від вібрації та ударів;
- зразок встановити на столику або підставці у стійкому положенні щоб уникнути його зміщення і прогину;
- основне зусилля знімати плавно.

Щоб уникнути травмування лаборанту заборонено:

- визначати твердість на зразку або деталі, що не має горизонтальної поверхні, по відношенню до опорного столика приладу;

- під час випробування підтримувати рукою випробуваний зразок;
- при ввімкненому приладі проводити будь-які роботи всередині його.

### **5.2.2. Промислова безпека при проведенні пробопідготовки для дослідження структури**

Відповідно до Інструкції з охорони праці № 43.30-2024 для полірувальника Контрольної експрес-лабораторії (металографічний контроль) Центру з випробувань та атестації продукції комбінату ПАТ «Запоріжсталь» [ ] небезпечними виробничими факторами, які можуть впливати на працівника лабораторії при проведення пробопідготовки:

- рухомі частини виробничого обладнання;
- вироби, заготовки, матеріали, що пересуваються;
- підвищена або знижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- гострі кромки, задирки і шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини.

Шкідливі виробничі фактори, які можуть впливати на працівника: токсичні, дратівливі, підвищений рівень вібрації, підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони.

Ідентифікація небезпек та оцінка ризиків при виконанні робіт за професією полірувальник:

Таблиця 5.2 – Ідентифікація небезпек на робочому місці полірувальника

Джерело небезпеки	Небезпека	Наслідок небезпеки	Категорія ризику

Проби	Механічні пошкодження при контакті працівника з пробою	Травма	П
	Падіння працівника при винесенні використаних проб	Травма	П
Хімічні реактиви	Хімічний опік	Травма	П
	Вдихання парів шкідливих речовин	Професійне захворювання	П
	Вплив шкідливих речовин на руки працівника	Професійне захворювання	П
Електрообладнання	Електричний струм	Травма	П
Металорізальні і металообробні верстати	Оберткові механізми верстатів	Травма	П
	Електричний струм	Травма	П
	Шум	Професійне захворювання	П
	Пил	Професійне захворювання	П
	Вібрація	Професійне захворювання	П
	Механічні пошкодження при	Травма	П

	контакті працівника з верстатом		
Ручний інструмент та струбцини	Механічні пошкодження при контакті	Травма	П

Вимоги безпеки перед початком роботи на наждачному верстаті СНТ-2:

- перевірити наявність на робочому місці дерев'яного настилу;
- перевірити зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга. Він повинен бути не більше 3 мм. Край підручника з боку шліфувального круга не повинен мати вибоїн, відколів та інших дефектів;

- перевірити шляхом візуального огляду шліфувальний круг на відсутність на циліндричній і бічній поверхні тріщин, вибоїн.

Заборонено експлуатація шліфувального круга з тріщинами на поверхні, а також, які не мають позначки про проведення випробувань на механічну міцність або з простроченим терміном зберігання.

- перевірити наявність ЗІЗ і використовувати їх при випробуваннях;
- перевірити шляхом візуального огляду цілісність заземлення;
- натисканням кнопки «ПУСК» включити і перевірити роботу припливно-витяжної вентиляції.

Вимоги безпеки перед початком роботи на шліфувально-полірувальних верстатах:

- перевірити наявність ЗІЗ і використовувати їх при випробуваннях;
- перевірити шляхом візуального огляду цілісність заземлення;
- перевірити, що наждачний папір і сукно щільно натягнуті на диск і ретельно закріплені за допомогою притискного кільця;

- перевірити, що притискне кільце щільно встановлено в паз за допомогою передбачених пристосувань так, щоб кінці наждачного паперу і сукна не виходили на робочу зону, для запобігання зачеплення оброблюваної обоймою.

Не дозволяється:

- приступати до роботи з наждачним папером і сукном, які мають надриви;

- приступати до роботи при слабо закріпленому папері за допомогою притискного кільця;

- приступати до роботи при нещільно встановленому в паз притискному кільці;

- встановлювати наждачний папір, вирізаний не по діаметру диска шліфувального верстата.

Вимоги безпеки перед початком роботи на відрізній лінійної машині MSX-250A:

- перевірити наявність на робочому місці дерев'яного настилу;
- перевірити наявність ЗІЗ і використовувати їх при випробуваннях;
- перевірити шляхом візуального огляду цілісність заземлення;
- перевірити, що мотор обертається в правильному напрямку по стрілці на захисній кришці відрізного кола;

- перевірити цілісність відрізного кола;

- перевірити наявність води;

- перевірити освітленість робочої зони.

Вимоги безпеки перед початком роботи на шліфувально-полірувальній машині GPX300:

- перевірити наявність ЗІЗ і використовувати їх при випробуваннях;

- перевірити шляхом візуального огляду цілісність заземлення;

- перевірити візуально зовнішній корпус верстата і всі робочі вузли;

- перевірити цілісність компресора;

- перевірити цілісність дозатора суспензії;

- перевірити наявність води;
- перевірити освітленість робочої зони.

При виникненні аварій або ситуації, яка може призвести до аварій, нещасного випадку, отруєння або захворювання, працівник повинен покинути небезпечну зону і діяти відповідно до «Порядку дії персоналу при виникненні відхилень від технологічних параметрів роботи обладнання і позаштатних ситуацій різного характеру» (ЦВАПК).

У разі припинення подачі електроенергії або води необхідно негайно вимкнути обладнання від електромережі, вилучити ключ-бірку, довести до безпосереднього керівника і до усунення несправностей до роботи на устаткуванні не приступати.

Полірувальник Контрольної експрес-лабораторії зобов'язаний:

- вживати заходів щодо попередження інцидентів на виробництві щодо товаришів по роботі;

- негайно повідомляти своєму безпосередньому керівнику про всі випадки несправності устаткування і порушеннях вимог безпеки, аварійних ситуаціях, загорянь та пожеж, інцидентів у процесі виробництва;

- при виникненні пожежі негайно за допомогою засобів зв'язку або через оточуючих людей повідомити про це пожежну службу; прийняти, по можливості, заходи по гасінню пожежі (загоряння) за допомогою первинних засобів;

- в разі інциденту негайно надати на місці першу допомогу потерпілому (або собі), негайно звернутися до медпункту, поставивши до відома керівника особисто або через товариша по роботі при необхідності викликати швидку допомогу (реанімацію) будь-яким засобом зв'язку або через оточуючих;

- зберегти обстановку місця інциденту, якщо це не загрожує життю чи здоров'ю інших працівників і не призведе до більш тяжких наслідків;

- негайно припинити роботу в разі виникнення аварійної ситуації, небезпеки пошкодження свого здоров'я або здоров'я оточуючих людей в процесі роботи.

### **5.2.3. Промислова безпека при дослідженні мікроструктури та проведенні термічної обробки сталей**

Згідно з Інструкцією з охорони праці № 43.29-2024 для лаборанта-металографа Контрольної експрес-лабораторії (металографічний контроль) Центру з випробувань та атестації продукції комбінату дослідник зобов'язаний виконувати наступні вимоги:

- керівництва з експлуатації випробувального обладнання;
- порядок дій персоналу при виникненні відхилень від технологічних параметрів роботи обладнання (ПДП);
- правила внутрішнього трудового розпорядку працівників;
- піклуватися про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства;
- знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, правила поведінки з машинами, механізмами, обладнанням та іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту;
- на своєму робочому місці виконувати доручену роботу особисто і не передоручати її виконання іншій особі без узгодження з безпосереднім керівником, не допускати на своє робоче місце осіб, що не мають відношення до виконуваної роботи, залишати робоче місце можна тільки з дозволу безпосереднього керівника;
- виконувати тільки ту роботу, яку доручив керівник робіт, за умови, що безпечні методи її виконання йому відомі. У сумнівних випадках звернутися за роз'ясненням і вимагати від керівника робіт позапланового інструктажу з охорони праці. При дорученні нової незнайомої роботи пройти первинний інструктаж з охорони праці;

- стежити за станом інструменту, працювати тільки справним інструментом;

- доповідати керівнику робіт про всі несправності і порушення, що виникають під час виконання робіт, призупинити роботу до повного їх усунення або до отримання відповідних вказівок від керівника робіт;

- не працювати без належних захисних огорожень, кожухів, запобіжних пристроїв і пристосувань, з порушеними або деблокованими системами блокування обладнання;

- пересуватися за встановленими маршрутами безпечного руху по території комбінату і структурних підрозділів. На території підприємства дозволяється ходити тільки по тротуарах, доріжках, містках і переходах, спеціально призначених для пішохідного руху, керуючись схемами маршрутів руху пішоходів.

Небезпечні виробничі фактори, які можуть впливати на лаборанта:

- рухомі частини виробничого обладнання;

- вироби, заготовки, матеріали, що пересуваються;

- підвищена або знижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;

- гострі кромки, задирки і шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання;

- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини.

Шкідливі виробничі фактори, які можуть впливати на лаборанта: токсичні, дратівливі, фізичні перевантаження (напруга очей у працівника).

Ідентифікація небезпек та оцінка ризиків при виконанні робіт за професією «лаборант-металограф»:

Таблиця 5.3 – Ідентифікація небезпек на робочому місці лаборанта

Джерело небезпеки	Небезпека	Наслідок небезпеки	Категорія ризику
Проби	Механічні пошкодження при контакті працівника з пробою	Травма	П
	Падіння працівника при винесенні використаних проб	Травма	П
Металографічні мікроскопи	Напруга очей у працівника	Професійне захворювання	П
Гартівні баки	Контакт працівника з предметами або матеріалами з високою температурою	Травма	П
Хімічні реактиви	Хімічний опік	Травма	П
	Вдихання парів шкідливих речовин	Професійне захворювання	П
	Вплив шкідливих речовин на руки працівника	Професійне захворювання	П
Електрообладнання	Електричний струм	Травма	П
	Рухомі механізми	Травма	П

	Падіння приладів на працівника	Травма	П
	Контакт працівника з предметами або матеріалами з високою температурою	Травма	П

Вимоги безпеки під час роботи на мікроскопах GX-51:

- встановити мікрошліф на предметний столик мікроскопа;
- просуваючи мікрошліф по предметному столику мікроскопа, зробити оцінку його мікроструктури;
- при відключенні електроенергії відключити мікроскоп від електромережі;
- при подачі електроенергії провести включення мікроскопа, згідно п.2.6 цієї інструкції, і продовжувати перегляд мікрошліфів.

Вимоги безпеки під час роботи на електричних термічних печах (муфельна піч «Гераус», камерні печі КО-11, електропіч опору камерна лабораторна СНОЛ):

- натиснути кнопку включення відповідної печі на пускачі;
- задати необхідну температуру на потенціометрі;
- включити потенціометр;
- повернути рукоятку печі, на становище «ВІМКНЕНО». При цьому загоряється сигнальна лампочка печі, включаються індикатори струму і напруги;
- після виходу печі на задану температуру і прогріву печі, зробити завантаження контрольних зразків в піч, попередньо знеструмивши її (повернувши рукоятку печі в положення «ВІМКНЕНО»);
- після завантаження зразків провести включення печі;

- вивантажувати зразки з печі при знеструмленій печі.

Лаборант зобов'язаний:

- вживати заходів щодо попередження інцидентів на виробництві щодо товаришів по роботі;

- негайно повідомляти своєму безпосередньому керівнику про всі випадки несправності устаткування і порушеннях вимог безпеки, аварійних ситуаціях, загорянь та пожеж, інцидентів у процесі виробництва;

- при виникненні пожежі негайно за допомогою засобів зв'язку або через оточуючих людей повідомити про це пожежну службу; прийняти, по можливості, заходи по гасінню пожежі (загоряння) за допомогою первинних засобів;

- в разі нещасного випадку негайно надати на місці першу допомогу потерпілому (або собі), негайно звернутися до медпункту, поставивши до відома керівника особисто або через товариша по роботі при необхідності викликати швидку допомогу (реанімацію) будь-яким засобом зв'язку або через оточуючих;

- зберегти обстановку місця інциденту, якщо це не загрожує життю чи здоров'ю інших працівників і не призведе до більш тяжких наслідків;

- негайно припинити роботу в разі виникнення аварійної ситуації, небезпеки пошкодження свого здоров'я або здоров'я оточуючих людей.

При наданні першої домедичної допомоги виконувати наступні кроки при отриманні термічного опіку:

- припинити дію високої температури, за необхідності зняти тліючий одяг;

- охолодити місце опіку шляхом промивання щонайменше 20 хвилин водою кімнатної температури;

- накласти стерильну суху марлеву пов'язку.

При виникненні хімічного опіку:

- промити місце опіку проточною водою щонайменше 10 хвилин;

- накласти суху стерильну марлеву пов'язку.

При ураженні електричним током:

- перед наданням допомоги переконатися у відсутності небезпеки для себе та оточуючих;

- за можливості вимкнути електроприлад;

- оцінити стан потерпілого.

При відсутності свідомості провести непрямий масаж серця і негайно викликати швидку допомогу або звернутися до медпункту.

## ВИСНОВКИ

1. На підставі проведеного літературного огляду за темою роботи встановлено, що низьколегована боровмісна сталь марки 30MnB5, яка є відносно недорогим та доступним зносостійким матеріалом, може бути використана для виготовлення виробів, стосовно яких висувуються підвищені вимоги до опору ударним навантаженням.

2. Проаналізувавши літературні джерела було обрано два експериментальних шляхи підвищення ударної в'язкості сталі 30MnB5 при термічній обробці:

- по-перше, це загартування при високій температурі з метою отримання великої кількості залишкового аустеніту, що сприяє збільшенню ударної в'язкості;

- по-друге, це загартування в міжкритичному інтервалі температур з подальшим відпуском, щоб отримати ферито-мартенситну складову, хоча ферит і менш міцний, проте він також підвищує ударну в'язкість.

При першому експериментальному варіанті термічної обробки було проведено високотемпературне загартування дослідних зразків сталі 30MnB5 при температурі 920 °С. В результаті експерименту на зразках товщиною 7,0-8,0 мм отримали досить високі показники міцності та твердості сталі: твердість 48-52 HRC, межа міцності – 970-1412 МПа, (за вимогами ДСТУ межа міцності 950-1150 МПа), проте пластичність матеріалу виявилася мінімальною – відносне подовження складо лише 1-2 %. Було також помічено цікаву закономірність: при випробуванні на розтяг дослідні зразки товщиною 7,0 мм витримували більше питоме навантаження, ніж зразки товщиною 8,0 мм. Це явище спостерігалось і при випробуванні зразків на ударну в'язкість. Після проведення подальшого відпуску (при 500 та 400 °С) метал став більш пластичним, кращі результати були отримані при температурі відпуску 400 °С: твердість 30-35 HRC, умовна межа плинності становила 794-1050 МПа

(за ДСТУ – не менше 800 МПа), межа міцності – 853-1098 МПа, відносне подовження 5-10 %.

Результат випробування на ударну в'язкість сталі 30MnB5 був кращим після відпуску при температурі 500 °С, становив 3,0-4,5 кгс\*м/см<sup>2</sup>.

Другий експериментальний варіант термічної обробки сталі 30MnB5 – це низькотемпературне загартування при температурі 790 °С з подальшим відпуском. В результаті на дослідних зразках товщиною 5,0-8,0 мм отримали межу міцності 1245-1795 МПа, твердість сталі та відносне подовження приблизно на тому ж рівні – 45-52 HRC та 1-2 % відповідно. Відпуск при температурі 500 °С дав наступні показники: твердість 24-30 HRC, умовна межа плинності становила 647-862 МПа (за ДСТУ – не менше 800 МПа), межа міцності – 696-951 МПа, відносне подовження від 9 до 12,5 % (згідно ДСТУ має бути 13 %).

Результати дослідження мікроструктури, механічних властивостей та ударної в'язкості сталі 30MnB5 показали, що з точки зору поєднання міцності та пластичності матеріалу ефективнішим є режим проведення термічної обробки, що полягає в загартуванні з двофазного інтервалу температур, тобто в низькотемпературному загартуванні з подальшим відпуском при температурі 400-500 °С.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. «Хардотек Протект» – офіційний представник SSAB в Україні:  
<https://hardotec.com/steel-ua/hardox-ua/>
2. Компанія SSAB: <https://www.ssab.com/>
3. Метінвест-СМЦ: <https://metinvest-smc.com/ru/steel/stal-hardox-500/>
4. Освітня компанія «Студія Vertex»: <https://autocad-lessons.com/uk/stali-hardox-osoblyvosti-dosvid-vykorystannia-vitchyzniani-analohy/>
5. H. Lia, S. Gaoa, Y. Tiana, D. Teradab, A. Shibataa, N. Tsujia, Influence of tempering on mechanical properties of ferrite and martensite dual phase steel. *Materials Today: Proceedings 2S*. 2015. 667-671
6. Hernán N., Lorussoa B., Hernán G. Effect of carbon content on microstructure and mechanical properties of dual phase steels Valeria L. de la Concepcióna, *Svobodab Procedia Materials Science*, Vol. 8. – 2015. – 1047-1056.
7. Maffei B., Salvatore W., Valentini R. 2007. Dual-phase steels rebars for high-ductile r.c. structures, part I: microstructural and mechanical characterization of steel rebars. *Engineering Structures Vol. 29*, 3325-3332.
8. Продуктова лінійка SSAB: <https://www.ssab.com/ru-kz/brands-and-products/hardox/product-program/450>
9. Artmash: <https://artmash.ua/ru/article/stal-hardox-osobennosti-harakteristiki-preimuschestva-ispolzovaniya>
10. Метінвест Холдинг: боровмісна сталь:  
<https://metinvestholding.com/ua/media/article/boron-steel>
11. ДСТУ EN 10083:2007. Сталі поліпшувані. Частина 3. Технічні умови постачання легованих сталей. Чинний від 2007-07-06. Київ : Держспоживстандарт України, 2010.

12. ДСТУ EN 10083:2008. Сталі для гартування та відпуску. Частина 1. Загальні технічні умови постачання. Чинний від 2008-08-04. Київ : Держспоживстандарт України, 2016.
13. Назюта Л.Ю., Цуркан М.Л., Тихонюк Л.С., Тарасенко О.О., Хавалиц Ю.В. Вплив бору на технологічні властивості середньовуглецевих конструкційних сталей рядового сортаменту. Вісник Приазовського державного технічного університету. 2018. №37. С. 22-28. DOI: 10.31498/2225-6733.37.2018.160222.
14. Бобылев М. В., Носоченко О. В., Мельник С. Г. и др. Освоение производства термоулучшенного листа толщиной до 40 мм из высокопрочной борсодержащей стали типа 20ХГМФТР с гарантированным комплексом. Металл и литье Украины. 1998. № 7. С. 6–8.
15. Манашев И. Р., Шатохин И. М., Зиатдинов М. Х., Бигеев В. А. Особенности микролегирования стали бором и новым материалом – боридом ферротитана. Сталь. 2009. № 4. С. 34–38.
16. Михайлов Г. Г., Макровец Л. А., Смирнов Л. А. Термодинамический анализ реакций взаимодействия. Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2015. № 2. С. 5–12.
17. Камкина Л. В., Манидин В. С., Пройдак С. В. Физико-химические и технологические особенности производства экономно-легированных борсодержащих сталей. Металлургическая и горнорудная промышленность. 2015. № 6. С. 19–23.
18. Бобылев М. В., Курдюков А. А., Носоченко О. В. и др. Повышение эффективности легирования бором стали для термоулучшенных толстых листов производства ОАО «МК «Азовсталь». Сталь. 1998. № 4. С. 55–57.
19. Назюта Л. Ю. Влияние технологии раскисления на степень усвоения титана при выплавке низколегированных сталей. Бюллетень НТИ «Черная металлургия». 2016. № 7. С. 47–51.

20. Heckmann C. J., Ormston D., Grimpe F. Development of low carbon Nb-Ti – B microalloyed steels for high strength large diameter linepipe. *Ironmaking and Steelmaking*. 2005. № 4. P. 337–371.
21. Бабенко А. А., Жучков В. И., Смирнов Л. А. Исследование и разработка комплексной технологии производства низкоуглеродистой борсодержащей стали с низким содержанием серы. *Сталь*. 2015. № 11. С. 48–50.
22. Троцан А. И., Харлашин П. С., Бродецкий И. Л. Модифицирующее и микролегирующее действие комплексных модификаторов в стали. *Металл и литье Украины*. 2000. № 3–4. С. 23–25.
23. Барадынцева Е. А., Глазунова Н. А., Роговцева О. В. Влияние микролегирования бором на прокаливаемость сталей. *Литье и металлургия*. 2016. № 3. С. 70–74.
24. Бобкова О. С., Свистунова Т. В. Воздействие бора на свойства расплавов и структурообразование сталей и сплавов на основе железа и никеля. ФГУП ЦНИИчермет им И.П.Бардина, журнал *Металлург*. 2008. № 3. С. 56–60.
25. Дергач А. Т. Влияние бора на микроструктуру и свойства труб из низкоуглеродистой аустенитной хромоникелевой стали. *Вопросы атомной науки и техники*. 2005. № 5. С. 80–86.
26. Энжинир С. Й., Финклер Х., Гульден Х. и др. Сталь с 1 % хрома и бором для высокопрочных болтов. *Черные металлы*. 1990. № 1. С. 34–40.
27. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Практикум: Навчальний посібник. А. В. Попович та ін. Львів: Світ, 2009. 552 с.
28. Парусов В. В., Сычков А. Б., Деревянченко И. В., Жигарев М. А. Новое применение бора в металлургии. *Вестник МГТУ*. 2005. № 2. С. 15–17.

29. Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський. Опір матеріалів : підручник. Київ : Вища школа, 1993. 655 с.
30. Л.Ю. Назюта, Л.С. Тихонюк, І.Н. Костиця, Особливості мікролегування бором при виплавці низьколегованих конструкційних сталей. Метал та ливарне виробництво України. 2018. №3-4. с.46-55.
31. Шваб'юк В. І. Опір матеріалів : навчальний посібник для студентів ВНЗ. Київ : МОН, 2009. 380 с.
32. Програма робіт № 1736нвп-2022 (501с) ТУ ПАТ «Запоріжсталь» «З виготовлення дослідної партії гарячекатаних листів зі сталі марки 30MnB5». 2022. 3 с.
33. Технічне заключення з виробництва листового прокату зі сталі марки 30MnB5. 2022. 32 с.
34. Інструкція з охорони праці № 43.17-2024 для лаборанта з фізико-механічних випробувань контрольної експрес-лабораторії Центру з випробувань та атестації продукції комбінату.
35. Інструкція з охорони праці № 43.29-2024 для лаборанта металографа контрольної експрес-лабораторії (металографічний контроль) Центру з випробувань та атестації продукції комбінату.
36. Інструкція з охорони праці № 43.30-2024 для полірувальника контрольної експрес-лабораторії (металографічний контроль) Центру з випробувань та атестації продукції комбінату.

# Кардинальні правила

ПАТ «Запоріжсталь»

з охорони праці  
та промислової безпеки

## Дотримання

Кардинальних правил дозволить вам зберегти життя і здоров'я і реалізувати право на безпечну працю.

## ПОРУШЕННЯ

Кардинальних правил, виявлене в ході аналізу події, буде підставою для дисциплінарного стягнення аж до звільнення співробітника.

### ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ

- ⊘ Знаходження на території підприємства в стані алкогольного/наркотичного сп'яніння.
- ⊘ Навмисне псування, зняття, виведення з ладу захисних пристроїв і огорожень, а також вхід за захисні огорожі, в позначену небезпечну зону.
- ⊘ Несанкціоноване використання або зняття блокуючих пристроїв (БМП, ключ / жетон-бирка).
- ⊘ Доручення роботи, виконання якої свідомо припускає порушення Кардинальних правил.
- ⊘ Свідоме приховування факту серйозного випадку або виробничої травми.
- ⊘ Виконання робіт на висоті більше 5 метрів від поверхні ґрунту, перекриття або робочого настилу без застосування засобів захисту від падіння з висоти.
- ⊘ Знаходження в газонебезпечних місцях I та II груп та виконання в них газонебезпечних робіт без наряду-допуску і газозахисних апаратів.
- ⊘ Прохід під вагонами, автозчепами, а також через конвеєри, мульдові потяги, візки та інше подібне обладнання в місцях, не обладнаних перехідними майданчиками.
- ⊘ Виконання робіт в підземних спорудах (тунелях, каналах, колодязях, резервуарах) без наряду-допуску та перевірки стану повітряного середовища на вміст шкідливих речовин.
- ⊘ Очищення (прибирання), усунення несправностей на працюючому обладнанні.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ АБВР

### «5 кроків до безпеки»

АБВР – обов'язкова послідовність дій, виконаних працівником (групою працівників) самостійно або за участю керівника до початку та періодично під час роботи. Метою АБВР є аналіз можливості безпечної роботи (продовження) праці та прийняття необхідних заходів з охорони праці.

**Крок 1** Визначити джерела небезпеки, які існують або можуть виникнути під час цієї роботи.

- Продумайте всі етапи роботи.
- Визначте, які джерела небезпеки для життя і здоров'я існують або можуть з'явитися на кожному з етапів.

**Крок 2** Оцінити можливі наслідки для людей.

- Поміркуйте, які небезпечні події можуть статися (які джерела небезпеки можуть впливати на людей).
- Для кожного джерела небезпеки для життя людей і здоров'я, визначте: хто може постраждати, наскільки важкими можуть бути наслідки.

**Крок 3** Визначити і виконати заходи, необхідні для надійного захисту від джерел небезпеки

- Які заходи слід вжити для захисту життя і здоров'я людей?
- Чи є у вас необхідні навички, засоби індивідуального захисту, обладнання та пристосування?
- Що ще потрібно зробити?

**Крок 4** Продумати заходи реагування при можливій позаштатній ситуації

- Що може піти не так, які позаштатні ситуації можуть виникнути?
- Чи знаєте ви, як діяти у разі виникнення позаштатної ситуації?
- Чи зможете ви викликати допомогу або надати її самостійно?

**Крок 5** Прийняти рішення про можливість почати або продовжити роботу

- Чи були виконані всі необхідні заходи захисту від джерел небезпеки? Чи впевнені ви, що тепер роботу можна виконувати безпечно? Якщо не впевнені - не починайте роботу! Зверніться до керівника. Розробіть і виконайте необхідні заходи захисту!

## Форма запису АБВР

Аналіз Безпеки Виконання Робот	
Структурний підрозділ, цех, дільниця:	
Опис роботи:	

Етап виконання роботи:	Джерело небезпеки:	Заходи безпеки:
Примітка: якщо не вистачає міста для записів, використовуйте додаткові листи.		

АБВР провели:		Рішення про можливість починати роботу:			
Працівник(и):	Керівник: (якщо приймав участь)	Так		Ні	