МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повна найменування вищого навчального закладу)
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
(назва факультету)
КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, ЕКОЛОГІЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота/ проєкт

другий (магістерський) рівень вищої освіти
(рівень вищої освіти)

на тему «Аналіз сучасного стану борвмісних сталей та сплавів: типи, переваги, використання та особливості технології виплавки»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1363- мчм

спеціальності 136 «Металургія»
(код і назва спеціальності)

освітньо-професійна програма «Металургія чорних металів»
(назва освітньої програми)

Мащенко Олександр Григорович
(ініціали та прізвіще)

Керівник доцент, канд. техн. наук, доцент Воденнікова О.С.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доцент, канд. техн. наук, доцент Нестеренко Т.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра *металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*
Рівень вищої освіти *другий (магістерський) рівень*
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність *136 «Металургія»*
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма *Металургія чорних металів*
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *МТЕТБ*
Ю.О. Бєлоконь
"__" _____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТУ

Мащенко Олександру Григоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) *«Аналіз сучасного стану борвмісних сталей та сплавів: типи, переваги, використання та особливості технології виплавки»*

керівник роботи (проєкту) *Воденнікова Оксана Сергіївна, канд. техн. наук, доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від *"28" 02 2024 р. № 359-с*

2. Строк подання студентом роботи (проєкта) *01.12.2024р.*

3. Вихідні дані до роботи (проєкта) *Науково-технічна література, ДСТУ, патенти.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Реферат. Вступ. Борвмісні сплави: призначення, різновиди, структура, характеристики. Дослідження структури та механічних характеристик борвмісних сталей 20Г2Р, 30Г1Р ТА 30MNB4. Вплив мікролегування бором на прожарювання сталей. Розрахунок балансу борвмісної сталі по електросталеплавильному цеху. Охорона праці та техногенна безпека. Загальні висновки. Перелік джерел посилання.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Титульний лист – 1. Вступ – 0. Розділ 1 – 3. Розділ 2 – 5. Розділ 3 – 0. Розділ 4 – 0. Розділ 5 – 0. Загальні висновки – 1.*

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Борвмісні сплави: призначення, різновиди, структура, характеристики	*Воденнікова О.С., доцент*	
Дослідження структури та механічних характеристик борвмісних сталей 20Г2Р, 30Г1Р ТА 30MNB4	*Воденнікова О.С., доцент*	
Вплив мікролегування бором на прожарювання сталей	*Воденнікова О.С., доцент*	
Розрахунок балансу борвмісної сталі по електросталеплавильному цеху		
Охорона праці та техногенна безпека	*Воденнікова О.С., доцент*	
Нормоконтроль	*Бондаренко Ю.В., доцент*	

7. Дата видачі завдання *01.03.2024р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного 3проєкту (роботи)	Строк виконання етапів 3проєкту	Примітка
1	*Реферат. Зміст. Вступ.*		
2	*Борвмісні сплави: призначення, різновиди, структура, характеристики*		
3	*Дослідження структури та механічних характеристик борвмісних сталей 20Г2Р, 30Г1Р ТА 30MNB4*		
4	*Вплив мікролегування бором на прожарювання сталей*		
5	*Розрахунок балансу борвмісної сталі по електросталеплавильному цеху*		
6	*Охорона праці та техногенна безпека*		
7	*Загальні висновки. Перелік джерел посилання*		
8	*Графічна частина*		

Студент _____ *Мащенко О.Г.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____ *Воденнікова О.С.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 60 с., 12 табл., 16 рис., 22 джерела посилання.

БОРВМІСНІ СПЛАВИ, БОРВМІСНА СТАЛЬ, ЛЕГУВАННЯ БОРОМ, ДОБАВКИ БОРУ.

Об'єкт дослідження: структура та механічні властивості борвмісних сталей типу 20Г2Р, 30Г1Р ТА 30MNB4.

Мета роботи – проаналізувати сучасні технології отримання борвмісних сплавів.

Методи дослідження: визначення механічних властивостей борвмісних сталей відповідно до вимог стандартів; металографічний аналіз зразків борвмісних сталей; обробка даних з використанням ПК.

Проведено огляд сучасних різновидів борвмісних сплавів, окреслено їх призначення та надана характеристика. Проаналізовано вплив мікролегування бором на структуру та властивості металу.

Наведені результати дослідження структури та механічних характеристик борвмісних сталей типу 20Г2Р, 30Г1Р ТА 30MNB4.

Приведена оцінка впливу мікролегування бором на прожарювання сталей.

Приведено розрахунок балансу борвмісної сталі по електросталеплавильному цеху.

Проаналізувано небезпечні і шкідливі чинники при виплавці борвмісних сплавів.

Результати аналітичних досліджень можуть бути використані в освітньому процесі ЗНУ при викладанні дисципліни «Сучасні проблеми металургії» для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 «Металургія» освітньо-професійних програм «Металургія чорних металів», Металургія кольорових металів» та «Обробка металів тиском».

ЗМІСТ

ВСТУП…… 6
1 БОРВМІСНІ СПЛАВИ: ПРИЗНАЧЕННЯ, РІЗНОВИДИ, СТРУКТУРА, ХАРАКТЕРИСТИКИ…….…….. 8
1.1 Огляд можливостей застосування бора в металургії…….. 8
1.2 Мікролегування сталі бором…….. 11
1.2.1 Способи мікролегування сталі бором…… 11
1.2.2 Вплив мікролегування бором на структуру та властивості металу…..… 14
1.3 Ефект додавання бору на високоміцну низьколеговану сталь…….. 17
1.4 Борвмісні сплави: види та властивості……. 19
1.5 Лігатури з бором……. 23
1.5.1 Лігатура алюміній-титан-бор (AlTiB)…… 23
1.5.2 Лігатура нікель-бор (NiB)…… 26
1.5.3 Лігатура алюміній-бор (AlB)……... 26
2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОРВМІСНИХ СТАЛЕЙ 20Г2Р, 30Г1Р ТА 30MNB4…….. 28
3 ВПЛИВ МІКРОЛЕГУВАННЯ БОРОМ НА ПРОЖАРЮВАННЯ СТАЛЕЙ 39
4 РОЗРАХУНОК БАЛАНСУ БОРВМІСНОЇ СТАЛІ ПО ЕЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОМУ ЦЕХУ……. 43
4.1 Початкові данні розрахунку……..…. 43
4.2 Розрахунок металошихти по металургійному підприємству……..….. 43
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА…… 50
5.1 Державна політика в галузі охорони праці…….. 50
5.2 Аналіз небезпечних і шкідливих чинників при виплавці борвмісних сплавів……. 51
5.3 Стратегія охорони праці на металургійному підприємстві…… 53
5.4 Основні аспекти техногенної безпеки…….. 55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... 57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ……. 58

ВСТУП

Відомо, що на теренах Україні виробництво борвмісних сталей зосереджено на підприємствах Метінвесту і не перевищує 2% від загального випуску продукції. Однією з причин стримування виробництва сталей, що містять бор, є відсутність ефективної технології мікролегування і нестабільний вміст бору через низький ступінь його засвоєння [1]. Безпосередньо Метінвест пропонує машинобудівникам гарячекатаний прокат, легований бором, за українськими, європейськими та міжнародними стандартами – ДСТУ EN 10083-3, EN 10083-3, BS EN ISO 683-2:2018. Серед найпопулярніших боровмісних марок сталей від Метінвесту є 30MnB5, 65Г та 27MnCrB5 [2]. Високоміцне кріплення, що випускається для автомобільної промисловості, виготовляється тільки з боровмісних марок сталі, зокрема марок 20Г2Р (клас міцності 8.8, 10.9) та 30Г1Р (клас міцності 10.9, 12.9). Серед іноземних аналогів борвмісних сталей слід виділити: 22B, 28B2 – Німеччина; 15B22, 10B21 – Японія; 21B3, 20МпВ5).

Механізм впливу мікролегуючих добавок бору на сталь полягає в підвищенні стійкості метастабільного аустеніту і в здатності зниження виділення надлишкових фаз у процесі безперервного охолодження бунтового прокату [3]. Бор може бути використаний для заміни вуглецю та інших елементів сплаву для підвищення міцності, і навіть невеликі кількості бору (менше 100ppm) можуть вплинути на мікроструктуру та механічні властивості сталі. Бор може посилювати загартову здатність сталі через відхилення границі зерна, а також може впливати на швидкість випару карбіду та інших опадів на межі зерна. Надмірна кількість бору в сталі фактично може спричинити зменшення загарблення. Висока кількість бору може стати причиною того, що сталеві пластини стануть крихкими і втратять в'язкість. Деякі дослідники також вивчили ефекти сегрегації бора на межі зерен та всередині зерна, щоб виявити неврівноважені явища сегрегації. Хоча рівень сегрегації бора невеликий, фаза мартенситу більш ефективна, ніж фаза Бейніта [4].

Таким чином, борування вуглецевих та легованих сталей при неухильному дотриманні технології дозволяє досягти високої стійкості матеріалу до корозії під впливом розчинів солей, кислот (крім азотної) та лугів. Недоліком технології є висока крихкість металу, але реалізація правильних конструктивних рішень дозволяє досягти максимальної ефективності зміцнення деталей у вигляді борування.

Мета роботи – проаналізувати сучасні технології отримання борвмісних сплавів.

Поставлена мета в роботі вирішується наступними завданнями:

– провести огляд сучасних різновидів борвмісних сплавів, окреслити їх призначення та надати характеристику;

– дослідити структуру та механічні характеристики борвмісних сталей типу 20Г2Р, 30Г1Р ТА 30MNB4;

– оцінити вплив мікролегування бором на прожарювання сталей;

– проаналізувати небезпечні і шкідливі чинники при виплавці борвмісних сплавів.

1 БОРВМІСНІ СПЛАВИ: ПРИЗНАЧЕННЯ, РІЗНОВИДИ, СТРУКТУРА, ХАРАКТЕРИСТИКИ

1.1 Огляд можливостей застосування бора в металургії

Використання бору (поряд з ванадієм, титаном, ніобієм, РЗМ та інші) відкриває широкі можливості для одержання економно-легованих сталей, експлуатаційні характеристики яких у багатьох випадках не тільки не поступаються, а й перевершують рівень властивостей сталей, одержуваних із застосуванням традиційної системи легування .

Для більшості легуючих елементів позитивний вплив на властивості стали пропорційно кількості вводиться добавки. При таких змістах вплив бору на прокалювання і в'язкість низько-і середньолегованих сталей відповідає ефекту легування хромом, марганцем, молібденом або нікелем з вмістом їх у 100–300 разів більшим добавок бору також позитивний вплив бору на кристалізацію сталі

Як уже вказувалося, бор традиційно виявляє винятково сильний вплив на гартування сталі. Ефект стабілізації переохла-жденшого аустенігу досягається при значно менших концентраціях бору, ніж вуглецю, і менших швидкостях охолодження від температур під загартування . Крім того, бор більшою мірою, ніж вуглець, впливає на фазові перетворення, що протікають на межах зерен.

При розгляді впливу бору на прожарювання сталі має значення "хімічно розчинний" бір, відповідний бору, розчинному в матриці і пов'язаному в сполуки типу Ме23(В,С)6 і Бе3(В,С), тобто. карбоборвди металу, зокрема заліза.Якщо карбвдні виділення досить дисперсні для збереження когерентності з матрицею, вони гальмують зародження фериту на межах зерен. Цей ефект припиняється лише при утворенні грубих виділень карбоборвдів, що можливо при перевищенні концентрації бору вище оптимальної. і борвдів і Спотворення кристалічної решітки, тобто поліпшення умов утворення феригной фази.

Граничний вміст вільного або "хімічно розчинного" бору, як правило,

обмежують на рівні не більше 0,005%.

При вмісті в сталі азоту і відсутності інших нігридоутворювальних елементів утворюється нітрид бору. У той же час в результаті мікролегування сталі бором спостерігається підвищення ударної в'язкості, яке пов'язане з утворенням дрібнодисперсної фази – нерозчинного в кислотах нігрвда бору, і це спостерігається тільки в тому випадку, коли азот (повністю або частково) не входить у з'єднання з іншими нігридоутворювальними елементами. У цьому положенні грунтується нове застосування бору в сталях, а саме використання його мікродобавок для пластифікації металу, а не на його зміцнення (збільшення прожарювання тощо).

У процесі досліджень, проведених в умовах СЗАТ ММЗ, були вивчені особливості впливу мікродобавок бору на властивості катанки з низьковуглецевої нелегованої сталі марок типу 1005–1008 по АБТМ А 510, низьковуглецевої легованої зварювального призначення сталі марок типу Св-08Г1С, 08Г2С, БО-1, БО-2, БО-3 та високовуглецевої сталі марок типу 45–90, тобто охоплено діапазон вуглецю від 0,01 до 0,92%. При цьому вміст бору в сталі варіювався від 0,003 до 0,014%.

Доведено, що за наявності сталі лише "хімічно нерозчинного" бору у ввде ВК, тобто. бору, що повністю витрачається на зв'язування азоту, досягається високий ступінь пластифікації сталі досліджених марок порівняно з аналогічними сталями без добавок бору: спостерігаються зниження межі міцності на 30–55 Н/мм^2 при введенні в низьковуглецеву сталь бору в кількостях 0,003–0,014 збільшення розміру дійсного зерна ~ на 1,5–2 номери за ГОСТ 5639, зменшення кількості та розмірів структурно-вільного цементиту (СЦЦ). Прочностные характеристики борсодержащей високовуглецевої сталі-катанки також знижуються (на 65 Н/мм^2), а пластичні збільшуються (на 1,9%; у – на 3,8% абс.) Відбувається також зростання пластичності катанки з електросталі протягом 1–3 діб за рахунок релаксації напруг та виділення дифузійно рухомого водню. Ефект підвищення пластичності після вилежування більш помітно виражений в катанці з високовуглецевих сталей, для яких

характерний підйом, наприклад, відносного звуження на 15–20% абс. У цьому розбіг значень показників пластичності значно знижується .

У борвмісній сталі мікроліквація зміцнювальних елементів (Mn, Cr, Ni) вираж-на меншою мірою, ніж у сталі без бору. В результаті зв'язування бором азоту мартенсигно-бейнігні структури сталі типу Св-08Г2С мають меншу твердість і завдяки цьому більш схильні до пластичної деформації Аналогічно катанка з низько-і високовуглецевої борсодержащей сталі має меншу мікротвердість структурних складових. Так, мікротвердість перліту 1 бала у високовуглецевої борсодержащей сталі-катанці становить НЦ(20)=3177 Н/мм^2, а безбористої – 4207 Н/мм^2.

Мікроренггеноструктурним аналізом встановлено, що загальне підвищення пластичності боровмісної сталі визначається тонкою будовою мікроструктури катанки Відносна мікродеформація (МКД) решітки фериту і щільність дислокацій у сталі з бором нижче, ніж у сталі без бору як після двостадійного охолодження, так і після патен. е.в катанці з бором кристалічна решітка спотворюється менше і менше рівень деформаційного зміцнення структури. Це з тим, що микродобавка бору (0,0021%) в сталі перлітного класу (сталь 70) підвищує відповідність (акомодацію сполучення) решіток фериту і цементиту в перліті, у результаті знижуються загальний рівень МКД і щільність дислокацій у ферриті. При подальшому підвищенні вмісту бору спостерігається ефект передозування – відбувається зниження пластичності та підвищення міцності металу. Це обумовлено утворенням на межах зерен сегрегацій, плівкових і об'ємних виділень некогерентних фаз, а за обсягом зерна -великої кількості дрібнодисперсних частинок (борвдів), що сприяє гальмування дислокацій, виникненню пір і руйнуванню сталі при додатку навантаження. Ці виділення знижють ступінь переохолодження аустенігу при ев-тектовдному перетворенні. Тому при підвищенні вмісту бору кількість дрібнодисперсного сорбігоподібного перліту 1 бала утворюється менше, ніж у сталі без бору.

В мікролегованій бором електросталі відповідального призначення (наприклад, для металокорду) вміст кольорових домішок (хрому, нікелю та

міді) може бути істотно підвищено (Cr < 0,15%, Ni < 0,25%, Si < 0,25%) без зниження якісних характеристик сталі, що обумовлено збільшенням розчинності міді в залізі і компенсацією її зміцнювального впливу за рахунок мікродобавок бору, атоми якого розташовуються в ОЦК решітці α-заліза (тобто в ферите стали) у позиціях заміщення. Показано, що спільна дія хрому і нікелю, що утворюють із залізом безперервний ряд твердих розчинів у вищевказаних концентраціях, не має зміцнювального впливу на сталь. Крім того, всі три елементи у зазначених кількостях несуттєво впливають на швидкість розпаду аустенігу, наприклад, при патен

1.2 Мікролегування сталі бором

В останні роки широкого поширення набули методи підвищення якості металопродукції за рахунок мікролегування та модифікування сталі феросплавами, що містять V, Nb, B, Ca, Ba та інші елементи. Серед цих елементів особливе місце займає бор, який може впливати на властивості сталі при його введенні в розплав у надмалих кількостях (0,002–0,005%). Слід зазначити багатофункціональність впливу бору на властивості металу (міцнісні та пластичні характеристики, прожарювання та міжкристалітну корозію), а також широкий сортамент мікролегованих ним сталей (вуглецеві, низьколеговані, корозійно-стійкі та інші).

1.2.1 Способи мікролегування сталі бором

Відомо декілька способів мікролегування сталі бором:

– мікролегування сталі бором здійснюють на випуску присадкою в сталерозливний ківш алюмінію та комплексного сплаву феросилікобору в кількості 4,0–7,5 кг/т сталі з відношенням алюмінію до феросилікобору в межах (0,25–0,50), при цьому феросилікобор містить: кремнію 60–65 мас.% Si та бору 0,5–2,0 мас. %.

Технічний ефект при використанні пропонованого винаходу полягає в поліпшенні якості металу за рахунок мікролегування сталі бором з використанням комплексного сплаву, що містить бор, і рівномірного розподілу бору в об'ємі металу, зниженні собівартості сталі за рахунок виключення присадок в ківш дорогого ферробора і збільшення ступеня засвоєння бору металом.

Зазначений технічний ефект досягається тим, що в способі мікролегування сталі бором, що включає виплавку напівпродукту в сталеплавильному агрегаті, його розкислення в ковші і мікролегування сталі бором шляхом присадки борсодержащего сплаву, згідно винаходу мікролегування сталі бором здійснюють на випуску присадкою в ківш алюмінію, комплексного містить, мас.%: 60–65 Si і 0,5–2,0 B, у кількості 4,0–7,5 кг/т стали з відношенням алюмінію до феросилікобору в межах (0,25–0,50).

Присадка в ківш на випуску алюмінію та феросилікобору заявленого складу в кількості 4,0–7,5 кг/т сталі забезпечує досягнення технічного ефекту. При менших і більших витратах алюмінію і феросилікобору, що присаджуються в ківш на випуску, заявлений технічний ефект не досягається через збільшення собівартості сталі при підвищених витратах алюмінію і феросилікобору заявленого складу і низького вмісту бору (менше 0,002%) і кремнію в сталі алюмінію та феросилікобору.Розкислення металу алюмінієм при його відношенні до феросилікобору в межах (0,25–0,50) забезпечує при заявлених витратах досягнення технічного ефекту за рахунок зниження окисленості металу та зв'язування азоту в нітриди алюмінію. При відношенні алюмінію до феросилікобору в межах менше 0,25 заявлений технічний ефект не досягається через високий чад бору, низьку загальну його концентрацію в сталі і вміст активного бору, не пов'язаного з азотом в нітриди. При відношенні алюмінію до феросилікобору в межах більше 0,50 заявлений технічний ефект супроводжується збільшенням собівартості сталі.

Використання феросилікобору, що містить 60–65% Si і 0,5–2,0% B, забезпечує при заявлених кількостях і відношеннях алюмінію до

феросилікобору досягнення технічного ефекту.

При менших і більших вмістах кремнію в феросилікоборі заявлений технічний ефект не досягається через збільшення собівартості сталі при підвищених витратах феросилікобору, що містить менше 60% Si, і низького вмісту бору в сталі (менше 0,002%) при знижених витратах феросилікобору, Si.

При менших і більших вмістах бору в феросилікоборі заявлений технічний ефект також не досягається, тому що не забезпечується очікуване поліпшення якості металопрокату через низький (менше 0,002%) вміст бору в сталі при його концентрації у феросилікоборі менше 0,5% і більшого (більше 0,005%) вмісту бору в сталі при його концентрації в феросілікоборі понад 2,0%.

При виробництві безперервно литої заготовки зі сталі марки 32ХГМРА в ківш при випуску плавки з ДСП-135 з відсіканням шлаку присадили гранульований алюміній і феросилікобор у вигляді шматків розміром 20–50 мм, отриманий силікотермічним методом. Після розкислення металу та мікролегування стали бором ківш передали на встановлення ківш-піч для доведення металу за хімічним складом та температурою. Після позапічної обробки металу на УКП плавку передали на МБЛЗ. Було відлито 544 т (4 ковша) БЛЗ формату 400 мм із сталі заданої марки, що містить 0,0027% бору та 0,23% кремнію без коригування їхньої концентрації на установці ківш-піч.

– мікролегування сталі бором введенням ферробора на установці ківш-піч після усереднювальної продувки сталі аргоном, визначення бору і марганцю в сталі, десульфурації сталі і виміру товщини шлаку в ковші. Необхідний вміст бору у сталі, товщиною шлаку в ковші та вмістом бору у ферроборі. Недоліками цього способу є збільшення собівартості металопродукції за рахунок використання дорогого ферробора і низького ступеня (23,5%) засвоєння бору металом, анізотропія механічних властивостей прокату через нестабільність засвоєння бору металом при невеликих кількостях (200 кг на 360,8 т) присадок у ківш-піч та збільшення тривалості позапічної обробки сталі через додаткові операції з визначення товщини шлаку в ковші, вмісту бору в металі до присадки феробору в ківш та розрахунку кількості феробору,

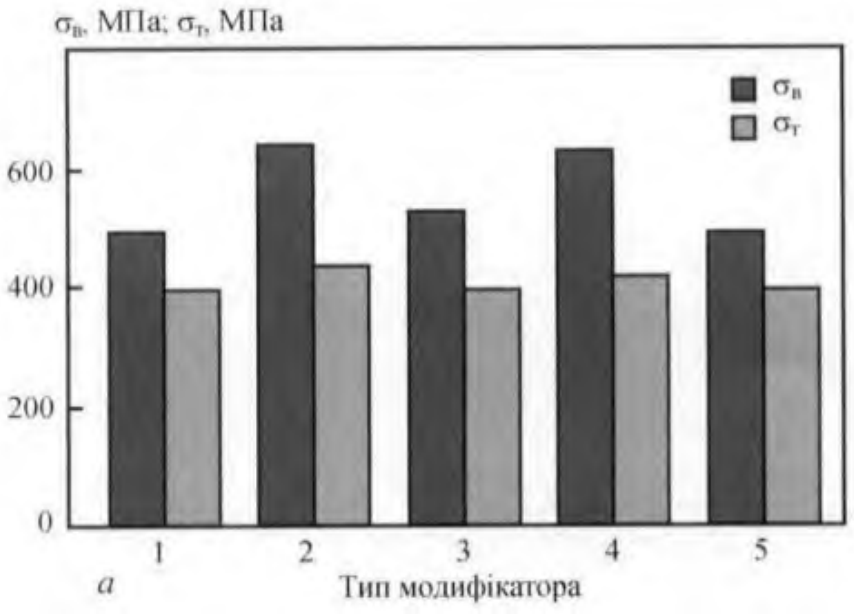
необхідного для отримання необхідного вмісту бору в сталі.

– мікролегування сталі бором шляхом введення феробору в розкислений метал у процесі випуску плавки зі сталеплавильного агрегату в кількості, що забезпечує вміст бору в сталі 0,0032%. Серед недоліків способа є висока собівартість металопродукції за рахунок використання дорогого ферробора, низька і нестабільна ступінь засвоєння бору металом, що змінюється в межах 30-50%, і нестабільність хімічного складу стали по ходу розливки.

1.2.2 Вплив мікролегування бором на структуру та властивості металу

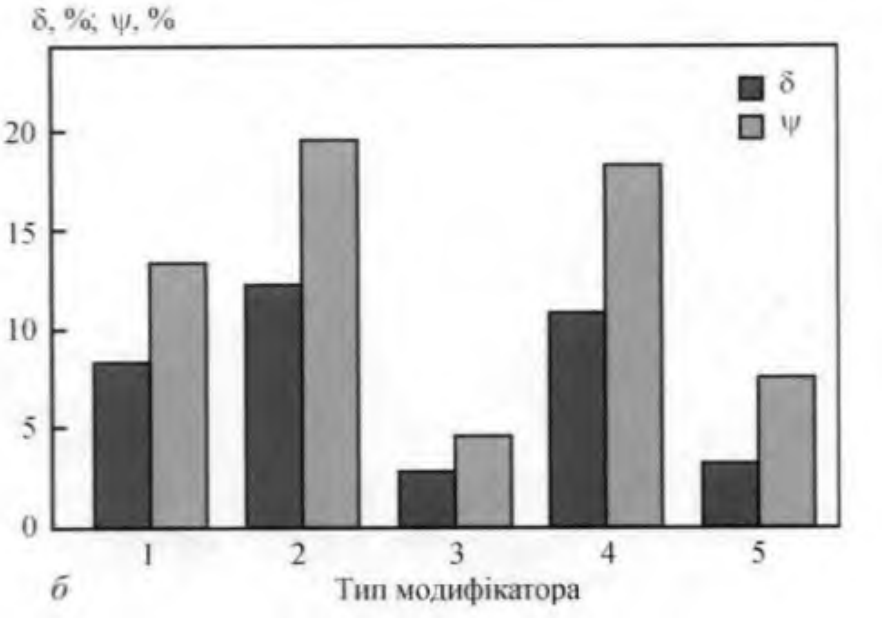
Аналізуючи літературні джерела, можна сказати, що присутність ефекту модифікування та мікролегування бором, титаном, вольфрамом, цирконієм, ітрієм. Введення цих елементів або їх сполук з вуглецем і азотом у кількості до 0,2% призводить до отримання дрібнозернистої однорідної структури металу, завдяки чому досягається більш рівномірний розподіл легуючих елементів, що позитивно впливає на показники фізико-механічні властивості металу (рис. 1.1 та рис. 1.2). Безпосередньо для підвищення зносостійкості та жаростійкості металу доцільно вводити невеликі добавки бору або його сполук (у кількості до 0,2%), церію або ітрію (у кількості до 0,015%). Також досить перспективним є використання складних лігатур, які можуть містити зазначені вище елементи, а також модифікатори, такі як цирконій, карбіди та бориди титану або карбіди вольфраму.

Мікролегування наплавленого металу типу 25Х5ФМС в кількості від 0,007 до 0,04 % не чинить негативного впливу на процес формування наплавлених кулонів і виділення шлакової глини. Протест при вмісті бора в металі на 0,02 % дозволяє створити велику кількість трищин, що значно знижує експлуатаційні характеристики металу. При цьому показано, що додавання бора в кількості 0,007–0,01 % на склад наплавленого металу 25Х5ФМС підвищує жаростійкість і носійність при високих температурах в 1,2–2,0 раза.



1 – не модифікована сталь; 2 – сталь, модифікована ванадієм; 3 – сталь, модифікована молібденом; 4 – сталь, модифікована цирконієм; 5 – сталь, модифікована бором

Рисунок 1.1 – Вплив ріхних легуючих елементів на показники міцності



1 – не модифікована сталь; 2 – сталь, модифікована ванадієм; 3 – сталь, модифікована молібденом; 4 – сталь, модифікована цирконієм; 5 – сталь, модифікована бором

Рисунок 1.2 – Вплив ріхних легуючих елементів на показники пластичності

Оптимальна концентрація мікролегких компонентів дозволяє покращити структуру наплавленого металу, створити мікротвердість і можливе виготовлення складних сферичних карбоборидів у матриці сплаву.

За основними результатами рекомендується вибирати бор в кількості 0,007–0,01 % для підвищення ефективності використання плавленого методу типу інструментальної сталі 25Х5ФМС.

При збільшенні вмісту бору їх кількість та наявність тріщин зростають. Спостерігаються виділення округлої форми (рис. 1.3). Збільшуючи кількість мікродобавок, збільшується частка карбоборидів (рис. 1.4).

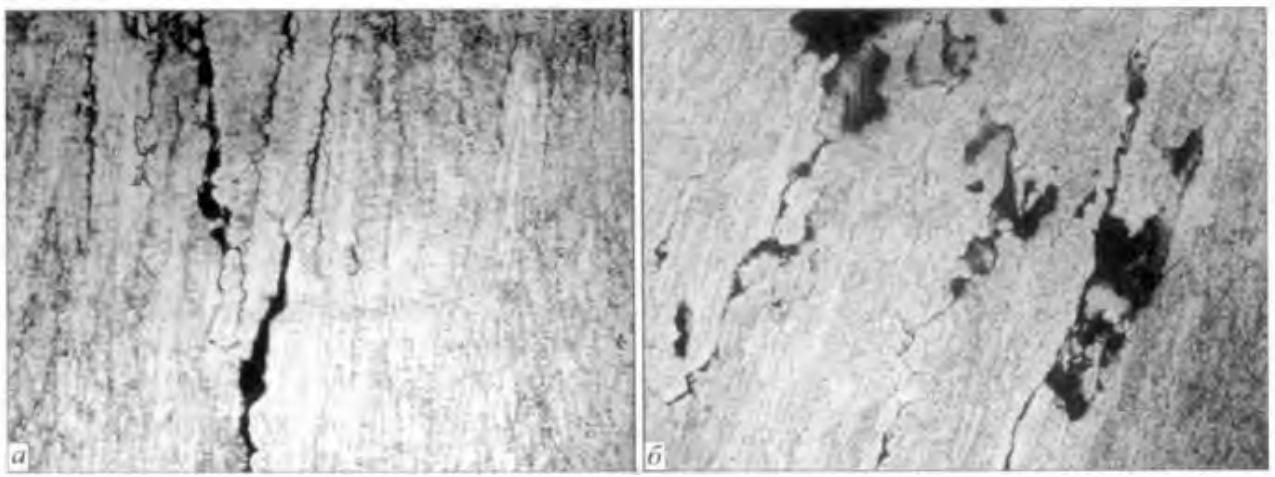


Рисунок 1.3 – Мікроструктура ділянок центральної частини металу з 0,02 % (а) та 0,04 % (б) бору, х 200

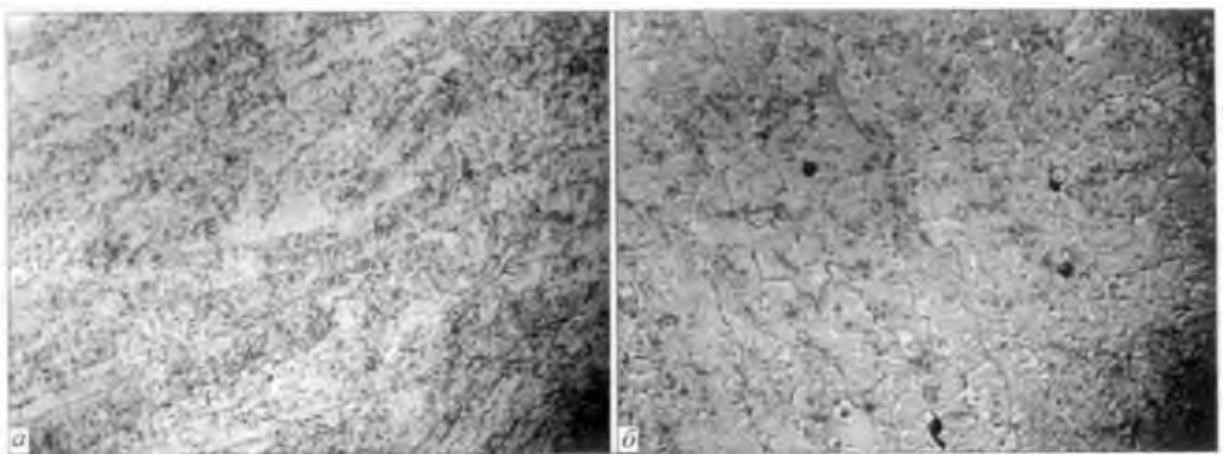


Рисунок 1.4 – Мікроструктура верхньої частини металу з 0,02 % (а) та 0,04 % (б) бору, х 200

1.3 Ефект додавання бору на високоміцну низьколеговану сталь

Сталі з високою міцністю та низьким вмістом сплавів (HSLA) можуть використовуватися в хмарочосах та великих мостах, а також у трубопроводах, надвеликих судинах та поблизу судин високого тиску. Для виготовлення цих пристроїв інженери повинні відповідати вимогам високої міцності, ударної в'язкості та гарної продуктивності зварювання низьколегованої сталі. Деякі легуючі елементи ефективніші за зміни властивостей стали, ніж інші.

Наприклад, Boron (B) можна використовувати для заміни вуглецю та інших елементів сплаву для підвищення міцності, і навіть невеликі кількості бору (менше 100 ppm) можуть впливати на мікроструктуру (рис. 1.5) та механічні властивості сталі.

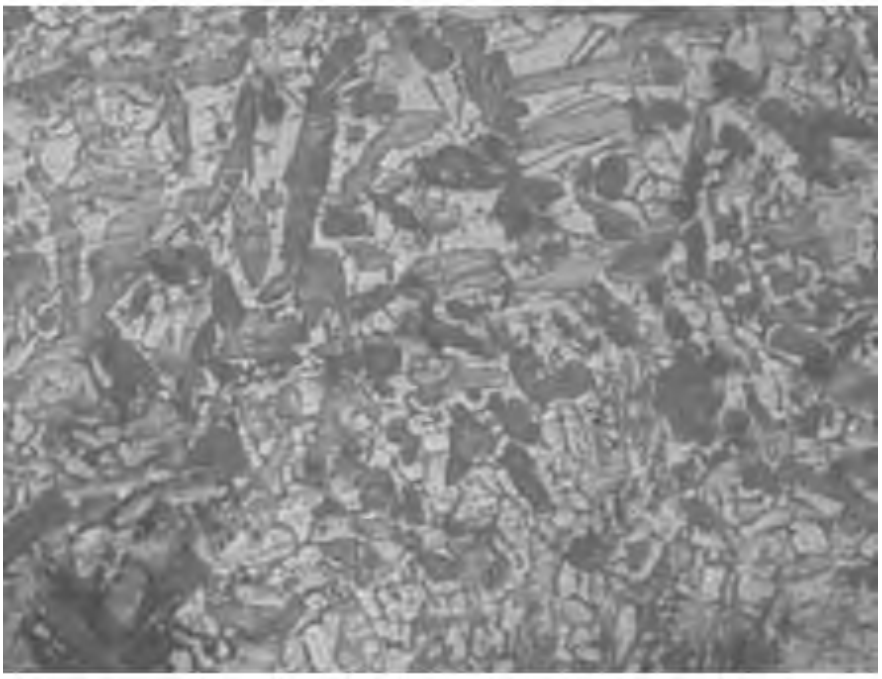


Рисунок 1.5 – Мікроструктура сталі з додаванням бора

У зв'язку з розвитком технології контролю та виявлення B, додавання B у сталь було приділено більше уваги. Додавання бору всього в 0,001% по масі може вплинути на механічні властивості сталі. Механічне властивість, найбільш схильна до впливу доданого бору, є прожарювання. Бор може

підвищити прожарювання сталі за рахунок граничного відхилення зерна і може також впливати на швидкість осадження карбіду та інших опадів на межі зерен.

Введення зварювального тепла є дуже важливим фактором при різних параметрах зварювання, а швидкість нагрівання та охолодження в процесі зварювання визначається введенням тепла. Тому на мікроструктуру та механічні властивості зварювання може сильно впливати тепловий вхід. Крім того, вхід тепла може впливати на сегрегацію бору, оскільки сегрегація бору визначається тепловим циклом. Експериментальні результати показують, що сегрегація бору спочатку збільшується, а потім зменшується зі збільшенням тепла. Нерівноважна сегрегація може спочатку виникати за малої тепловіддачі. З зменшенням швидкості охолодження та збільшенням часу експозиції за високої температури час дифузії боронних комплексів може збільшити рівень сегрегації бору. Нарешті, через різницю бору концентрації після введення критичного тепла атоми бору можуть дифундувати від межі зерен до внутрішньої частини зерна.

Попередні дослідження показали, що в може ефективно пригнічувати утворення феритної фази. Ущільнюваність може бути порушена лише перетином β-кордону. З додаванням бору підвищується прожарювання збільшувалася, і гранульована фаза бейніту на основі феритної структури була ефективно пригнічена. Таким чином, незважаючи на повільну швидкість охолодження, наприклад, за умови охолодження 5 ℃/с або 2 ℃/с 2 ℃/с спостерігається більш висока твердість мартенситу та феритову феритову мікроструктуру.

Сталеві пластини HSLA з добавками бору можна знайти в різних класах, багато з яких є власністю. Механічні властивості, пов'язані з додаванням B, вивчали шляхом спостереження мікроструктури. Надмірна кількість бору в сталі може фактично викликати зниження прожарюваності. Велика кількість бору може призвести до того, що сталева пластина стане крихкою та втратить міцність. Деякі дослідники також вивчили вплив сегрегації B на межі зерен та всередині зерен, щоб виявити нерівноважні явища сегрегації. Хоча рівень

сегрегації В низький, фаза мартенситу ефективніша, ніж фаза бейніту. У разі фази бейніту, хоча сегрегація В проводиться через дуже низьку швидкість охолодження, друга фаза без фериту може бути сформована на межі зерна. Тому посилюючий ефект сегрегації бору зменшується, тому що на межі зерен є друга фаза без феритів.

1.4 Борвмісні сплави: види та властивості

1. Марки борвмісних сталей, що можуть виплавлятися в Україні:

– згідно ГОСТ

1. 20ХГРБ (С: 0,17–0,24% С, Mn: 1,10–1,50% ,, Cr: 0,60–0,90%, B: 0,001–0,005%).

1. 30ХГСАБ (С: 0,27).

2. 10ХСНДБ (С: 0,09–0,15%, Si: 0,50–0,80%, Mn: 0,80–1,10%, Cr: 0,30–0,50%, B: 0,001–0,005%).

3. 35Г2Б (С: 0,30–0,40 %, Mn: 1,30–1,60 %, B: 0,001–0,005 %).

4. 40ХНБ (С: 0,37–0,44 %, Cr: 0,90–1,20 %, Ni: 0,40–0,70%).

- згідно EN

6. 30MnB5

7. 20MnB4

8. 37MnB4 (С: 0,34–0,39 %, Mn: 1,20–1,40 %, B: 0,0008–0,005 %).

9. 38MnB5 (С: 0,35–0,40 %, Mn: 1,10–1,50 %, B: 0,0008–0,005 %).

10. 27MnCrB5-2 (С: 0,24–0,30%, Mn: 1,15–1,45%, Cr: 0,20–0,30%, B: 0,0008–0,005%).

2. Американские марки (по AISI/SAE):

11. 15Б30 (С: 0,28–0,34 %, Mn: 0,70–1,00 %, B: 0,0005–0,005 %).

12. 10Б38 (С: 0,36–0,40 %, Mn: 0,80–1,20 %, B: 0,0005–0,005 %).

13. 15Б41 (С: 0,39–0,43 %, Mn: 1,20–1,50 %, B: 0,0005–0,005 %).

14. 51В60 (С: 0,56–0,64 %, Mn: 0,75–1,00 %, B: 0,0005–0,005 %).

15. 50Б44 (С: 0,42–0,46 %, Mn: 0,70–0,90 %, B: 0,0005–0,005 %).

3. Японські марки (по JIS):

16. SCM415B (C: 0,13–0,18%, Mn: 0,60–0,90%, Cr: 0,90–1,20%, B: 0,0005–0,005%).

17. S45CB (C: 0,42–0,48 %, Mn: 0,60–0,90 %, B: 0,0005–0,005 %).

18. S35C-B (C: 0,32–0,38 %, Mn: 0,60–0,90 %, B: 0,0005–0,005 %.)

4. Китайські марки (по GB):

19. 20МнБ (C: 0,18–0,23 %, Mn: 1,10–1,40 %, B: 0,0005–0,005 %).

20. 40CrMnB (C: 0,37–0,44%, Mn: 0,90–1,20%, Cr: 0,80–1,10%, B: 0,0005–0,005%).

Розмір ринку бористої сталі класифікується:

– за типом (з низьким вмістом бору, із середнім вмістом бору, з високим вмістом бору, сталь, легована бором);

– за застосування (автомобільна промисловість, будівництво, сільське господарство, промислові інструменти, оборона);

– за географічними умовами (Північна Америка, Європа, Азіатсько-Тихоокеанський регіон, Південна Америка, Близький Схід та Африка).

Перевагими сталей з бором (рис. 1.6) є:

1. Висока міцність у загартованому стані.

2. Формуємість: простота виготовлення складних конструкцій та деталей у гарячекатаному стані.

3. Пластичність і хороша оброблюваність різанням у гарячекатаному стані.

4. Зносостійкість: загартована деталь прослужить довше.

5. В'язкість та стійкість до тріщин.

6. Хороший опір механічним навантаженням.

Наприклад, якісна боровмісна сталь для загартування та відпустки – сталь марки 38MnB5 (рис. 1.7), що випускалася відповідно до вимог європейського стандарту EN 10083-3. Сталь 39MnB5/38MnB5 поставляється у вигляді безперервнолитих та гарячекатаних напівфабрикатів, листового та сортового прокату, а також поковок. Вироби, виготовлені з такого листа та профілів, після

термічної обробки набувають високої міцності та експлуатаційної стійкості, які й обумовлюють широке використання даного матеріалу в різних сферах машинобудування. Хімічні властивості 39MnB5/ 38MnB5 – сталь, легована марганцем (Mn) та мікролегована бором (B). Введення бору до складу 38MnB5 навіть у дуже малій кількості значно збільшує прожарювання сталі, сприяє подрібненню зерна і значно впливає на службові властивості після термічної обробки. Присутність шкідливих домішок сірки (S) та фосфору (P) обумовлена технологічними особливостями виплавки, при цьому їхня кількість невелика, що є характерною для якісних сталей.

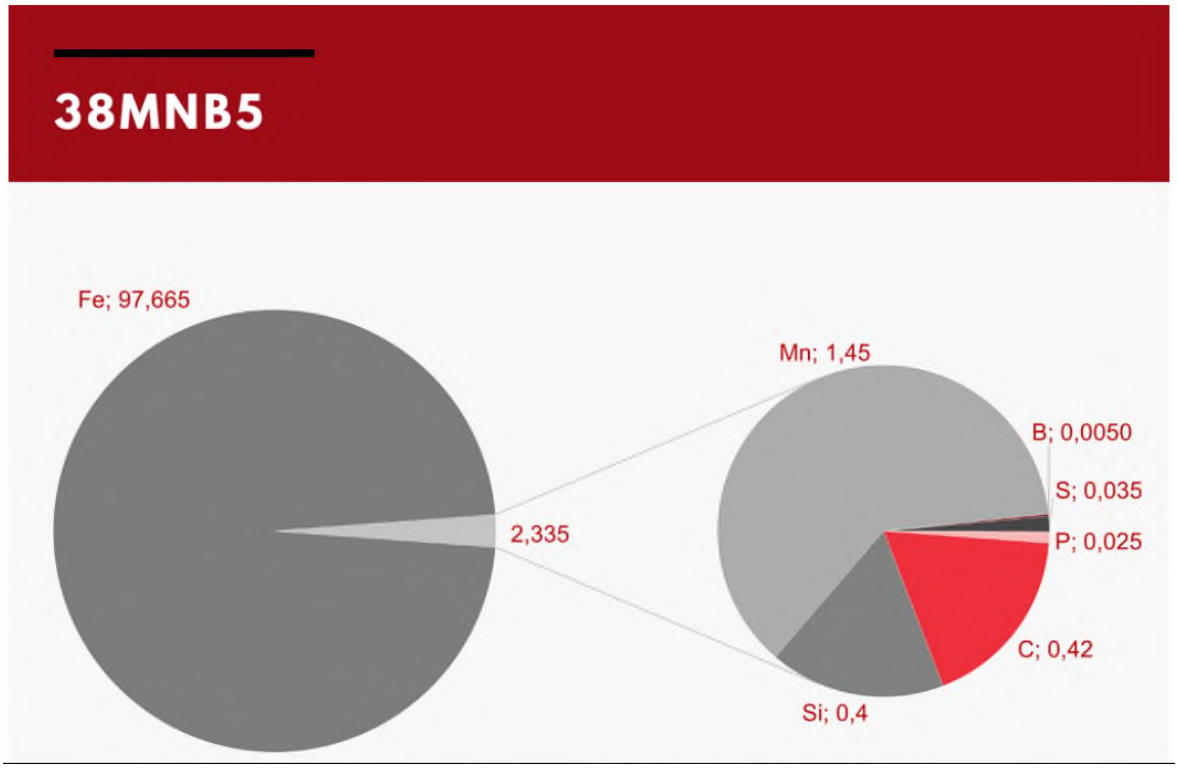


Рисунок 1.7 – Хімічний склад сталі 39MnB5/38MnB5

У гарячекатаному стані марки 39MnB5 і 38MnB5 досить пластичні, тому добре піддаються гарячому формуванню, токарній та слюсарній обробці. У той же час, після зміцнюючої термічної обробки сталі відрізняються підвищеною опірністю абразивному зносу, статичним і ударним навантаженням, мають високу тріщиностійкість. Сталі 39MnB5 і 38MnB5 поставляються переважно у гарячекатаному стані або після пом'якшувального відпалу. Як зміцнювальну





Рисунок 1.6 – Продукція з борвмісної сталі

термообробку кінцевих виробів застосовують загартування з відпусткою. ISO 683-2 та ДСТУ EN 10083-3 як рекомендовані режими пропонують загартування від температур 840–880°C у воді або олії з подальшою відпусткою при 400–600°C. При цьому остаточні режими термічної обробки вибираються виробником деталей залежно від технічних вимог до продукції та набору виробничого обладнання.

1.5 Лігатури з бором

1.5.1 Лігатура алюміній-титан-бор (AlTiB)

Лігатура алюміній-титан-бор (рис. 1.8 та рис. 1.9) призначена для легування алюмінієвих сплавів призначена для ефективного подрібнення зерна алюмінієвих сплавів за рахунок введення в розплав дрібнодисперсних кристалів дибориду титану, що служать центрами кристалізації. Введення цієї лігатури призводить до поліпшення механічних властивостей та зменшення газової пористості. Лігатура застосовна для всіх алюмінієвих сплавів (чистий алюміній, сплави, що деформуються, ливарні силуміни.

Галузь застосування: виробництво зливків для подальшої екструзії, виробництво фольги, виробництво відповідальних корпусних виливків «у кокіль» та «в піщано-глинисті форми». Лігатура може використовуватися у всіх типах плавильних агрегатів, розливних ковшів та міксерів. Лігатурою можна обробляти як весь обсяг розплаву в печі або ковші, так і вести обробку розплаву в струмені, потоці або кристалізаторах.

Технологія застосування: лігатура AlTiB вводиться в розплав вручну або за допомогою машини для безперервної подачі лігатури у вигляді прутка (дроту). Розплав перемішують для рівномірного розподілу дибориду титану. Розподіл фаз за обсягом лігатури ефект подрібнення зерна настає вже після закінчення 2-х хвилин з моменту введення лігатури в розплав і зберігається до 6 годин.



Рисунок 1.8 – Лігатура алюміній-титан-бор

Види лігатур алюміній-титан-бор:

– AlTiB 5/1 Ti 5%, B 1% Найбільш широко застосовується універсальна лігатура

– AlTiB 5/0,6 Ti 5%, B 0,6% Застосовується у випадках високого ризику утворення агломератів боридів

– AlTiB 5/0,2 Ti 5%, B 0,2% Застосовується у випадках високого ризику утворення агломератів боридів

– AlTiB 3/1 Ti 3%, B 1% Застосовується при використанні або шихти з високим вмістом титану

– AlTiB 3/0,2 Ti 3%, B 0,2% Застосовується при використанні або шихти з високим вмістом титану.

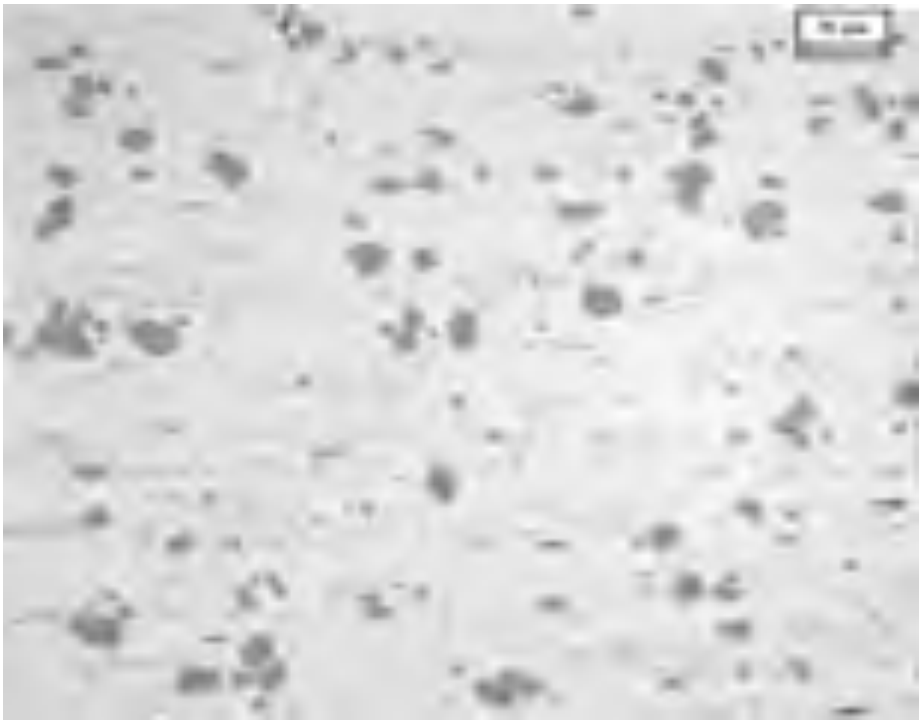


Рисунок 1.9 – Структура лігатури алюміній-титан-бор

Норми витрати:

1. Для легування чистого алюмінію та деформованих алюмінієвих сплавів

– Зливки для екструзії: 0,5–2 кг/т розплаву.

– Зливки під прокатку: 0,5–1,5 кг/т.

– Безперервна розливка – отримання смуги або листа: 1–3 кг/т.

2. Для легування ливарних алюмінієвих сплавів

– AlSi5Cu3 (AA 319): 3–5 кг/т розплаву;

– AlSi7Mg (AA356): 2–4 кг/т;

– AlSi12 (AA413): 1 кг/т;

– AlSi12Mg (AA360): 1–2 кг/т;

– AlMg5 (AA514): 3–5 кг/т;

– AlCu4 (AA 295): 3–5 кг/т.

1.5.2 Лігатура нікель-бор (NiB)

Лігатура нікель-бор (15% бору) застосовується в основному при виробництві зносостійких сплавів, а також застосовується як розкислювач та/або акцептор азоту при виробництві нікелевих сплавів. Бор також збільшує плинність цих сплавів. У спеціальних нікелевих сталях бор збільшує прожарювання, забезпечуючи високу зносостійкість. Лігатура нікель-бор використовується також і як розкислювач при виробництві мідно-нікелевих сплавів.

Лігатура NiB 15% поставляється у формі шматків розміром 1–30 мм і 4–50 мм.

Температура плавлення лігатури NiB 15% 1175°C, щільність – приблизно 6,5 г/см^3.

1.5.3 Лігатура алюміній-бор (AlB)

У міжнародних стандартах на електротехнічний алюміній максимальний питомий електроопір має перевищувати величини 0,028 Ом*мм2/м. Алюміній, призначений для такого використання, обробляється бором для нейтралізації шкідливого впливу титану, ванадію, хрому та цирконію на питому електричну провідність. Бор тримає в облозі ці елементи у вигляді нерозчинних борідів, таким чином, їх згубний вплив на питому електропровідність усувається. Марганець, залізо та кремній також погіршують електропровідність, проте легування бором не усуває негативного впливу цих елементів. Вплив елементів на електропровідність показано на діаграмі як залежності провідності від вагових відсотків.

Певний час тому у промисловості використовували методи додавання бору до розплаву реакцією з бури або фтороборату калію. Однак хімічні реакції в печах супроводжувалися дуже низьким засвоєнням бору та сильним виділенням шкідливих речовин у навколишнє середовище. Сьогодні ці методи є застарілими і були замінені додаванням лігатури алюміній-бор.

Лігатуру AlB (рис. 1.10) можна додавати у ванну з розплавом за температури 700–750°C. При тривалій витримці бориди агломерують та осідають у вигляді шламу високої концентрації. Усунення негативного впливу Ti, V, Cr та Zr на електропровідність можливе методом гравітаційної сегрегації у подових печах.

Різновидами лігатури алюміній-бор є: AlB3, AlB4, AlB5, AlB6, AlB8.



Рисунок 1.10 – Структура лігатури алюміній-бор

Ефект подрібнення зерна зменшується при легуванні бором, а крупнозерниста структура, що вийшла в результаті, може створити проблеми при виробництві тонких проводів. Цю проблему можна вирішити малими добавками лігатури AlTiB у формі прутка, що практично не призводить до погіршення питомої провідності та покращує пластичність сплаву. Як альтернатива може використовуватись і лігатура для подрібнення зерна AlTiC [5]–[13].

2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОРВМІСНИХ СТАЛЕЙ 20Г2Р, 30Г1Р ТА 30MNB4

Найважливішим завданням сучасного машинобудівного кріплення є покращення якості металопродукції та деталей, що виготовляються з неї, підвищення надійності та довговічності вузлів.

ВАТ «БМЗ» (Білорусь) здійснює виробництво гарячекатаного сортового круглого прокату різних профілерозмірів зі сталей марок 20Г2Р, 30Г1Р, 20MnB4, 30MnB4 і 32CrB4 (табл. 1.1), мікролегованих бором. Дана продукція виробляється відповідно до ТУ 14-1-4486-88, ТУ 14-1-5490-2004 та DIN EN10263-4 або відповідно до оригінальних фірмових специфікацій кінцевих споживачів. Вищевказані марки сталі застосовуються виготовлення кріплення замість сталей 35Х, 38ХА і 40Х.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталей 20Г2Р, 30Г1Р та 30MnB4 і 32CrB4 згідно з ТУ 14-1-4486-88, ТУ 14-1-5490-2004 та DIN EN10263-4

Хімічний елемент	Вміст елементів, мас. %		
	сталь 20Г2Р	сталь 30Г1Р	сталь 30MnB4
C	0,17-0,24	0,17-0,33	0,17-0,32
Mn	0,9-1,3	0,9-1,3	0,8-1,1
Al	не менше 0,01	0,02-0,05	
B	не менше 0,001	0,002-0,005	0,0008-0,005
Cr	не менше 0,250	0,15-0,3	не менше 0,3
Si	0,17-0,35	не більше 0,17	не менше 0,3
S	не менше 0,035	не більше 0,015	не більше 0,25
P	не менше 0,035	не більше 0,02	не більше 0,25
N_2	не менше 0,012	не більше 0,01	-
Ni	-	не більше 0,1	-
Cu	-	не більше 0,1	не більше 0,25

Серед переваг використання 0 і 30Г1Р перед сталями 35Х, 38ХА і 40Х є:

– зниження дефектності поверхні металовиробів;

– підвищення стабільності механічних властивостей болтів, гвинтів, шпильок класу міцності 8.8 та 10.9;

– сталь 20Г2Р забезпечує стабільні механічні властивості виробів до М27 (на відміну від сталі марки 35Х, яка забезпечує лише болтів М16 класу міцності 8.8);

– високий рівень ударної в'язкості за негативних температур.Для автомобільної промисловості характерно переважне використання сталевих боров для виготовлення болтів, гвинтів, шпильок класу міцності 8.8 і 10.9 – сталь 20Г2Р і класу міцності 10.9 і 12.9 – сталь 30Г1Р.

Механічні властивості болтів, виготовлених з борвмісних сталей, наведені в табл.1.2.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості болтів, виготовлених з борвмісних сталей

Клас міцності	НВ		МПа, не менша		А, % не менше
	d <16мм^2	d >16мм^2	d <16мм^2	d >16мм^2	
8,8	245-316	250-331	номінальна 800		12
			800	830	
10,9	316-375		номінальна 1000		9
			1040		

Промислове використання борвмісних сталей типу 20Г2Р, 30Г1Р та 30MnB4 при виготовленні відповідальних кріпильних деталей для автомобілів призводить до значного збільшення міцності та стійкості останніх. Особливістю цих сталей є поєднання високої технологічної пластичності та прожарювання. Порівняно з традиційними хромистими сталями (35Х, 38ХА, 40Х) борсодержащие сталі мають менший опір деформування при холодному штампуванні, що забезпечує хорошу штампування і підвищення стійкості

холодновисаджувального інструменту. Сталі марок 20Г2Р, 30Г1Р і 30MnB4 характеризуються гарною прожарюваністю при охолодженні у воді і маслі, а кріпильні вироби з них після термічної обробки мають міцнісні властивості на рівні хромистих сталей при більш високих показниках пластичності і особливо в'язкості. Випробування кріпильних виробів із сталі 30MnB4, виготовлених на холодноштампувальних автоматах з подальшою термічною обробкою, показали, що за механічними властивостями вони відповідають класу міцності 10.9 згідно з ГОСТ ISO 898-1-2004. В умовах експлуатації випадки руйнування кріпильних виробів з цієї сталі практично не спостерігається.

Використання боровмісних сталей має масу переваг. Найбільш ефективний вплив бору надає прожарювання. Введення одного атома бору на 25 000 атомів заліза збільшує глибину загартованого шару в 2 рази, тому бор вводять у вуглецеві сталі для підвищення механічних властивостей за рахунок підвищення прожарювання, а в конструкційні леговані - для забезпечення того ж ефекту при одночасному зниженні витрати легуючих металів без погіршення механічних властивостей та з підвищенням показників оброблюваності, втомної міцності, зварюваності. Це дозволяє знизити собівартість, а й поліпшити його технологічність.

Є дані, що присадка 0,001% по впливу на прожарювання еквівалентна введенню 1,33% Ni + 0,31% Cr + 0,04% Mo, тобто 1,68% дорогих легуючих елементів.

Оптимальна кількість бору, що викликає найбільше збільшення прожарюваності, дорівнює 0,0003–0,01%.

Добавка 0,0015-0,0030% може замінити значну кількість більш дорогих легуючих елементів: Ni – 1,0–1,2%; Mo – 0,1–0,2 %; Cr – 0,3–0,4 %; Mn – 0,2–0,7%; V – 0,12% та Si – 1,6%.

Мета введення бору – придушення утворень фериту та забезпечення практично повністю мартенситної (бейнітної) структури сталі з більш високими механічними властивостями, на які також благотворно впливають дрібнодисперсні частинки карбоборидної фази, що утворюються при

термообробці. Якщо врахувати, що бір – поверхнево-активний елемент, то він, виділяючись по межах зерен, гальмує дифузію елементів сталі, а також карбонитроборидыы, що утворюються, подібно карбонітридів Nb, Ti і V, зміцнюватимуть сталь і підвищуватимуть температуру рекристалізації при проведенні термічної обробки.

Бор підвищує тривалу міцність, опір повзучості та тривалу пластичність сталей та сплавів. Основною причиною зазначеного впливу є розчинення бору в граничних зонах, що зміцнює межі зерен та уповільнює перебіг дифузійних процесів у цих ділянках.

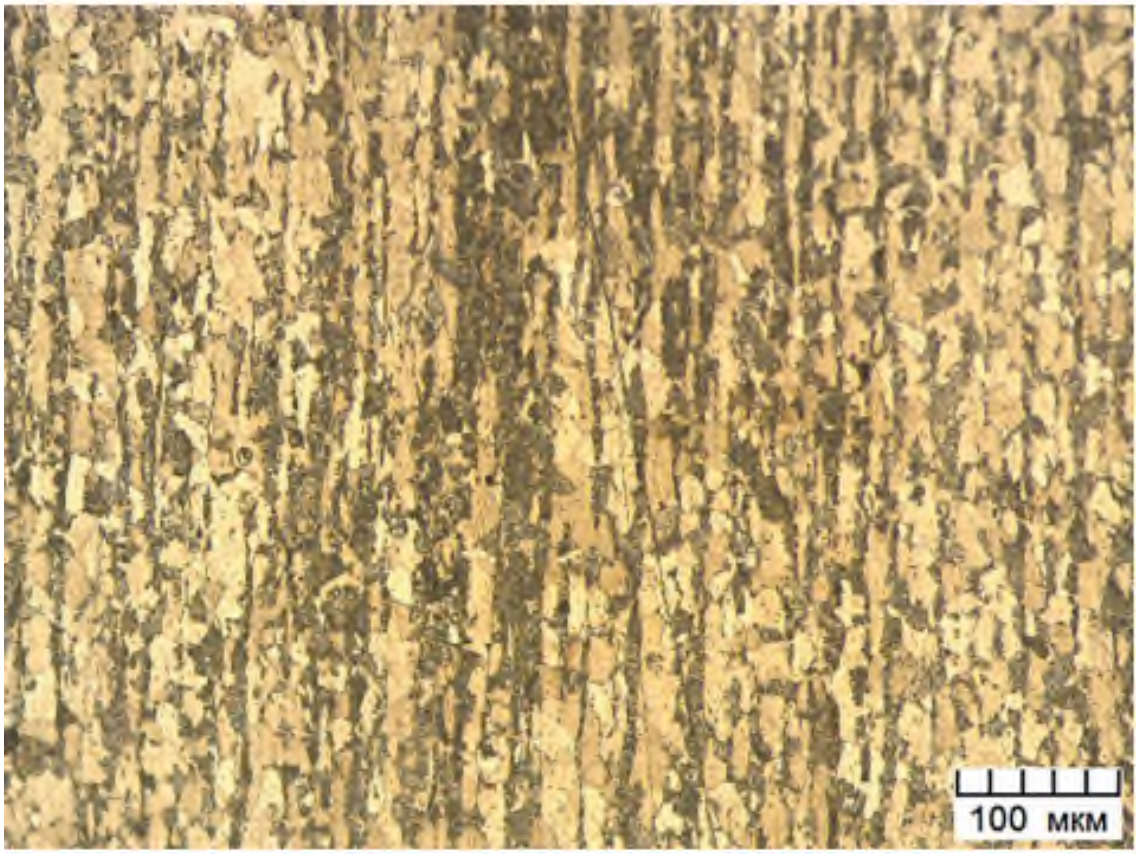
Найбільш сильний ефект підвищення прожарювання за рахунок бору виражений для низьковуглецевих сталей. У міру збільшення концентрації вуглецю він знижується і на прожарювання евтектоїдних сталей не впливає.

При підвищенні температури аустенізації ефективність бору також знижується.

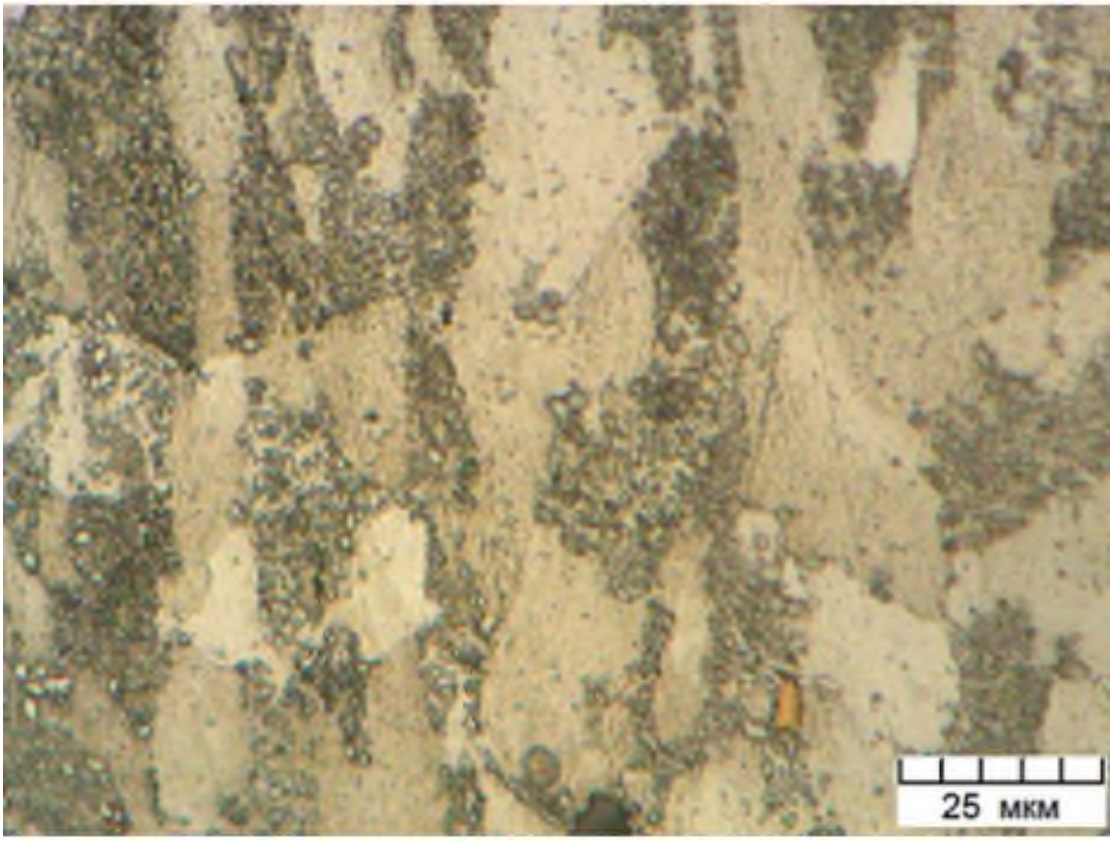
Сталь 30МпВ4 у стані гарячого прокату після термообробки на зернистий перліт має феррито-перлітну структуру з колоніями у вигляді цементитних зерен, витягнутих уздовж напрямку прокатки (рис 2.1, а). Прокат у такому стані має твердість 128–143 НВ.

Після холодного формування головки болта колонії зернистого перліту розвертаються перпендикулярно до напрямку прокатки. Твердість головки болта у деформованому стані становить 174–207 НВ.

Потім проводиться накочування різьблення і подальша відпустка при 580°С перед остаточною термообробкою (твердість 160 НВ). При накатці різьблення за рахунок високої пластичності сталі 30МпВ4 поверхневі шари з колоніями карбідів не перерізаються, а вдавлюються (рис. 2.1, б), зберігаючи високу міцність.

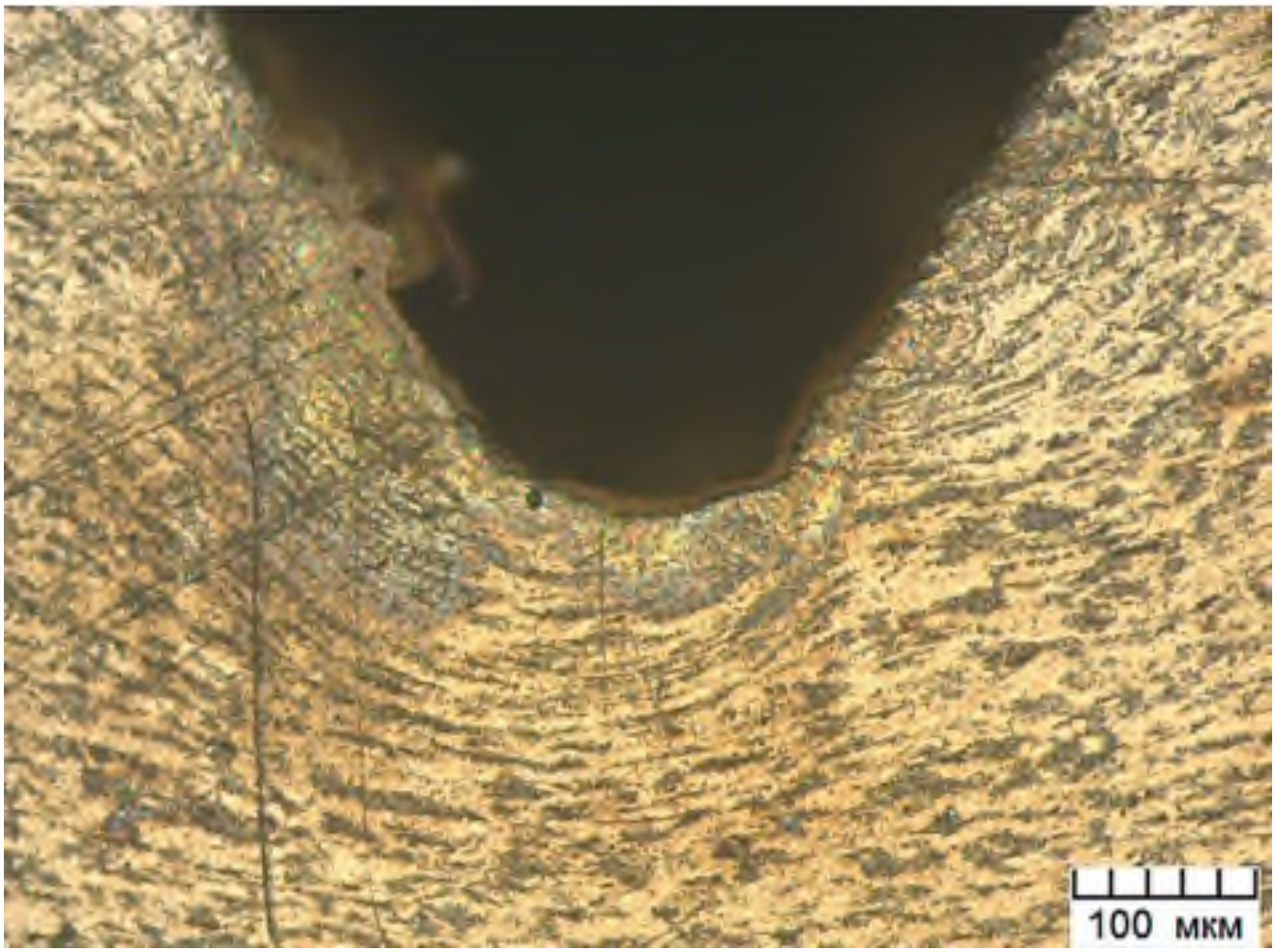


x200



x800

а



Х200

б

а – структура перлитна зерниста вздовж направлення прокатки;

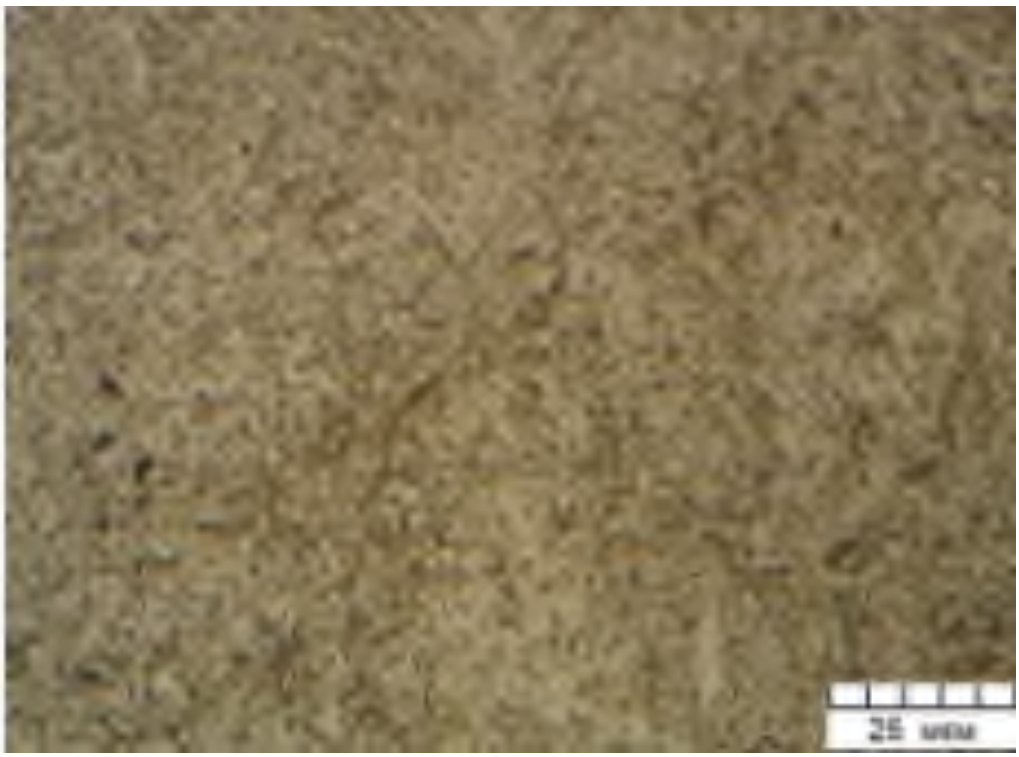
б – структура западини різьблення болта

Рисунок 2.1 – Мікроструктура сталі 30MnB4

Твердість болта у такому стані становить 163–174 НВ.

Після загартування (890 °С) структура мартенситного болта (рис. 2.2, а) з твердістю 46 HRC і після подальшої відпустки (415 °С) він має структуру трооститу відпустки з твердістю 36 HRC (рис 2.2, б).

Було досліджено стан різьблення болтів, виготовлених із сталей марок 40Х та 30МпВ4. Накочування різьблення проводили після холодного формування головки болта. Структура металу в обох випадках - зернистий перліт.



х800

а

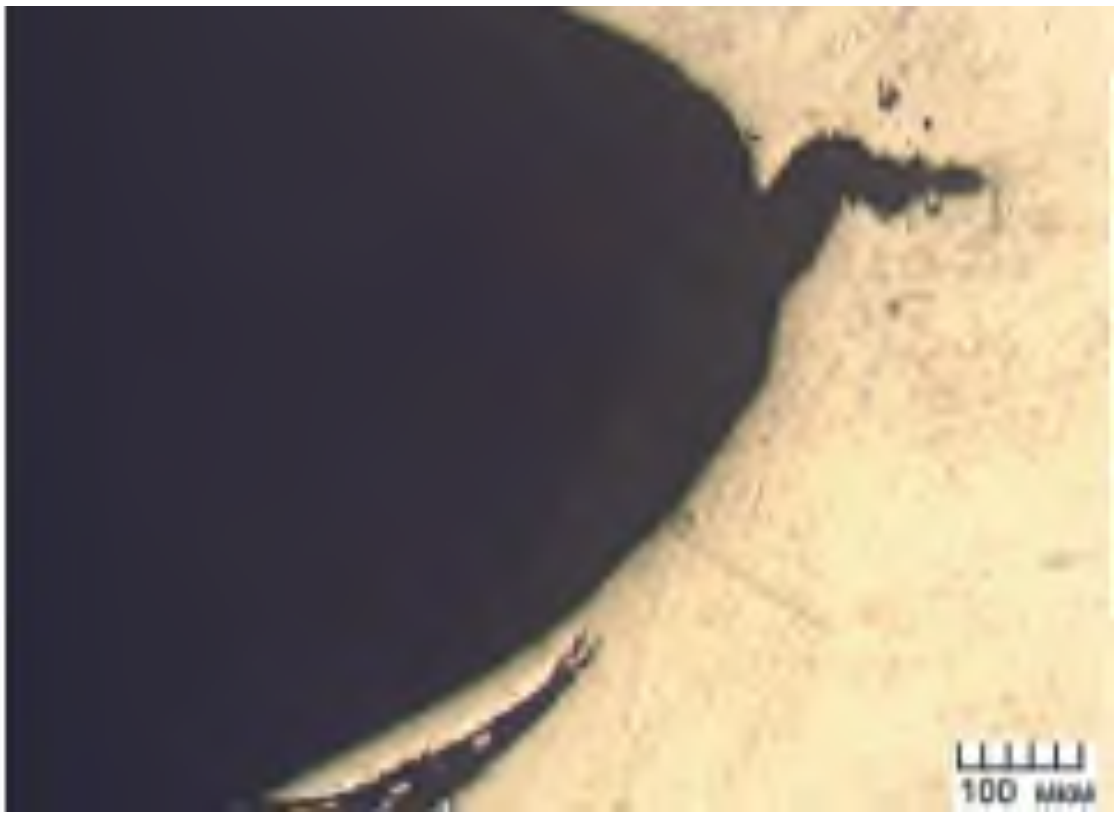


х200

б

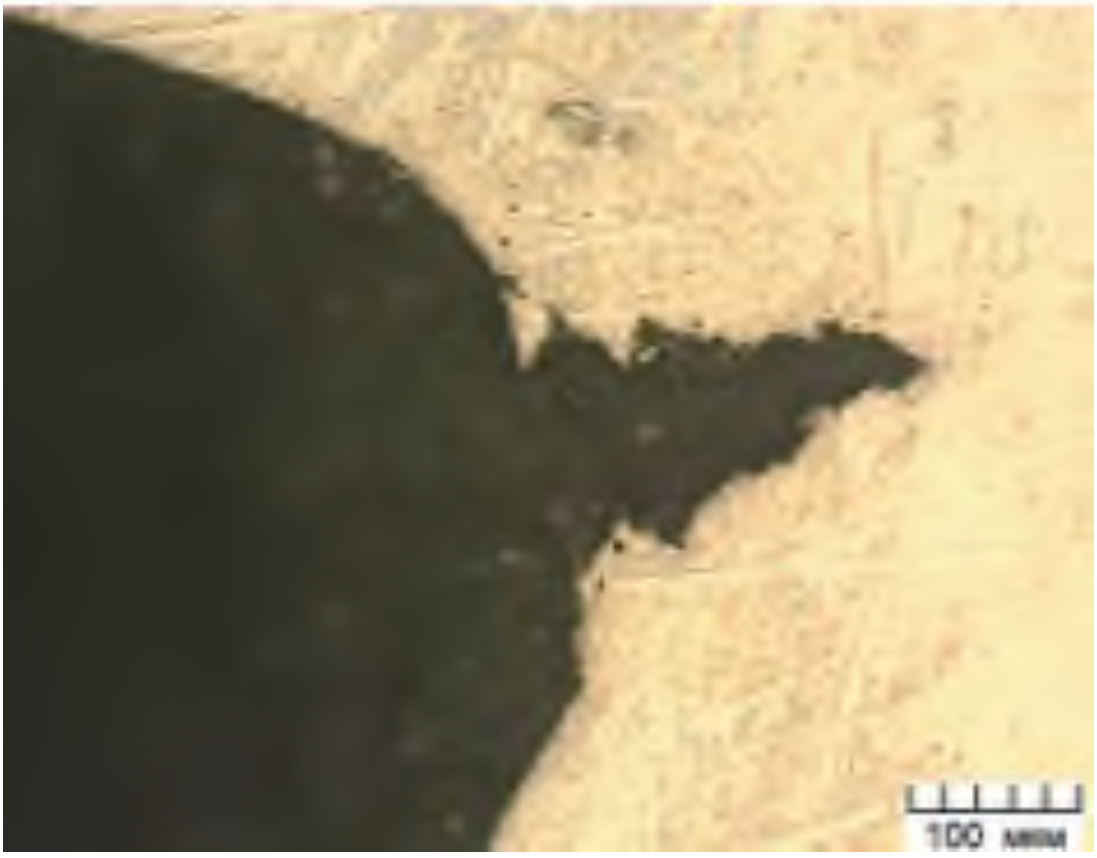
а – структура після загартування; б – структура після відпустки

Рисунок 2.2 – Мікроструктура сталы 30МпВ4



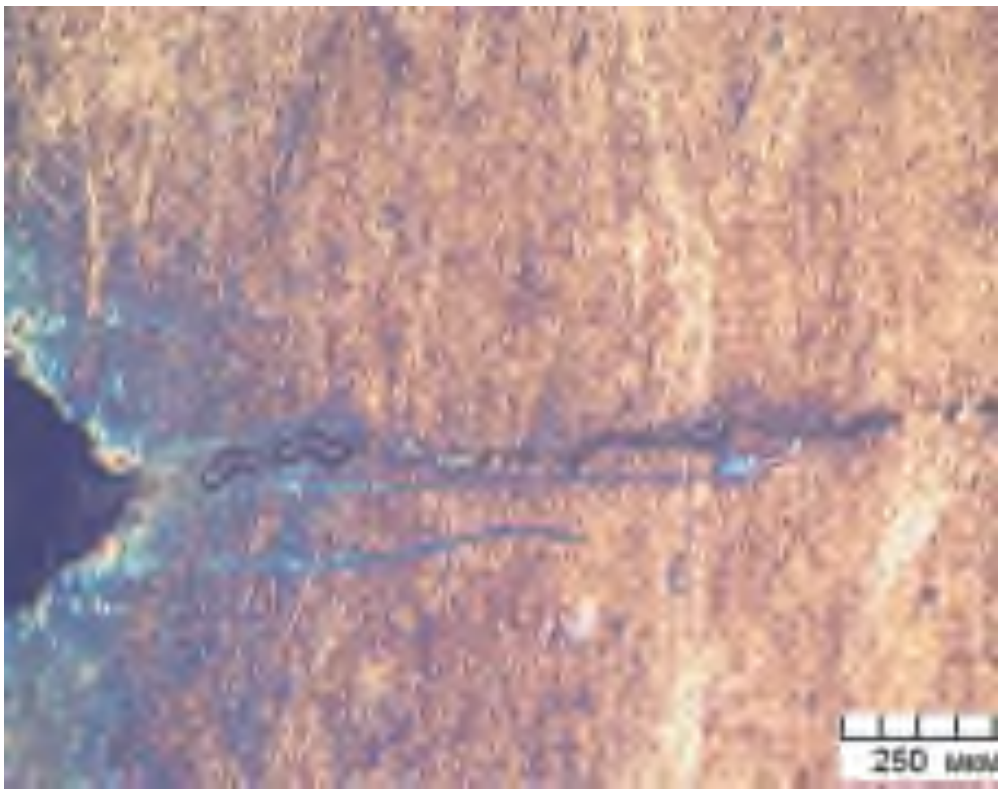
х200

а



х200

б



х100

в

а, б – надрив; в – тріщина

Рисунок 2.3 – Мікроструктура западин різьблення болтів із сталі 40Х

На рис. 2.3, а б показані западини різьби болта, виготовлені зі сталі 40Х. У деяких місцях після накатки різьблення у западинах утворюються гострі надриви. Це концентратори напруги, які можуть призвести до руйнування болта. На рис. 2.3, показана тріщина, що утворилася під час накатки. Після термообробки (загартування) вона окислилася.

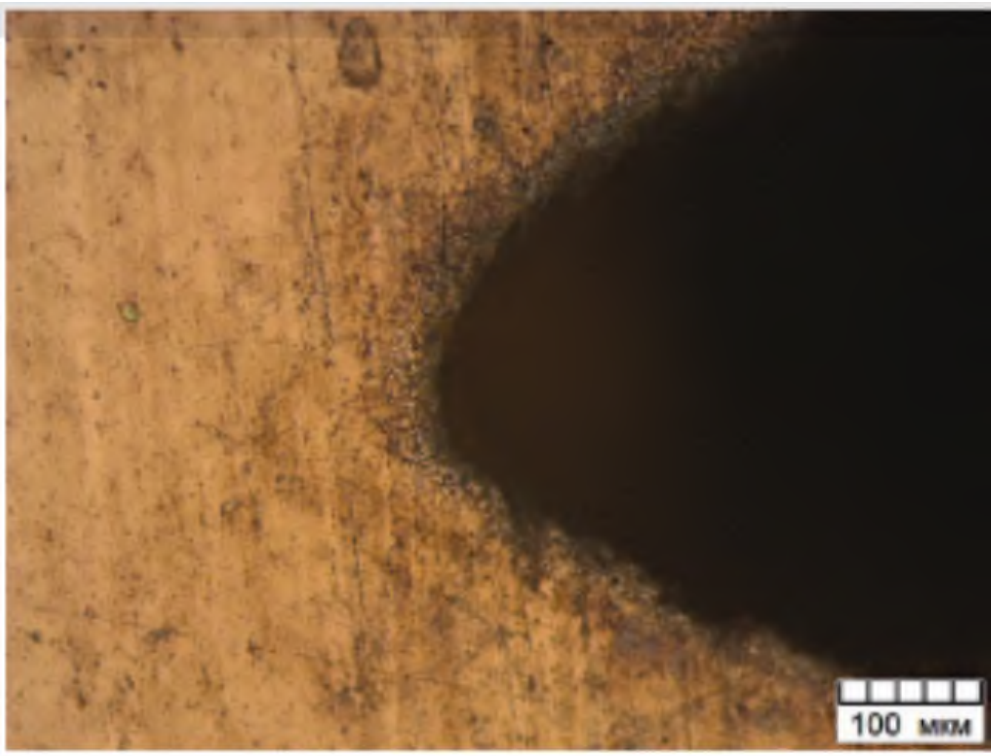
На рис. 2.4 показані западини різьблення болта зі сталі 30MnB4. У них відсутні подібні надриви.

Була визначена мікротвердість обох сталей перед накаткою на мікротвердомірі ПМТ-3:

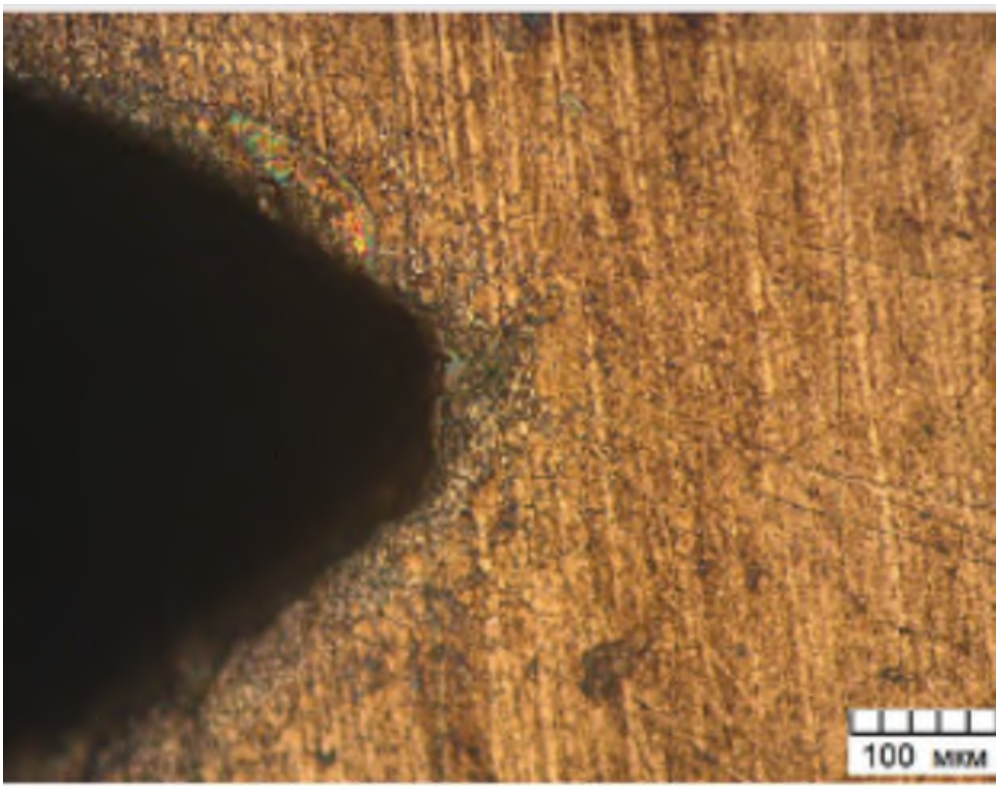
– сталь марки 40Х – мікротвердість зернистого перліту 209HV (210HB);

– сталь марки 30MnB4 – мікротвердість зернистого перліту 140HV (140HB);

– сталь марки 30MnB4 – мікротвердість фериту (127HB).



x200



x200

Рисунок 2.4 – Мікроструктура западин різьблення болтів із сталі 30MnB4

Як зазначалося раніше, сталь марки 30MnB4 має твердість нижче і має підвищену технологічну пластичність.

Таким чином, проведено дослідження структури кріпильних виробів із сталей 40Х та 30MnB4. Встановлено, що за рахунок мікролегування бором (0,005%) низьколегованих сталей відбувається значне підвищення прожарювання (в 2–3 рази) і відповідно властивостей міцності. У зв'язку з цим заміна легованих сталей на боровмісні дає високу економію легуючих елементів. Боровмісні сталі в стані поставки зі структурою зернистого перліту мають високу технологічну пластичність - в холодну проводиться формування головки болта і накочування різьблення без утворення надривів у западинах різьблення, як відбувається з хромистими сталями типу 40Х. Пластичність їх підвищується за рахунок зниженого вмісту вуглецю та хрому, а також утворення дисперсних карбонітридоборидних фаз глобулярної форми.

Ці боридні фази, як і карбонітридні фази карбидообразующих елементів Nb, Ti і V, підвищують температуру рекристалізації і зміцнюють сталі дисперсними виділеннями.

3 ВПЛИВ МІКРОЛЕГУВАННЯ БОРОМ НА ПРОЖАРЮВАННЯ СТАЛЕЙ

Невеликі добавки бору викликають значне подрібнення зерен, підвищення жароміцності в результаті зміцнення меж зерен боридами, зростають твердість і зносостійкість, гаряча пластичність злитків, покращується зварюваність жаростійких аустенітних сталей. Однак однією з основних якостей бору є його здатність різко підвищувати прожар бору. Такий вплив бору на прожарювання стали засновано на його здатності ефективно гальмувати перетворення аустеніту на ферит, сприяючи утворенню більш твердих фаз – бейніту і мартенситу. Розчинений у металевій матриці бір концентрується в тонких прикордонних шарах зерен аустеніту, роблячи структуру меж зерен більш досконалою. Як відомо, центри рекристалізації насамперед утворюються за межами зерен.

Мікродобавки бору, зазвичай не більше 0,001–0,003%, дозволяють заощаджувати такі гостродефіцитні легуючі елементи, як нікель, хром, молібден і марганець, зберігаючи при цьому необхідний рівень прожарювання та інших механічних властивостей. Збільшення вмісту бору понад 0,004% вже не позначається на прожарюваності і може навіть трохи зменшувати її.

Незважаючи на технологічні переваги боровмісних сталей, їх впровадження в масове виробництво пов'язане з певними труднощами. Так, при проведенні механічних випробувань на визначення смуги прожарювання на двох плавках стали марки 30МпВ4 були отримані задовільні результати випробувань, а на двох наступних плавках стали марки 35МВ5 – незадовільні результати випробувань. Факторами, що впливають на прожарювання сталей є:

1. В першу чергу перевірили можливий вплив способу підготовки зразків для випробувань (кутий або точений зразок).

2. Важливими факторами, що визначають прожарювання, є також вихідна структура сталі перед гартуванням і величина аустенітного зерна. У досліджуваних плавках структура гарячекатаного металу перлітна з феритною

облямівкою, біля поверхні спостерігається часткове знеуглероживание. . У вимоги контрактів нормується величина зерна не більше 6-8 номерів. За дослідженнями деяких фахівців найбільш сприятлива величина зерна 7-го номера відповідно до шкали ASTM E112.

3. Відомо, що з підвищенням температури нагрівання під загартування і збільшенням тривалості витримки прожарювання сталі, як правило, збільшується

На досліджуваних плавках умови термічної обробки практично однакові. Тому даним фактором можна знехтувати.

4. Швидкість кристалізації. Цей вплив проявляється через мікронеоднорідність хімічного походження. Чим вища швидкість охолодження, тим грубіша дендритна структура, і, отже, хімічна неоднорідність більша

5. Вплив хімічного складу та неметалевих включень розглянемо докладніше.

Особливістю виробництва боровмісних сталей є те, що на прожарювання надає вплив не весь бір, а лише та його частина, яка не пов'язана в оксиди, нітриди або інші сполуки і знаходиться в твердому розчині в аустеніті (так званий «вільний» або «ефективний» бір). Бор – виключно активний і реакційний елемент, легко окислюється і зв'язується в нітриди і, будучи введений в розплав, він активно взаємодіє навіть з дуже малими, залишковими концентраціями розчинених у металі киснем та азотом . Тому основне завдання при борному мікролегуванні - запобігти окисленню і азотуванню бору і отримати в металі необхідну кількість розчиненого бору, що вимагає дотримання особливих заходів при виплавці сталі, що містять бор.

Основним елементом, що надає ключове впливом геть величину «ефективного» бору, є азот. Утворення нітридів бору в цьому випадку слід уникати, для чого в метал вводиться титан, який має більшу спорідненість до азоту, ніж бор, і також утворює нітриди в рідкій фазі. Зазвичай при виплавці сталі з мікродобавкою бору вводять титану в 4–5 разів більше (у вигляді ферротитану), ніж вміст азоту в сталі, враховуючи ставлення атомних ваг титану і азоту, а

також засвоєння титану.

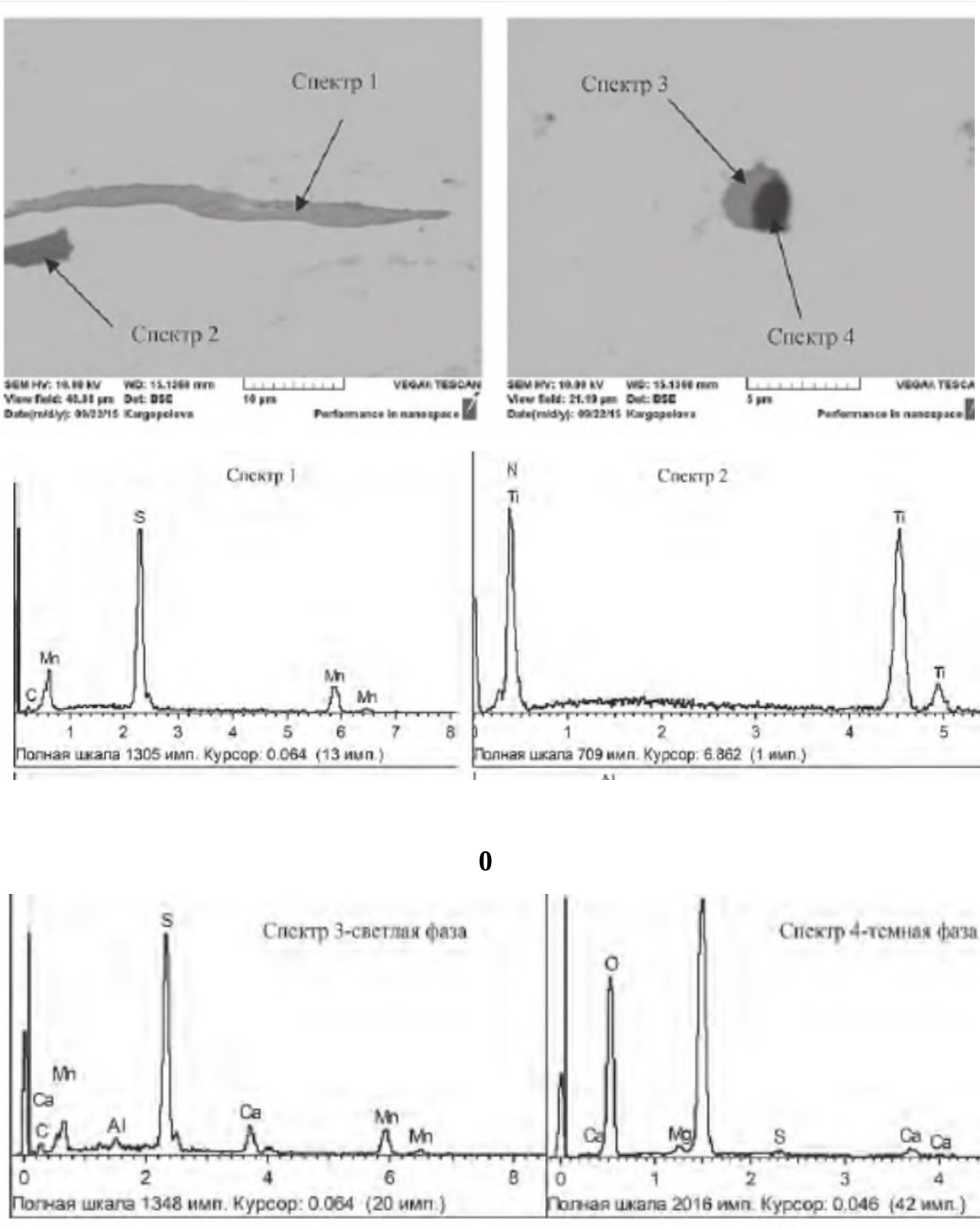


Рисунок 3.1 – Склад неметалевих включень

Аналіз хімічного складу показав на наявність включень (рис. 3.1).

Таким чином, загальний зміст легуючих елементів в борвмісних сталях не є головним, тут важливіша форма присутності елементів у сталі. Даний факт повністю пояснює виникнення нестабільності одержуваних властивостей.

4 РОЗРАХУНОК БАЛАНСУ БОРВМІСНОЇ СТАЛІ ПО ЕЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОМУ ЦЕХУ

4.1 Початкові данні розрахунку

Початкові данні для розрахунку балансу металу по електросталеплавильному цеху приведено в табл. 4.1, 4.2.

Таблиця 4.1 – Норми втрат

Цех, агрегат	Вид втрат	Норми втрат, %		
		№ марки сталі		
		1	3	5
ЕСПЦ 1	Літники	1,3	1,4	1,3
	Скрап, брак, недолітки	2,7	2,6	2,8
	Вигар	7,45	6,45	5,36
	Втрати при зачистці	0,05	0,05	0,05
Стан 950 2	Обріз, скрап (зливки)	20,0	17,0	19,5
	Обріз, скрап (заготівки)	11,0	10,0	11,0
	Вигар (зливки)	2,0	2,0	2,5
	Вигар (заготівки)	2,0	2,0	2,5
КЦ 4	Обріз, скрап (зливки)	27,0	23,0	24,0
	Обріз, скрап (заготівки)	5,0	4,0	5,0
	Вигар (зливки)	2,0	2,0	2,5
	Вигар (заготівки)	2,0	2,0	2,5
ЦТО 9	Обріз, брак (прокат)	1,0	1,0	1,0
	Вигар (прокат)	1,0	1,0	1,0

Таблиця 4.2 – Сортамент металу ЕСПЦ, що проєктується

№ групи марок сталі	Найменування групи марок сталі	Марки сталі, що входять в кожну групу
1	Підшипникові	ШХ15, ШХ20СГ
3	Конструкційні	20Г2Р, 30Г1Р
5	Конструкційна хроміста	38ХА, 40Х

4.2 Розрахунок метало шихти по металургійному підприємству

Типова схема переділу борвмісних марок сталей по металургійному підприємству передбачає (рис. 4.1):

– виплавку сталі в дугових печах в електросталеплавильному цеху (ЕСПЦ) та розливку металу на зливки;

– переділ заготівель на обтискному стані (стан 950) або в ковальському цеху (КЦ);

– термообробку в цеху термічної обробки (ЦТО);

– доставку до складу готової продукції (СГП).

Визначаємо сортамент придатних зливків по ЕСПЦ:

– для сталей групи 1: 1 200 000 · 50% = 600 000 т;

– для сталей групи 3: 1 200 000 · 35% = 420 000 т;

– для сталей групи 5: 1 200 000 · 15% = 180 000 т.

Визначаємо баланс металу в електросталеплавильному цеху (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Баланс металу в ЕСПЦ

№ груп марок сталі	Потрібно придатних зливків, т	Втрати металу						Всього оборотних відходів, т	Споживання металошихти, т
		вигар та зачищення зливків		літники		скрап, брак, недолітки			
		%	т	%	т	%	т		
1	600000	7,5	45000	1,3	7800	2,7	16200	24000	669000
3	420000	6,5	27300	1,4	5880	2,6	10920	16800	464100
5	180000	5,41	9738	1,3	2340	2,8	5040	7380	197118
Всього:	1200000		82038		16020		32160	48180	1330218

Схема переділу металу на металургійному підприємстві приведена на рис. 4.1.

Втрати металу в ЕСПЦ у вигляді вигару та зачищення зливків складають:

– для сталей групи 1: 7,45+0,05= 7,5 %;

– для сталей групи 3: 6,45+0,05= 6,5 %;

– для сталей групи 5: 5,36+0,05= 5,41 %.

Витратний коефіцієнт по кожній групі марок сталей:

$$K_i = \frac{M_{задано,\ i}}{\text{М}_{\text{придатного } металу,\ i}} \qquad (4.1)$$

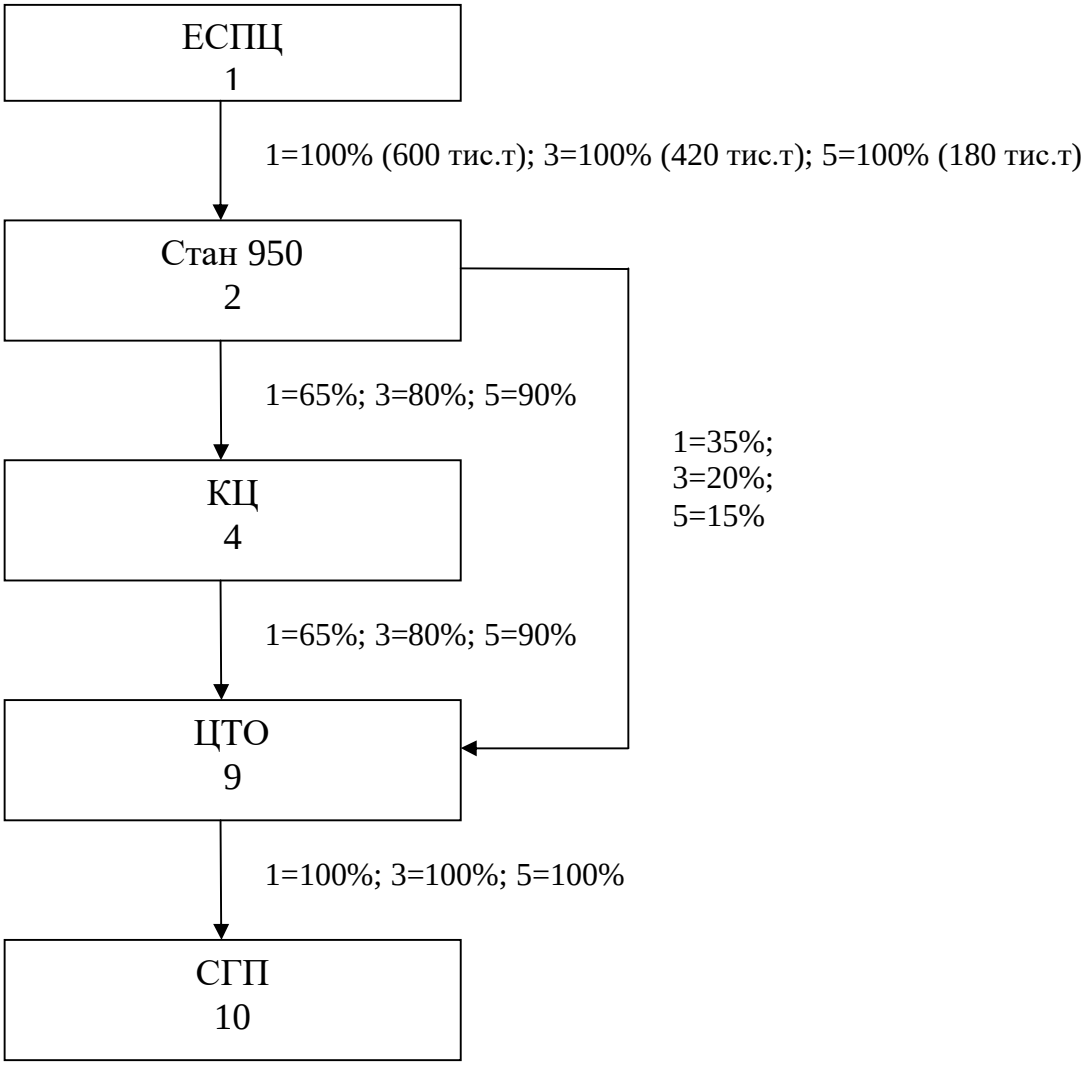


Рисунок 4.1 – Схема переділу металу на металургійному підприємстві

Для сталей групи 1: $K_1 = \frac{669000}{600000} = 1{,}115 \ \ m/m.$

Для сталей групи 3: $K_3 = \frac{464100}{420000} = 1{,}105 \ \ m/m.$

Для сталей групи 5: $K_5 = \frac{1971180}{180000} = 1{,}095 \ \ m/m.$

Вихід придатного – показник, зворотній витратному коефіцієнту:

$$h_i = \frac{M_{\text{придатного металу, } i}}{\text{М}_{\text{задано } i}} \times 100\%. \qquad (4.2)$$

Для сталей групи 1: $h_1 = \frac{600000}{669000} \times 100\% = 89{,}686 \ т/т.$

Для сталей групи 3: $h_3 = \frac{420000}{464100} \times 100\% = 90{,}498 \ т/т.$

Для сталей групи 5: $h_5 = \frac{180000}{1971180} \times 100\% = 91{,}316 \ т/т.$

У відповідності до заданої схеми переділу металу (рис. 2.1) метал з ЕСПЦ відправляється на переділ до обтискного стану 950. Баланс металу по обтискному стану 950 представлено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Баланс металу по обтискному стану 950

№ груп марок сталі	Задано зливків, т	Втрати металу				Отримано придатних заготівок, т	Витратний коефі-цієнт, т/т
		вигар		обріз, брак			
		%	т	%	т		
1	600000	2	12000	20	120000	468000	1,282
3	420000	2	8400	17	71400	340200	1,235
5	180000	2,5	4500	19,5	35100	140400	1,282
Всього:	1200000		24900		226500	948600	

Розподіляємо метал за двома вантажопотоками (табл. 2.5) та визначаємо кількість металу, який пішов до ковальського цеху (табл. 2.6) та у цех термічної обробки (табл. 2.7).

Таблиця 4.5 – Розподіл металу по переділам

№ груп марок сталі	Маса металу на КЦ, т	Маса металу на ТО, т
1	468000· 0,65 = 304200	468000–304200 = 163800
3	340200· 0,8 = 272160	340200–272160 = 68040
5	140400· 0,9 = 126360	140400–126360 = 14040
Всього:	702720	245880

Таблиця 4.6 – Баланс металу по КЦ

№ груп марок сталі	Задано поковок у переп-лав, т	Втрати металу				Отримано придатних заготівок, т	Витратний коефі-цієнт, т/т
		вигар		обріз, брак			
		%	т	%	т		
1	304200	2	6084	27	82134	215982	1,408
3	272160	2	5443,2	23	62596,8	204120	1,333
5	126360	2,5	3159	24	30326,4	92874,6	1,361
Всього:	702720		14686,2		175057,2	512976,6	

Таблиця 4.7 – Баланс металу по цеху термічної обробки

№ груп марок сталі	Задано металу на термічну обробку, т			Втрати металу				Отримано готових виробів, т	Витра т-ний коефі-цієнт, т/т
	зі стану 950	з КЦ	всього	вигар		обріз, брак			
				%	т	%	т		
1	163800	215982	379782	1	3797,82	1	3797,82	372186,36	1,02
3	68040	204120	272160	1	2721,6	1	2721,6	266716,8	1,02
5	14040	92874,6	106914,6	1	1069,146	1	1069,146	104776,308	1,02
Всьо-го:	245880	512976	758856,6		7588,566		7588,566	743679,468	

Зведений баланс оборотних відходів по електрометалургійному заводу приведено в табл. 4.8, а зведений баланс металу по ЕСПЦ в табл. 4.9.

Таблиця 4.8 – Зведений баланс оборотних відходів по електрометалургійному заводу

№ груп марок сталі	Потребує-ться металу для ЕСПЦ, т	Надходить доходів з, т				Всього оборотних відходів, т	Потребує-ться закупівлі лома
		ЕСПЦ	стану 950	КЦ	ЦТО		
1	669000	24000	120000	82134	3797,82	229931,82	439068,18
3	464100	16800	71400	62596,8	2721,6	153518,4	310581,6
5	197118	7380	35100	30326,4	1069,146	73875,546	123242,454
Всього:	1330218	48180	226500	175057,2	7588,566	457325,766	872892,234

Визначаємо зведений баланс металу на металургійному підприємстві (табл. 4.10):

1. Загальний вихід металу по заводу:

Таблиця 4.9 – Зведений баланс металу по ЕСПЦ

№ п/п	Прихід	т	%	№ п/п	Витрати	т	%
1	Отримано оборотних відходів з:			1	Отримано гідних зливків	1200000	90,211
	- ЕСПЦ	48180	3,622				
	- стану 950	226500	17,027				
	- КЦ	175057,2	13,16				
	- ЦТО	7588,566	0,57				
	Всього	457325,766	34,38				
2	Покупний лом	872892,234	65,62	2	Оборотні відходи	48180	3,622
				3	Безповоротні втрати	82038	6,167
Всього:		1330218	100,000			1330218	100,000

Таблиця 4.10 – Зведений баланс металу на металургійному підприємстві

№ п/п	Прихід	т	%	№ п/п	Витрати	т	%
1	Покупний лом	872892,234	65,62	1	Отримано готових виробів з:	743679,468	55,907
					- стану 950	240962,4	
					- КЦ	502717,068	
2	Оборотні відходи	457325,766	34,38	2	Оборотні відходи	457325,766	34,38
				3	Безповоротні відходи з:		9,714
					- ЕСПЦ	82038	6,167
					- стану 950	24900	1,872
					- КЦ	14686,2	1,104
					- ЦТО	7588,566	0,57
Всього:		1330218	100,000	Всього:		1330218	100,000

$$B_{металу} = \frac{M_{отримано\ готових\ виробів}}{M_{лому}} \times 100\%, \qquad (4.3)$$

$$B_{металу} = \frac{743679,468}{1330218} \times 100\% = 55,907\%.$$

2. Утворюється безповоротних втрат:

$$B_{безповоротних\ втрат} = \frac{M_{безповоротних\ втрат}}{M_{лому}} \times 100\% \quad (4.4)$$

$$B_{безповоротних\ втрат} = \frac{82038 + 24900 + 14686{,}2 + 7588{,}566}{1330218} \times 100\% = 9{,}714\%.$$

3. Утворюється поворотних відходів:

$$B_{поворотних\ відходів} = \frac{M_{поворотних\ відходів}}{M_{лому}} \times 100\%, \quad (4.5)$$

$$B_{поворотних\ відходів} = \frac{457325{,}766}{1330218} \times 100\% = 34{,}38\%.$$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

5.1 Державна політика в галузі охорони праці

Державна політика в галузі охорони праці визначається відповідно до Конституції України Верховною Радою України і спрямована на створення належних, безпечних і здорових умов праці, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням.

Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах:

– пріоритету життя і здоров'я працівників, повної відповідальності роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;

– підвищення рівня промислової безпеки шляхом забезпечення суцільного технічного контролю за станом виробництв, технологій та продукції, а також сприяння підприємствам у створенні безпечних та нешкідливих умов праці;

– комплексного розв'язання завдань охорони праці на основі загальнодержавної, галузевих, регіональних програм з цього питання та з урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики, досягнень в галузі науки і техніки та охорони довкілля;

– соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;

– встановлення єдиних вимог з охорони праці для всіх підприємств та суб'єктів підприємницької діяльності незалежно від форм власності та видів діяльності;

– адаптації трудових процесів до можливостей працівника з урахуванням його здоров'я та психологічного стану;

– використання економічних методів управління охороною праці, участі держави у фінансуванні заходів щодо охорони праці, залучення добровільних внесків та інших надходжень на ці цілі, отримання яких не суперечить

законодавству;

– інформування населення, проведення навчання, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;

– забезпечення координації діяльності органів державної влади, установ, організацій, об'єднань громадян, що розв'язують проблеми охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці, а також співробітництва і проведення консультацій між роботодавцями та працівниками (їх представниками), між усіма соціальними групами під час прийняття рішень з охорони праці на місцевому та державному рівнях;

– використання світового досвіду організації роботи щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці на основі міжнародного співробітництва [14], [15].

5.2 Аналіз небезпечних і шкідливих чинників при виплавці борвмісних сплавів

На сталеплавильній ділянці основними, шкідливими та небезпечними факторами є: рухомі машини та механізми, шум, вібрація, запиленість, загазованість, теплонадлишки.

– Шум являє собою хаотичне поєднання звуків при роботі електропечі, розливного крана та іншого обладнання. Надмірний шум шкідливо впливає на здоров'я працюючих, сприяє виникненню травматизму. Правильне нормування гранично допустимої гучності виробничого шуму має важливе значення регламентується.

– Вібрація характеризується частотою, амплітудою, швидкістю і прискоренням спостерігається внаслідок роботи підйомно-транспортного обладнання. Допустимі величини вібрації регламентуються спеціальним документом і не повинні перевищувати 2/3 робочого дня та 92дБ.

– Запилення виникає при завантаженні печі, при її ремонті під час плавлення та при випуску. Вплив пилу на людину може викликати такі

захворювання як пневмосклероз, емфізема легень. від 10 до 70% – 2мг/м^3; 3–6мг/м^3; при змішаному пилу 2мг/м^3.

– Загазованість виникає при неправильній роботі газоочисток під час плавлення і випуску металу. від 10 до 60 мг/м^3.

– Тепловлишки виникають під час роботи печі та інших джерел виділення тепла, також теплонадлишки нічого не винні перевищувати 140 Вт/м^2.[26]

– Електробезпека небезпека ураження електричним струмом виникає при зіткненні людини з незаземленими струмоведущими частинами робочих установок тіла людини в електричний ланцюг та багато іншого. струму (мА): 0,6–1,5 при змінному струмі 50–60 Гц – легке тремтіння пальців, 5–10 – судоми рук, 20–25 – параліч рук, утруднене дихання, сильні болі.

Щоб забезпечити безпечні умови проведення дослідницької роботи, вживаються необхідні заходи захисту від виявлених потенційних небезпечних і шкідливих чинників.

Щоб уникнути поширення пилу по приміщенню лабораторії, а також для видалення перегрітого повітря над брикетпресом встановлено витяжну парасольку. Для захисту органів дихання передбачені фільтруючі протиаерозольні безклапанні респіратори "Пелюсток-5".

Щоб усунути небезпеку ураження електричним струмом, установку брикет-преса заземлюють. Бетонні підлоги вкриті лінолеумом. Також для захисту від ураження електричним струмом передбачені діелектричні килимки та гумові рукавички.

Щоб уникнути отримання механічних травм необхідно дотримуватись обережності при проведенні робіт, пов'язаних із застосуванням слюсарних інструментів та пристроїв.

Передбачено в лабораторії також спецодяг - халати білі бавовняні, що служать для захисту від пилу та інших забруднень. Крім перерахованих вище заходів захисту від небезпечних і шкідливих факторів для забезпечення безпечного проведення дослідницької роботи необхідно вживати заходів організаційного характеру, що включають інструкції з техніки безпеки. Ці

інструкції складаються для кожного виду робіт і містять вказівки щодо організації робочого місця, правила гігієни та способи надання першої медичної допомоги постраждалим. Проходження інструктажу обов'язково всім працівників незалежно з посади, стажу роботи та освіти.

При проведенні досліджень у лабораторії, щоб уникнути нещасних випадків, необхідно дотримуватися таких умов:

1) приступати до виконання роботи слід лише після ознайомлення з інструкцією з техніки безпеки;

2) під час проведення експерименту дотримуватись правил користування електрообладнанням;

3) роботи, пов'язані з підвищеною небезпекою (механічна обробка зразків) дозволяється проводити лише у присутності керівника або працівника лабораторії [16] –[18].

5.3 Стратегія охорони праці на металургійному підприємстві

Для забезпечення безпеки на металургійному підприємстві використовуються різні принципи та практики. Це може включати використання особистих засобів захисту, таких як спеціальний одяг і взуття, окуляри і респіратори; застосування ергономічних принципів розробки робочих місць і устаткування; проведення регулярних інспекцій та аудитів безпеки; та впровадження культури безпеки на всіх рівнях організації.

Незважаючи на існуючі зусилля щодо безпеки працівників металургійного виробництва, все ще є безліч проблем, які вимагають вирішення. Можливі напрями для подальшого розвитку включають інтеграцію охорони праці в корпоративну стратегію, велику орієнтацію на профілактику замість реагування на події, а також посилення ролі працівників у процесах управління безпекою.

Таким чином, незважаючи на складності та потенційні ризики, існують ефективні механізми та стратегії, які можуть допомогти забезпечити безпеку та

здоров'я працівників у металургійному виробництві. Однак їх успішне впровадження вимагає не лише технічних знань та ресурсів, а й культурної зміни на всіх рівнях організації, включаючи рівень керівництва.

Активне залучення співробітників до процесу охорони праці є одним із ключових факторів, що сприяють успішному розвитку безпечного робочого середовища. Підвищення обізнаності працівників щодо проблем безпеки та їхньої ролі у забезпеченні власного захисту може покращити загальний рівень безпеки на підприємстві.

Залучення співробітників до процесу охорони праці, включають:

Навчання та розвиток: Проведення регулярних тренінгів з безпеки, в яких беруть участь усі співробітники, допоможе підвищити рівень знань та навичок, необхідних для безпечної роботи.

Участь у процесі оцінки ризиків: Залучення співробітників у процес оцінки ризиків допоможе їм краще зрозуміти можливі небезпеки на робочому місці та вжити заходів для їх усунення.

Регулярне обговорення питань безпеки: Зустрічі зі співробітниками для обговорення питань безпеки, а також розробка та впровадження планів покращення допоможуть створити атмосферу співробітництва та зміцнити корпоративну культуру безпеки.

Охорона праці на металургійних підприємствах є складним і багатогранним завданням, що потребує координованих зусиль з боку керівництва, співробітників та держави. З урахуванням особливостей та потенційних ризиків, пов'язаних із роботою у цій галузі, необхідно постійно вдосконалювати методи та технології охорони праці, підвищуючи рівень безпеки та здоров'я працівників.

У той самий час, охорона праці металургійному виробництві вимагає як технічних знань, а й усвідомлення значимості проблеми кожним працівником підприємства. Все це разом дозволить зменшити кількість виробничих травм і професійних захворювань, а також поліпшити загальний стан трудового потенціалу в металургійній галузі [19].

5.4 Основні аспекти техногенної безпеки

Основні аспекти техногенної безпеки наступні:

1. Контроль за технологічними процесами:

– Забезпечення стабільної роботи обладнання.

– Регулярний моніторинг температур, тиску, рівня кисню та інших параметрів.

– Використання автоматичних систем контролю та сигналізації.

2. Профілактика вибухів і пожеж:

– Своєчасне очищення систем від пилу (металургійний пил може бути вибухонебезпечним).

– Використання вогнестійких матеріалів та систем пожежогасіння.

– Контроль за концентрацією горючих газів у повітрі.

3. Екологічна безпека:

– Очищення викидів від шкідливих газів (CO, SO_2, NO_x) і пилу.

– Утилізація відходів (шлаків, золи, токсичних залишків).

– Зменшення викидів парникових газів.

4. Захист персоналу:

– Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): каски, окуляри, респіратори, термостійкий одяг.

– Проведення регулярних інструктажів та тренувань з безпеки.

–Система швидкої евакуації та надання медичної допомоги.

– Моніторинг стану обладнання:

– Регулярне технічне обслуговування та діагностика обладнання.

– Використання сучасних сенсорів для виявлення несправностей.

5. Управління ризиками:

– Аналіз можливих аварійних ситуацій (наприклад, проривів доменних печей, витоків токсичних газів, поломки кранів).

– Розробка планів дій на випадок аварій.

– Навчання персоналу діям у надзвичайних ситуаціях.

6. Дотримання нормативів і стандартів:

– Виконання вимог національних та міжнародних стандартів у галузі охорони праці й безпеки (ISO 45001, ISO 14001).

– Інспекція роботи підприємства з боку контролюючих органів.

Сучасні технології для підвищення техногенної безпеки полягають у наступному:

– Автоматизація процесів: зменшує ризик людських помилок.

– Цифровий моніторинг: використання систем IoT для постійного контролю параметрів.

– Роботизація: виконання небезпечних операцій за допомогою роботів.

– Енергоефективність: оптимізація витрат енергії для зменшення техногенного навантаження.

– Забезпечення техногенної безпеки потребує системного підходу, залучення сучасних технологій і регулярної роботи над покращенням умов на підприємстві [20]–[22].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Борвмісну сталь можна порівняти з іншими високоміцними сталями, але вона має явні переваги з точки зору твердості та удароміцності. ЇЇ здатність забезпечувати високу міцність та збереження пластичності відрізняє її від інших сплавів. Бор покращує властивості сталі за рахунок покращення її зернистої структури.

2. Дослідження структури та механічних характеристик борвмісних сталей марок 20Г2Р, 30Г1Р та 30MNB4 показали, що їх використання дозволяє знизити дефектності поверхні металовиробів; підвищити стабільність механічних властивостей болтів, гвинтів, шпильок класу міцності 8.8 та 10.9 ГОСТ 1759.4-87; досягти високого рівня ударної в'язкості за негативних температур. Зокрема сталь 20Г2Р забезпечує стабільні механічні властивості виробів розміром до М27 (на відміну від сталі марки 35Х яка забезпечує лише для болтів М16 класу міцності 8.8). Показано, що боровмісні сталі в стані поставки зі структурою зернистого перліту мають високу технологічну пластичність, зокрема, формування головки болта і накочування різьблення може проводитися в холодному стані без утворення надривів, як це відбувається з хромистими сталями типу 40Х. Встановлено, що пластичність даних сталей підвищується за рахунок зниженого вмісту вуглецю та хрому, а також утворення дисперсних карбонітридоборидних фаз глобулярної форми.

3. Змінюючи вміст хімічних елементів, таких, як азот, бор, титан і алюміній у сталях з бором виробництва можна спрогнозувати значення прожарювання на стадії розробки технологічних карт на виплавку.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Назюта Л. Ю., Федорова Е. В., Хавалиц Ю. В. Влияние режима внепечной обработки на степень усвоения бора при выплавке низколегированных конструкционных сталей. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. Серія: Технічні науки. 2017. Вип. 35. С. 25–31.

2. Українська компанія Метінвест виготовляє боровмісну сталь. URL: https://www.pinterest.com/pin/697846904749908348/ (дата звернення: 07.10.2024)

3. Parusov E., Sychkov A., Gubenko S., Ambrazhey M. Vplyv boru na formuvannia efektyvnoi struktury buntovoho prokatu i pidvyshchennia yoho tekhnolohichnoi plastychnosti pry volochinni [Influence of boron on forming efficient structure of rolled steel and increase its technological plasticity at drawing]. Scientific Journal of TNTU (Tern.). 2016. Vol. 83. No 3. pp. 99–108.

4. Вплив додавання бору на низьколеговану сталь високої міцності. URL: https://ua.lksteelpipe.com/news/effect-of-boron-addition-on-high-strength-low18423315.html (дата звернення: 07.10.2024)

5. Боровмісна сталь: «броня» для деталей важкої техніки. URL: https://metinvestholding.com/ua/media/article/boron-steel#:~:text=%D0%91%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BC%D1%96%D1%81%D0%BD%D0%B0%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%20%E2%80%93%20%D1%86%D0%B5%20%D1%81%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B2%20%D0%B7%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%D0%B0,%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%96%20%D1%96%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D1%82%D1%8C%20%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%20%D0%BC%D1%96%D1%86%D0%BD%D1%96%D1%88%D0%B8%D0%BC. (дата звернення: 01.12.2024)

6. Карбід бору: характеристики, використання та перспективи. URL: https://shop.zak.ua/karbid-boru-kharakterystyky-vykorystannia-ta-perspektyvy/?srsltid=AfmBOor_MZMsiMhgxHC0q0_DXZPVOjVZWakd3jP2Dpmi

Y2UtngcypJD- (дата звернення: 01.12.2024)

7. Продукція з сталі 30MnB5. URL: https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/30mnb5 (дата звернення: 01.12.2024)

8. Вплив мікролегування бором на структуру та властивості наплавленого металу типу інструментальної сталі 25Х5ФМС / А. А. Бабінець, І. О. Рябцев, І. П. Лентюгов та ін. *Автоматичне зварювання*. 2022. № 6. С. 3–10.

9. Вплив бору на технологічні властивості середньовуглецевих конструкційних сталей рядового сортаменту /Л. Ю. Назюта, М. Л. Цуркан, Л. С. Тихонюк та ін. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету*. Серія : Технічні науки (37). С. 22–28. https://doi.org/10.31498/2225-6733.37.2018.160222

10. Лігатура алюміній титан бор AlTi5BO1. URL: https://imetalua.com/aluminievaya-ligatura-alti5bo1/ (дата звернення: 01.12.2024)

11. Лігатури алюмінієві. ГОСТ Р 53777-2010. URL: https://www.arsenalua.com/directions/Metals/products/BaseMetals/Aluminium/Ligatures/ (дата звернення: 01.12.2024)

12. Вплив додавання бору на низьколеговану сталь високої міцності. URL: https://ua.lksteelpipe.com/news/effect-of-boron-addition-on-high-strength-low-18423315.html (дата звернення: 01.12.2024)

13. Мащенко О. Г., Воденнікова О. С. Борвмісні сталі та сплави : типи, переваги, використання та особливості технології виплавки. *Наука і сталий розвиток транспорту 2024* : збірник тез доповіді всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих учених (Дніпро, 27 листопада 2024р.). Дніпро : УДУНТ, 2024. Т. ІІ С. 95–96.

14. Стаття 4. Державна політика в галузі охорони праці. URL: https://protocol.ua/ua/pro_ohoronu_pratsi_stattya_4/ (дата звернення: 01.12.2024)

15. Основні принципи державної політики в галузі охорони праці. URL: https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/120.html (дата звернення: 01.12.2024)

16. Грибан В. Г., Казначеєв Д. Г., Бойко О. І. Безпека життєдіяльності та охорона праці у схемах : навч. посіб. Дніпро : ДДУВС, 2019. 228 с.

17. Пістун І. П., Катренко Л. А., Кіт Ю. В. Охорона праці : навч. посіб. з практикумом. Київ : Унівеситетська книга, 2020. 540 с.

18. Левченко О. Г., Полукаров О. І., Зацарний В. В., Полукаров Ю. О., Землянська О. В. Охорона праці та цивільний захист : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 420 с.

19. Про затвердження Правил охорони праці в металургійній промисловості. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0087-09#Text (дата звернення: 01.12.2024)

20. Про затвердження Правил техногенної безпеки. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1346-18#Text (дата звернення: 01.12.2024)

21. Забезпечення техногенної безпеки на небезпечних об’єктах. URL: https://ts.kiev.ua/zabezpechennya-tekhnohennoyi-bezpeky-na-nebezpechnykh-ob-yektakh/#:~:text=%D0%9E%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BC%20%D1%96%D0%B7%20%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%96%D0%B2%20%D0%B7%D0%B0%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F,%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BA%D1%83%20%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D0%B9%20%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%97%D1%85%20%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8E. (дата звернення: 01.12.2024)

22. Еколого-техногенні проблеми в Україні, що потребують першочергового реагування : Аналітична записка. URL: https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/ekologo-tekhnogenni-problemi-v-ukraini-scho-potrebuyut (дата звернення: 01.12.2024)