

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Фізико-технічний; Будівництва, архітектури та дизайну
(повне найменування інституту, назва факультету)

Композиційні матеріали, хімія та технології
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему «Перспективи використання низьколегованих композиційних сталей
зі структурою бейніта в металевих будівельних конструкціях»

Виконав: студент 6 курсу,
групи БАДз213м
спеціальності (напряму підготовки)
132 – «Матеріалознавство»,
«Композиційні та порошкові матеріали,
покриття»

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Лаухін Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., проф. Мітяєв О.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент д.т.н., проф. Овчинников О.В.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Фізико-технічний, Будівництва, архітектури та дизайну

Кафедра «Композиційні матеріали, хімія та технології»

Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр

Спеціальність 132 – Матеріалознавство

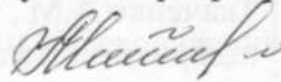
(код і назва)

Напрямок підготовки «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КМХТ



Мітяєв О.А.

“ 01 ” жовтня 2018 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Лаухіну Дмитру Вячеславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Перспективи використання низьколегованих композиційних сталей зі структурою бейніта в металевих будівельних конструкціях

керівник проекту (роботи) Мітяєв Олександр Анатолійович, д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 31 ” жовтня 2018 року № 287

2. Строк подання студентом проекту (роботи) до 28.12.2018 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) механічні властивості сталі 09Г2С; витрата сталі на виготовлення кроквяної ферми.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Комплекс властивостей і технології виробництва сталей, які використовуються при виготовленні металевих конструкцій.

2) Матеріал і методика дослідження.

3) Дослідження структури і властивостей маловуглецевих низьколегованих сталей підвищеної і високої міцності.

4) Економічна ефективність використання маловуглецевих низьколегованих сталей типу 10Г2ФБ в промисловому і цивільному будівництві.

5) Обговорення результатів проведених досліджень.

6) Безпека життєдіяльності і охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1) Тема дипломного проекту, виконавець, керівник.

2) Об'єкт та предмет досліджень, мета роботи, завдання дослідження.

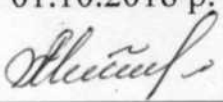
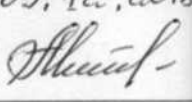
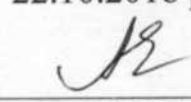
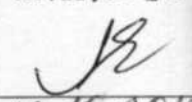
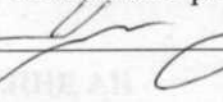
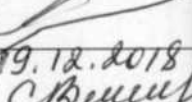
3) Схема класифікації сталей для металевих конструкцій.

4) Мікроструктура сталей для металевих конструкцій.

5) Мікроструктура сталей після зміцнювального оброблення.

- 6) Технології виробництва та міцнісні характеристики сталей вітчизняного закордонного виробництва для будівельних металевих конструкцій
- 7) Показники зменшення металоємності і вартості кроквяної ферми при використанні досліджуваних сталей.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3, 5 технічний	Мітяєв О.А., зав. кафедри композиційних матеріалів, хімії та технологій, д.т.н., професор	01.10.2018 р. 	03.12.2018 
4 економічний	Ткаченко А.М., зав. кафедри підприємництва, торгівлі та біржової діяльності, д.е.н., професор	22.10.2018 р. 	12.11.2018 
6 БЖіОП	Нестеров О.В., зав. кафедри ОПНС, к.т.н., доцент	22.10.2018 р. 	22.11.2018 

НОРМОКОНТРОЛЬ Савченко В.О., доц. каф. КМХТ, к.т.н.

7. Дата видачі завдання 01.10.2018 р.

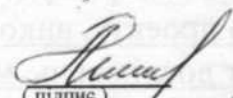
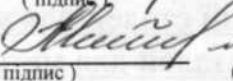
19.12.2018
С.В.Шені

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	1. Комплекс властивостей і технології виробництва сталей, які використовуються при виготовленні металевих конструкцій	19.10.2018 р.	
2	2. Матеріал і методика дослідження	26.10.2018 р.	
3	3. Дослідження структури і властивостей маловуглецевих низьколегованих сталей підвищеної і високої міцності	05.11.2018 р.	
4	4. Економічна ефективність використання маловуглецевих низьколегованих сталей типу 10Г2ФБ в промисловому і цивільному будівництві	12.11.2018 р.	
5	5. Обговорення результатів проведених досліджень	19.11.2018 р.	
6	6. Безпека життєдіяльності і охорона праці	26.11.2018 р.	
7	Висновки	19.11.2018 р.	
8	Вступ; реферат, abstract, перелік умовних позначень	03.12.2018 р.	

Студент

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

(підпис)

Лаухін Д.В.
(прізвище та ініціали)

Мітяєв О.А.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 90 сторінок, 14 рисунків, 16 таблиці, 78 посилання.

Об'єкт дослідження – властивості маловуглецевих низьколегованих сталей.

Мета проекту – забезпечення механічних та службових характеристик зварних з'єднань спечених титанових сплавів.

Для виготовлення металевих конструкцій відповідального призначення вітчизняними виробниками використовуються низьковуглецеві низьколеговані сталі з ферито-перлітною структурою. Розширення області застосування сталей підвищеної міцності може бути здійснено шляхом вдосконалення існуючих або розробки нових технологічних процесів виробництва металевого прокату, що забезпечують підвищення конструктивної міцності і зниження металоємності сталевих конструкцій. У зв'язку з цим, для досягнення необхідного рівня властивостей виробів необхідно розробити режими зміцнювальної обробки, спрямованої на заміну перліту більш міцними структурами бейнітного типу, а також подрібнення структури аустеніту і підвищення властивостей за рахунок дисперсійного твердіння.

Вельми перспективним методом зміцнення є контрольована прокатка, яка часто поєднується з прискореним охолодженням, в результаті якої метал може придбати феррито-бейнітну структуру, що забезпечує істотне підвищення рівня механічних властивостей. Отримання в структурі сталей голчастого фериту дозволить значно збільшити міцнісні властивості прокату без зміни пластичних. З огляду на безперервне зростання виробництва низьковуглецевих низьколегованих сталей зі структурою бейніта і голчастого фериту в світовому масштабі та з перспективою використання їх в будівництві, тему досліджень, присвячених вивченню механізмів підвищення механічних і експлуатаційних властивостей таких сталей, можна вважати актуальною.

СТАЛЬ, МІЦНІСТЬ, ХОЛОДОСТІЙКІСТЬ, СТРУКТУРА, ФЕРИТ, ФЕРМА

ABSTRACT

PN: 90 with., 14 figure, 16 tables, 78 sources.

The object of research is the properties of low-carbon low-alloy steels.

The purpose of the project is to ensure the mechanical and service characteristics of structures in construction.

For the manufacture of critical-purpose metal structures, domestic producers use low-carbon low-alloy steels with a ferrite-pearlite structure. These steels have also found wide application in the manufacture of large-diameter oil and gas pipes, as a result of a favorable combination of strength, plastic properties and good weldability. Expansion of the field of application of high-strength steels can be carried out by improving existing or developing new technological processes for the production of rolled metal, which provide an increase in structural strength and a reduction in the metal intensity of steel structures. In this regard, to achieve the required level of product properties, it is necessary to develop modes of hardening treatment, aimed at replacing pearlite with stronger structures of the bainite type, as well as grinding the austenite structure and increasing the strength properties due to precipitation hardening.

A very promising method of strengthening is controlled rolling, which is often combined with accelerated cooling, as a result of which the metal can acquire a ferrite-bainite structure and significantly increase the level of mechanical properties. Getting in the structure of low-carbon steels acicular ferrite will significantly increase the strength properties of rolled products without changing the plastic. Given the continuous growth in the production of low carbon steels with the structure of bainite and acicular ferrite on a global scale and with the prospect of using them in construction, the topic of research devoted to the study of mechanisms to improve the mechanical and operational properties of such steels can be considered relevant.

STEEL, STRENGTH, COLD RESISTANCE, STRUCTURE, FERRITE, FARM

ЗМІСТ

Реферат	4
Abstract.....	5
Перелік умовних позначень.....	8
Вступ.....	9
1 Комплекс властивостей і технології виробництва сталей, які використовуються при виготовленні металевих конструкцій.....	11
1.1 Використання металевих конструкцій в промисловому і цивільному будівництві	11
1.2 Технологія виробництва і основні характеристики сталей, що використовуються для виготовлення зварних будівельних металевих конструкцій	13
1.3 Технології виробництва і рівень властивостей штрипсових сталей для труб і фітінгів магістральних трубопроводів	19
1.4 Резерви підвищення комплексу властивостей маловуглецевих низьколегованих сталей для магістральних трубопроводів	24
1.5 Висновки.....	28
2 Матеріали та методика дослідження.....	30
2.1 Світлова мікроскопія.....	30
2.2 Електрона мікроскопія	31
2.3 Рентгеноструктурний аналіз.....	33
2.4 Методи визначення механічних властивостей	34
2.5 Зміцнювальна обробка експериментальних зразків.....	34
2.6 Алгоритм розрахунку металевих конструкцій	35
3 Дослідження структури і властивостей маловуглецевих низьколегованих сталей підвищеної і високої міцності	37
3.1. Дослідження структури сталі 09Г2С в стані постачання.....	37
3.2. Дослідження структури сталі 10Г2ФБ в стані після контрольованої прокатки	

.....	40
3.3. Дослідження структури сталі 10Г2ФБ після додаткової зміцнювальної обробки	43
3.4 Комплекс механічних властивостей досліджуваних марок сталей	49
3.5 Розрахунок перерізів елементів кроквяної ферми з ферито-перлітних сталей і сталі зі структурою голчастого фериту	50
3.6 Висновки	58
4 Економічна ефективність використання маловуглецевих низьколегованих сталей типу 10Г2ФБ в промисловому і цивільному будівництві	59
4.1 Основи економіки металевих конструкцій	59
4.2 Визначення економічної ефективності застосування сталі 10Г2ФБ зі структурою голчастого фериту при виробництві металевих конструкцій	64
4.3 Висновки	66
5 Обговорення результатів проведених досліджень	67
6 Безпека життєдіяльності і охорона праці	70
6.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори, присутні в дослідницькій лабораторії	70
6.2 Розробка інженерних рішень, що обмежують вплив небезпечних виробничих факторів	71
6.2.1 Забезпечення електробезпеки на робочому місці	71
6.2.2 Розрахунок обладнання захисного заземлення лабораторії	72
6.3 Розробка інженерних рішень, що обмежують вплив шкідливих виробничих факторів	74
6.3.1. Забезпечення освітленості в дослідницькій лабораторії	74
6.3.2 Гігієнічна характеристика фізичних факторів при роботі з комп'ютерами ...	76
6.3.3 Заходи безпеки при роботі з ПЕОМ	78
6.4 Протипожежна безпека дослідної лабораторії	79
Висновки	83
Перелік джерел посилань	84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

рис. – рисунок

табл. – таблиця

грн. – гривня

тис. – тисяч

σ_b – тимчасовий опір розриву (границя міцності)

σ_t – границя текучості

δ_5 – відносне подовження

KCU – ударна в'язкість

φ – відносне звуження

% – процент

В – вольт

м – метр

сек – секунда

ВСТУП

На даний час в Україні склалася непроста ситуація, пов'язана з моральним і фізичним зносом житлового фонду, побудованого в 1960-1970 рр. Гострота проблеми – в її великомасштабній і соціально-економічній значущості для населення нашої країни.

Вирішенню даної проблеми присвячено багато досліджень, при цьому основні пропозиції щодо її вирішення розділилися на протилежні за змістом версії: існуючі будівлі можна піддавати знесенню або проводити реконструкцію такого житла зі збільшенням житлової площі.

Одним з найцікавіших варіантів реконструкції житлового фонду є методика, що включає установку навколо будівлі обжимного рамного сталевих каркасу. Реалізація цієї ідеї буде економічно і технологічно доцільна, якщо при виготовленні металоконструкцій для таких каркасів використовувати високоміцні сталі, що призведе до зниження металоємності конструкцій [1, 2].

Діюча в будівництві нормативна документація, розроблена в 1980-1990-х роках минулого століття, має на увазі використання в будівництві сталей рівня міцності С235...С590 К. В останні десятиліття все більш широке застосування при виготовленні будівельних металевих конструкцій знаходять маловуглецеві низьколеговані сталі підвищеної і високої міцності (С345...С590).

Аналіз зарубіжного досвіду будівництва показує, що застосування сталей з межею плинності понад 550 МПа дозволить не тільки істотно знизити витрати сталі на будівельні металеві конструкції, а й створити нові прогресивні рішення будівель і споруд [2].

У той же час, розроблені для потреб нафтогазовидобувної галузі сталі з межею плинності понад 550 МПа, вироблені за технологією контрольованої прокатки і використовувані при виробництві труб і сполучних деталей для магістральних нафто- і газопроводів не знаходять широкого застосування в будівництві. Випуск сталей даного класу освоєний вітчизняними металургійними

комбінатами, тому перспективною є ідея їх використання в промисловому і цивільному будівництві.

1 КОМПЛЕКС ВЛАСТИВОСТЕЙ І ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА СТАЛЕЙ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1 Використання металевих конструкцій в промисловому і цивільному будівництві

Металеві конструкції застосовуються в будівництві в будівлях і спорудах, що характеризуються великими прольотами, висотою і навантаженнями.

За призначенням будівельні металеві конструкції поділяють на три основні групи [1]:

а) несучі металеві конструкції, що утворюють основний каркас будівлі або споруди;

б) огорожувальні конструкції, що виконують тепло- і волого ізоляційні функції;

в) допоміжні елементи будівель і споруд - сходи і майданчики, призначені для технічного обслуговування обладнання або несучих конструкцій.

Форма і конструктивне рішення металевих конструкцій залежать в основному від призначення. Так, наприклад, можна виділити:

- елементи металевих або змішаних каркасів виробничих будівель - балки, прогони, ферми, ригелі, колони, зв'язки і т. д.;

- листові конструкції, до яких відносяться трубопроводи та трубна арматура великих діаметрів, ємності для зберігання рідин (резервуари), газів (газгольдери), сипучих матеріалів (бункери і силоси), споруди та установки металургійних, нафтопереробних, хімічних виробництв, об'єктів енергетики;

- висотні споруди - вежі і щогли ліній радіо- і телезв'язку, лінії електропередач, бурові вишки, геодезичні вишки, димові і вентиляційні труби;

- конструкції автомобільних і залізничних мостів, естакади підприємств;

- рухомі конструкції мостових, баштових кранів, великих екскаваторів, гідротехнічні споруди і т. д.;

- каркаси багатоповерхових (висотних) будівель;
- великопрогонові конструкції покриттів ангарів, цехів авіа-, судно- та машинобудування, лабораторій, громадських споруд;
- інші конструкції, до яких пред'являють особливі вимоги, наприклад, пов'язані з вивченням космосу, атомною енергетикою і т. д.

Металеві конструкції виготовляють з готових прокатних, пресованих або гнутих профілів, найчастіше на високомеханізованих підприємствах і поставляються споживачеві з високим ступенем заводської готовності [1, 2]. Безумовними перевагами використання металевих конструкцій є висока надійність, технологічність монтажу, легкість конструкцій, зручність транспортування. До недоліків застосування металевих конструкцій можна віднести недостатню корозійну стійкість, причина якої висока хімічна активність металу внаслідок взаємодії з різними реагентами середовища і його руйнуванням при переході в оксиди, солі та інші сполуки; недостатню вогнестійкість внаслідок швидкого нагрівання елементів металевих конструкцій до температури переходу в пластичний стан.

Сучасний підхід до використання металевих конструкцій передбачає створення конструктивної форми, економічної на всіх етапах виготовлення, монтажу та експлуатації.

Основні вимоги до металевих конструкцій можна сформулювати наступним чином:

- несуча здатність, що задовольняє вимогам нормативної документації, надійність і довговічність конструкцій;
- знижена маса і трудомісткість виготовлення і монтажу конструкцій;
- мінімальна вартість, як кожної окремої конструкції, так і споруди в цілому;
- висока технологічність монтажу.

На сучасному етапі розвитку капітального будівництва простежується тенденція збільшення обсягів використання металу. Одночасно обмеженість сировинної бази і енергетичних ресурсів диктують вимогу зменшення

металоемності конструкцій. У будівництві істотної економії металу досягають при підвищенні його міцності, тобто при застосуванні сталей підвищеної та високої міцності, економічних профілів і прогресивних конструктивних форм.

Розміри поперечних перерізів більшості елементів металевих конструкцій і, отже, їх маса визначаються розрахунком, що безпосередньо враховує експлуатаційні властивості матеріалу. У зв'язку з цим, підвищення експлуатаційних характеристик будівельної сталі є найбільш ефективним засобом зниження металоемності і вартості будівельних металевих конструкцій [2]. Разом з тим, для забезпечення надійної роботи металоконструкцій поряд з міцністю необхідно передбачити також досить високий рівень інших найважливіших експлуатаційних і технологічних властивостей: зварювальність, опір крихкому руйнуванню, граничну пластичність, опір поширенню тріщин і ін.

1.2 Технологія виробництва і основні характеристики сталей, що використовуються для виготовлення зварних будівельних металевих конструкцій

До зварних металевих конструкцій відносяться каркаси промислових і цивільних будівель, вежі, щогли, опори повітряних ліній електропередач, резервуари і т.д. Особливості виготовлення зварювальних будівельних металевих конструкцій накладають жорсткі вимоги на метал, який використовується з цією метою.

Основні вимоги до сталей для будівельних металевих конструкцій, почали складатися з середини 1960-х років, коли гостро постала проблема контролю якості готових металевих конструкцій. На цих стандартах базуються сучасні норми проектування і виготовлення металевих конструкцій, наприклад, СНиП II-23-81* «Сталеві конструкції. Норми проектування», ГОСТ 23118-99 «Конструкції сталеві будівельні. Загальні технічні умови » і т. д.

Європейські сталі для металевих будівельних конструкцій поставляються відповідно до стандартів EN10020, EN10025 і EN10113. Будівельні сталі з підвищеними показниками міцності і сталі, використовувані для виготовлення металевих конструкцій, що працюють в складних умовах експлуатації, нормуються стандартами EN10113 і EN10020. Даними стандартами нормуються також сталі, котрі мають мікролегувальні добавки Nb, V, Al, Ti, N, і спеціальні сталі, які мікролеговані Cr, Ni, Mo і Cu [3].

За номінального значення границі плинності для товщини прокату порядку 20 мм ці стандарти передбачають шість класів міцності: сталі з межею плинності 185, 235, 275, 355, 420 і 460 МПа. ГОСТ 27772-88 розроблений ще в СРСР, що діє також і на Україні, передбачає десять класів міцності, границя плинності яких становить: 235, 245, 255, 275, 285, 345, 375, 390, 440 і 590 МПа [4].

У таблиці 1.1 наведена загальна характеристика сталей, використовуваних в нашій країні при виготовленні зварювальних будівельних металевих конструкцій [5].

У нашій країні широке поширення при виготовленні зварних будівельних металлоконструкцій знайшла сталь Ст3пс, що пояснюється відносно недорогою технологією виробництва даної сталі завдяки відсутності в її складі кошовних легувальних елементів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Загальна характеристика сталей для металевих конструкцій

Клас міцності	Границя плинності, МПа	Вміст вуглецю, % мас.	Приклад марки сталі
Звичайний	220...300	0,22	Ст3пс
Підвищений	300...400	0,08	09Г2С
Високий	більше 400	0,1	10Г2ФБ

Сталі типу Ст3 поставлялися на заводи металлоконструкцій в гарячекатаному або термозміцненому стані з ферито-перлітною або структурою мартенситу відпуску. Границя плинності даної сталі в гарячекатаному стані

порядку 300 МПа, поріг холодноламкості (T50) - + 20°C [6].

Підвищення рівня властивостей сталей даного класу можливо за рахунок додаткового зміцнення в потоці стану, що включає гартування від температур кінця прокатки і наступний відпуск при температурі 600° С. Структура відпущеного мартенситу, що утворюється в цьому випадку, дозволяє отримати рівень властивостей, відповідний класу міцності С390 і істотного зниження порогу холодноламкості в порівнянні зі сталлю, що не піддається додатковій операції термічного зміцнення [7].

У таблиці 1.2 наведено хімічний склад і класи міцності маловуглецевих низьколегованих гарячекатаних сталей звичайного класу міцності (табл. 1.1) вітчизняного (Ст3пс) і зарубіжного виробництва [8].

Аналіз даних, наведених у таблиці 1.2, показує, що як вітчизняні, так і зарубіжні сталі даного класу характеризуються низькими значеннями границі плинності, що тягне за собою збільшення перетину готових конструкцій. Аналіз зарубіжного і вітчизняного досвіду застосування металевих конструкцій показує, що зниження металоємності готових виробів можливо за рахунок застосування металу з більш високими значеннями границі плинності - маловуглецевих низьколегованих сталей [9, 10].

Низьколеговані сталі підвищеної міцності з границею плинності в 1,25...1,6 рази вище, ніж сталі типу Ст3пс, мають більш низьку температуру переходу в крихкий стан. За рахунок низького вмісту вуглецю маловуглецеві низьколеговані сталі володіють задовільною зварюваністю [11]. Сталі з такою міцністю в нашій країні виробляються згідно ГОСТ 19281-89 «Прокат із сталі підвищеної міцності. Загальні технічні умови» і ГОСТ 27772-88 «Прокат для будівельних конструкцій. Загальні технічні умови». Разом з тим, тенденції використання маловуглецевих низьколегованих сталей в будівництві визначили необхідність введення в діючу нормативну документацію вимог, які враховують рівень властивостей даного класу сталей.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад і рівень властивостей маловуглецевих сталей звичайного класу міцності вітчизняного і зарубіжного виробництва

Країна виробник (нормативний документ)	Марка сталі (σ_T , МПа)	Масова доля елементів, %								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	N
Україна ГОСТ 27772-88	Ст3пс 240..250	0,22	0,05	0,65	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3	0,012
Німеччина DIN 17100	RSt 37-2 220..230	0,17	-	-	0,05	0,05	-	-	-	0,009
Євронорми EU25	FeBEN 220..235	0,17	-	-	0,05	0,05	-	-	-	0,009
Фінляндія SFS	Fe37B 220..235	0,17	-	-	0,05	0,05	-	-	-	0,009
Польща PN-88 H-84020	St3SY 220..240	0,22	0,15	1,10	0,05	0,05	0,3	0,3	0,3	-
Сербія JUS C. BO. 500- 70	Ї.0361 220..235	0,17	-	-	0,05	0,05	-	-	-	0,012

У таблиці 1.3 наведено хімічний склад і рівень властивостей маловуглецевих низьколегованих сталей, які знайшли широке застосування при виготовленні будівельних металевих конструкцій в СНД [12-16].

Так, наприклад, на постачання товстолистового прокату високої міцності і морозостійкості з мікролегованої сталі С390К (типу 10ХСНД зі зменшеним вмістом нікелю) в даний час розроблені ТУ 14-1-5225-93, що нормують якість прокату на рівні С390 і С440 за ГОСТ 27772 -88 [12].

Технічні умови ТУ 14-5140-92 були розроблені для виробництва металопрокату зі зниженим вмістом дефіцитного марганцю (до 0,2...0,65 %) для зварних металевих конструкцій (сталі типу 18САНЮ). Забезпечення комплексу

Марка сталі	Клас міцності	Масова доля елементів, %						
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	інші
06ГБ	C355	0,04...	0,15...	0,9...	0,2	0,35	0,01... 0,03	Ti, Al, Nb, N
	X52	0,08	0,35	1,2				
	C390	0,04...	0,15...	1,1...	0,2	0,35	0,01... 0,03	Ti, Al, Nb, N
	X60	0,08	0,35	1,4				
09Г2С	C345	0,076	0,53	1,4	0,14	0,11	-	0,13 Cu
	X52							
10ХСНД	C390К	0,10...	0,7...	0,4...	0,6...0,9	0,3...0,5	-	0,4...0,6 Cu
	X60	0,14	1,1	0,8				
12Г2СМФ	C600	0,09...	0,4...	1,2...	0,3	0,3	0,15... 0,25	0,07...0,15 V
	X80	0,15	0,7	1,6				
12ХН2МД	C590	0,09...	0,2...	0,4...	0,6...0,9	1,9...2,2	0,1... 0,18	0,35...0,65 Cu
	X80	0,13	0,4	0,5				
15ГСХМР	C600	0,12...	0,4...	1,25...	0,5	0,3	0,2... 0,26	до 0,3 V
	X80	0,18	0,7	1,55				
16Г2АФ	C450	0,14...	0,3...	1,3...	-	-	-	0,08...0,14 V
	X65	0,20	0,6	1,7				
18САТЮ	C350	≤ 0,2	≤ 1,1	≤0,65	≤0,3	≤0,3	≤0,3	Ti, Al, N
	X52							

Технічні умови на прокат листовий зварюваний з якісних сталей 06ГБ, 06Г2Б і 12ХН2МД були розроблені в 1999 р. Сталі марки 06ГБ мікролеговані титаном, алюмінієм, ніобієм і азотом в середньому по 0,02 %. Сірку і фосфор обмежують до 0,01 і 0,02 % відповідно [14].

На ВАТ ОХМК розроблені і впроваджені сталі нового покоління для металевих конструкцій, такі як 15ХСНДА, 10ХСНДА, С345ПЛ, 12ХГНМДБА, 17ХГН2МФБТ, 09БФ і 06МБФ. Розроблена на комбінаті технологія дозволила отримувати в металі 0,005% S, що виключає небезпеку утворення шаруватих тріщин (добрі Z-властивості). Ці сталі, котрі прокатані з використанням широкого набору технологічних схем термічної обробки, мають підвищений комплекс властивостей [17].

Таким чином, порівнюючи властивості міцності маловуглецевих сталей звичайної міцності вітчизняного і зарубіжного виробництва з маловуглецевими низьколегованими сталями (табл. 1.2, 1.3), можна зробити висновок, що останні відрізняються більш високими рівнями експлуатаційних характеристик [15, 18, 19].

Подальше підвищення міцності маловуглецевих низьколегованих будівельних сталей [20-24] можна досягти кількома методами: додатковим легуванням або термічною обробкою в потоці стану зі створенням структури композиційного матеріалу [25, 26]. При цьому необхідно зазначити, що термічне зміцнення прокату в потоці стану дозволяє не тільки підвищити міцність, але і поліпшити холодостійкість маловуглецевих сталей.

При термічному зміцненні металу з прокатного нагріву основна увага приділяється вибору температурно-деформаційних параметрів прокатки, хоча основною тенденцією залишається прагнення здійснити зміцнювальну обробку в потоці стану з використанням тепла нагріву під деформацію. Великий вплив при реалізації цієї ідеї, запропонованої К.Ф. Стародубовим, надає режим після деформаційного охолодження, що визначає механізм і кінетику розпаду аустеніту.

У вітчизняній практиці використовують в основному два технологічних

процеси: термічне зміцнення в потоці станів за методом «перерваного» гартування з самовідпуском або з подальшим прискореним відпусткою в прохідних термічних печах [7, 25, 26] і деформаційно-термічне зміцнення (ДТУ), що передбачає деформацію за регламентованими режимами і прискорене охолодження від 800...780°C (поблизу критичної точки A_{r3}) з контрольованою швидкістю [6, 20, 27-30].

В останні десятиліття рядом вітчизняних металургійних комбінатів розпочато широке використання технологій високотемпературної термомеханічної обробки (ВТМО) при виробництві прокату для виготовлення будівельних металевих конструкцій. Застосування ВТМО дозволяє одночасно збільшити міцність і пластичність металу. Цей метод обробки був відкритий і досліджений академіком АН СРСР В.Д. Садовським з співробітниками [31, 32]. У роботах [33-36] М.Л. Бернштейном викладені і обговорені відомості про особливості структури продуктів перетворення деформованого аустеніту в перлітній, проміжній і мартенситній областях і про зміну механічних властивостей сталі при різних варіантах термомеханічної обробки (ТМО).

1.3 Технології виробництва і рівень властивостей штрипсових сталей для труб і фітінгів магістральних трубопроводів

Розвиток нафтогазової промисловості зажадав від матеріалознавців розробки сталей з підвищеним комплексом службових характеристик, здатних працювати в складних умовах експлуатації, в тому числі в умовах низьких температур.

Дрібнозернисті сталі з феритно-перлітною структурою, котрі одержані контрольованою прокаткою [37], знайшли широке застосування при виготовленні газопровідних труб великого діаметру, а також інших металоконструкцій внаслідок сприятливого поєднання міцнісних властивостей, в'язкості і

зварюваності. Сталі даного класу поставляються споживачеві з ферито-перлітною структурою, що забезпечує границю плинності $\sigma_T \approx 500...550$ МПа [38]. Основною технологією виробництва зазначеного класу сталей є технологія контрольованої прокатки і її різновиди [30, 39, 40].

Найважливішою особливістю сталей, вироблених за технологією контрольованої прокатки, є наявність мікродомішок сильних карбідоутворювальних елементів, таких як ванадій, ніобій і титан. В результаті їх використання подрібнюється зерно аустеніту (наявність нерозчинних частинок) одночасно зі зміцненням, викликаним дисперсійним твердінням, в процесі охолодження від температур чистової прокатки.

В процесі контрольованої прокатки створюється велика кількість центрів кристалізації при утворенні фериту; деформація раніше утвореного фериту супроводжується збільшенням щільності дислокацій і появою субструктури. Завдяки низькому вмісту вуглецю значно поліпшується зварюваність. При контрольованій прокатці важливо виключити формування сильно витягнутих уздовж напрямку деформації сульфідних включень, тому рідку сталь необхідно піддавати глибокій десульфурації (до 0,005 % S і менше) і позапічній обробці для модифікування сульфідів [41].

В основному, при виробництві товстого листа з маловуглецевої низьколегованої сталі, реалізуються такі схеми контрольованої прокатки [39]:

а) контрольована прокатка з завершенням гарячої деформації в аустенітній області для отримання дрібнозернистої, переважно рекристалізованої структури аустеніту. Спеціально підібраним складом та створеною структурою сталі досягається ефективне гальмування росту зерна аустеніту, а також дисперсійне зміцнення при подальшому прискореному охолодженні;

б) контрольована прокатка з завершенням деформації в нижній частині аустенітної області для отримання частково рекристалізованої і полігонізованої структури аустеніту;

в) контрольована прокатка з завершенням деформації в двофазній області. В цьому випадку практично весь обсяг фериту піддається наклепу, в ньому

формується субзеренна структура, а при більш низьких температурах, коли процес полігонізації загальмований, формується чарункова дислокаційна структура.

Слід зазначити, що одним з недоліків технології контрольованої прокатки є необхідність розробки своїх режимів обробки для кожної марки сталі.

У таблиці 1.4 наведено хімічний склад, рівень властивостей і технології виробництва широко поширених маловуглецевих низьколегованих сталей, котрі вироблені за технологією контрольованої прокатки і які використовуються для виготовлення труб і сполучних деталей магістральних нафтогазопроводів [31, 41, 43].

Сталь 12ГСБ класу міцності K52 (X60) проводиться в умовах ОХМК за технологією, що включає деформацію катаних слябів в поперечному напрямку з завершенням прокатки в інтервалі температур 770...800 °С з подальшим швидкісним високотемпературним відпуском. За своєю якістю ця сталь відповідає всім вимогам, що пред'являються до сталей категорії міцності X60 для труб арктичного виконання [42].

Кооперацією «НЛМК – Іжорський завод» розроблений хімічний склад сталі 10Г2ФБЮ категорії міцності K60 (X70). Для виробництва запропонованої сталі випробували і включили в технологічний цикл нові елементи: комбіноване продування; використання ківшів з високо глиноземистою футеровкою; використання теплоізоляційних кришок; вакуумування сталі.

Технологія контрольованої прокатки на стані має свої особливості: використання печей з черенем викочування (нагрів до 1160...1180 °С протягом 8...10 год.), Прокатка на одноклетьевому стані в реверсивному режимі двох однакових слябів, використання уповільненого охолодження прокатоного металу [42].

Інститут якісних сталей спільно з фірмою Posco (Pohang Iron and Steel Co – найбільша металургійна компанія Південної Кореї) розробив чисту сталь типу 07Г2 класу X70 з мікродомішками ванадію, ніобію і титану [41]. Використовувалася прокатка за контрольованими режимами з прискореним

охолодженням. Для отримання дрібного зерна фериту після перетворення застосовували великі величини обтискання в інтервалі температур, при яких відсутня рекристалізація аустеніту.

Вуглецевий коефіцієнт становив 0,367 %. Проведені дослідження показали відповідність сталі 07Г2 Posco основним технічним вимогам, що пред'являються до прокату, призначеного для виготовлення арктичних зварних труб великого діаметру класу міцності X70: $\sigma_B = 610...630 \text{ Н/мм}^2$; $\sigma_T = 505...515 \text{ Н/мм}^2$; $\delta = 32 \%$; $\psi = 80 \%$; KCV = 320...350 Дж/см² при -20 °С.

ВАТ «Северсталь» спільно з «ЦНДІчормет ім. І.П. Бардіна» [43] запропонували новий хімічний склад сталі і технологічну схему контрольованої прокатки з подальшим прискореним охолодженням на стані 5000. Найкращий комплекс властивостей отримано для композиції легування типу 05Г2 класу міцності X80, з більш низьким вмістом вуглецю і яка не містить добавок ванадію і хрому, при прокатці з завершенням в аустенітної області і прискореним охолодженням. При завершенні прокатки в області ($\gamma + \alpha$) рівень міцності, відповідний класу міцності X80, може бути досягнутий при відносно невеликій товщині листа.

Бейнітну сталь марки 14X2ГМР виготовляють у вигляді листів товщиною до 50 мм. «ЦНДІчормет ім. І.П. Бардіна» та «ІЕЗ ім. Є.О. Патона» проведена велика робота по освоєнню виробництва цієї сталі та її впровадження в зварні металоконструкції [44]. Структура і властивості високоміцної будівельної сталі 14X2ГМР після різних видів термічної і термомеханічної обробки широко висвітлена в роботі [31].

Як видно з наведених даних технологічної схеми контрольованої прокатки, що включають охолодження металу після чистової кліті дозволяють збільшити комплекс експлуатаційних властивостей готового прокату. Це пояснюється тим, що застосування прискореного охолодження від температур чистової прокатки дозволяє додатково подрібнити зерно фериту, змінити співвідношення структурних складових і зменшити розмір частинок карбонітридних фаз, що виділяються [45].

Таблиця 1.4 – Хімічний склад, клас міцності і технологія термічної обробки сталей, що використовуються для виготовлення зварних металевих конструкцій відповідального призначення

Марка сталі, виробник	Клас міцності	Технологія виготовлення	Хімічний склад, % за мас.									
			C	Mn	Si	Ni	Cu	Cr	Mo	Nb	V	Ti
440 SF2 (Франція)	X65	H+BV	0,13	1,03	0,28	0,71	-	0,19	0,04	0,026	0,076	-
Австрія	X70	КП	0,12	1,57	0,32	-	-	-	-	0,046	0,007	0,013
NK-Hiten-780B (Англія)	X80	КП+ПО	0,12	0,92	0,25	1,04	-	0,44	0,32	-	-	-
Германія	X100	КП+ПГ+відп	0,11	0,97	0,29	0,24	-	0,37	0,2	0,24	-	0,002
07Г2 (Posco, Південна Корея, Інститут якісних сталей)	X70	КП+ПО	0,063	1,74	0,29	0,019	0,13	0,026	0,032	0,046	0,072	0,017
05Г2(НД)МБ (ВАТ «Северсталь» та «ЦНДІчормет ім. І.П. Бардіна», Росія)	X80	КП+ПО	0,05-0,076	1,8-1,86	-	0,18	0,20	-	0,18-0,25	мікролегір.	-	-
09Г2ФБ (Україна)	X70	КП	0,09	1,26	0,24	-	-	-	-	0,024	0,105	0,018
14ХГ2С (Україна)	X80	КП+ гарт + відп	0,12	1,42	0,57	0,16	-	0,44	0,03	0,01	0,08	0,04
14Х2ГМР (Україна)	X80	гаряча прокатка	0,14	1,05	0,25	0,3	-	0,45	0,5	-	0,03	-

Н – нормалізація, BV – високий відпуск, ПГ – пряме гартування, ПО (ЗО) – прискорене (уповільнене) охолодження

1.4 Резерви підвищення комплексу властивостей маловуглецевих низьколегованих сталей для магістральних трубопроводів

Удосконалення технології контрольованої прокатки шляхом застосування прискореного охолодження після деформації [46] дозволяє зменшити вміст вуглецю, легувальних і мікролегувальних елементів, отримати більш дисперсну і однорідну структуру, зменшити анізотропію і вирішити питання виготовлення товстих листів (20 мм), що мають добру корозійну стійкість, а також підвищити температурний інтервал деформації, завершуючи її в аустенітній області, що знижує навантаження на прокатне обладнання [43].

Варіюючи швидкості післядеформаційного охолодження можна підібрати температурно-часові умови, при яких в структурі металу будуть формуватися різні морфологічні типи бейніту, в тому числі голчастий ферит. Автори робіт [38, 39, 46, 47] вказують на те, що заміна перлітної складової структури металу на бейніт або голчастий ферит дозволяє значно збільшити міцність прокату без зниження ударної в'язкості.

В роботі [38] сформульовані основні принципи створення високоміцних холодостійких сталей з бейнітною структурою з границею плинності $\sigma_T = 590$ МПа, одержуваних з застосуванням термдеформаційних обробок (ТДО):

а) хімічний склад сталі повинен забезпечувати отримання після ТДО необхідної частки продуктів бейнітного перетворення аустеніту і необхідний інтервал цього перетворення;

б) для забезпечення необхідної морозостійкості сталі необхідно сформувати в циклі ТДО сприятливу структуру аустеніту – дрібне зерно на попередній стадії (менш 30 мкм) і його деформацію з обтисненням не менше 65...70 %;

в) додатковий ефект зміцнення забезпечується введенням мікродомішок ванадію, титану, ніобію;

г) важливим є забезпечення необхідного рівня чистоти сталі, в першу чергу, за сіркою (вимоги зростають при підвищенні рівня міцності).

Сталь з $\sigma_T = 590$ МПа повинна мати після ТДО структуру, яка містить не менше 60 % бейніту (решта повинна являти собою дрібнозернистий ферит з розміром зерна 4...5 мкм), з дисперсійним зміцненням частинками карбонітридних фаз V, Ti і Nb. Для отримання $\sigma_{0,2} \approx 685$ МПа сталь повинна мати не менше 80 % бейніту [38].

Дослідження морфології продуктів розпаду аустеніту поблизу температури початку бейнітного перетворення і в самому температурному інтервалі бейнітної області [48, 49] показало наявність в маловуглецевих низьколегованих сталях фериту двох морфологічних типів: полієдричної і відманштетової.

Зародження полієдричного фериту відбувається за дифузійним механізмом в умовах значної рухливості атомів, коли не виникає внутрішньої напруги, а утворюються кристали, що прагнуть придбати термодинамічно найбільш вигідну форму. Полієдричний ферит має нижчу, порівняно з відманштетовим, щільність дислокацій, що обумовлено дифузійним формуванням даного типу фериту переважно вздовж границь аустенітних зерен [50].

У міру підвищення швидкості охолодження форма кристалів фериту, що утворилися з аустеніту, поступово змінюється від рівноважної і полієдричної до пластинчастої [51, 52]. Феритні пластини зростають від кордонів до центру аустенітних зерен і мають чітко виражену орієнтацію. Реакцію зародження відманштетового фериту, очевидно, можна розглядати як зсувне перетворення, що протікає при швидкості охолодження більш за критичну, при якій з'являється відманштетовий доєвтектоїдний ферит. Слід зазначити, що в доєвтектоїдних сталях відманштетові структури можуть бути присутніми при вмісті вуглецю 0,05...0,5 % [49].

При розпаді переохолодженого аустеніту маловуглецевих низьколегованих сталей в верхньому районі температурного інтервалу бейнітної області спостерігається утворення безкарбідного бейніту або голчастого фериту [47, 52, 53]. Структура голчастого фериту являє собою пакети паралельних рейок, які характеризуються підвищеною щільністю дислокацій. Властивості сталей з такою структурою багато в чому визначаються як розміром пакетів, так і розміром рейок

[54, 55].

Голчастий ферит дрібнозернистий внаслідок нижчої, ніж при перлітному перетворенні, температури утворення. Саме вона обумовлює сильно розвинену субструктуру з високою щільністю дислокацій. Це пов'язано з характерною дією двох основних легувальних елементів (молібдену і марганцю), котрі істотно підвищують стійкість аустеніту. Низька температура утворення обумовлює також більш повільне виділення карбідної фази, тому можна регулювати процес твердіння [56].

Зміцнення при утворенні голчастого фериту обумовлено «фазовим» наклепом [51]: перетворення «аустеніт-ферит» супроводжується об'ємними змінами, а так як воно (в результаті переохолодження) відбувається при низькій температурі, то α - і γ -фази зазнають наклеп. Так, твердість голчастого фериту на 100...150 НВ вище твердості полідрічного фериту. В процесі перетворення аустеніту відбувається також утворення інших структурних складових: карбідів, залишкового аустеніту або мартенситу [38, 52].

Перетворення аустеніту в проміжній області температур відбувається з утворенням декількох морфологічно різних форм бейніту. Бейнітне перетворення автори роботи [57] розглядають як дифузійно-обумовлене мартенситне перетворення, перебіг якого можливо в строго певних інтервалах температур і концентрацій після попереднього перерозподілу вуглецю в аустеніті.

Класифікація, розроблена японськими вченими Х. Охтані і С. Окагучі [58], заснована на припущенні, що бейніт у маловуглецевій низьколегованій сталі завжди має рейкову морфологію.

Верхній бейніт, відповідно до класифікації, може мати три структури, які характеризуються різним розподілом карбідів в рейковому фериті: з наявністю залишкового аустеніту (мартенситу), наявністю карбідів по границях рейок або всередині їх.

При наявності великих рейок фериту бейнітна сталь має невисокі показники міцності і морозостійкості. Довжина бейнітної рейки залежить від діаметра вихідного зерна аустеніту, а її ширина зменшується при зниженні температури

перетворення, при цьому одночасно зростає щільність дислокацій [38]. В'язкість і опір крихкому руйнуванню маловуглецевих сталей поліпшується впливом на структуру аустеніту безпосередньо перед $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворенням.

Нижній бейніт є пластинчастий ферит з розподілом карбідів всередині пластин. Зі зменшенням температури перетворення подрібнюються пластини (рейки) бейнітного фериту, підвищується дисперсність карбідів і збільшується їх кількість [54].

Таким чином, розмір бейнітної колонії визначає міцність, а в'язкість і холодостійкість сталі визначається структурою аустеніту безпосередньо перед $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворенням, що викликає необхідність застосування спеціальної технології термодетформаційної обробки [38] для досягнення високого комплексу властивостей при виробництві таких сталей. У маловуглецевих бейнітних сталях верхній бейніт має знижену ударну в'язкість в порівнянні з нижнім, що пояснюється розміром і розташуванням карбонітридної фази.

При охолодженні металу з великими швидкостями від температур контрольованої прокатки (гартування) в структурі сталі з'являється мартенсит. Кількість мартенситу залежить в основному від складу сталі (складу аустеніту). Так, на положення точки температури початку мартенситного перетворення (МП) впливає вміст вуглецю і легувальних елементів (мідь, нікель, хром, молібден, марганець) в аустеніті: чим більше легуючих елементів, тим нижче температура МП. В процесі мартенситного перетворення вуглець з розчину не виділяється і відбувається тільки перебудова атомів заліза (бездифузійне перетворення).

Типова структура мартенситу загартованої сталі має характерний голчастий вид з наявністю рельєфу на полірованому шліфі. Кристали мартенситу являють собою пластини, розташовані паралельно або схрещені під певними кутами (60° і 120°). Крім мартенситу в загартованій сталі присутній залишковий аустеніт, який виявляється металографічно у вигляді світлих полів між голками мартенситу [58-62].

Якщо в структурі сталі вдається отримати понад 51 % мартенситу, то сталь набуває максимальні значення характеристик міцності і мінімальні значення

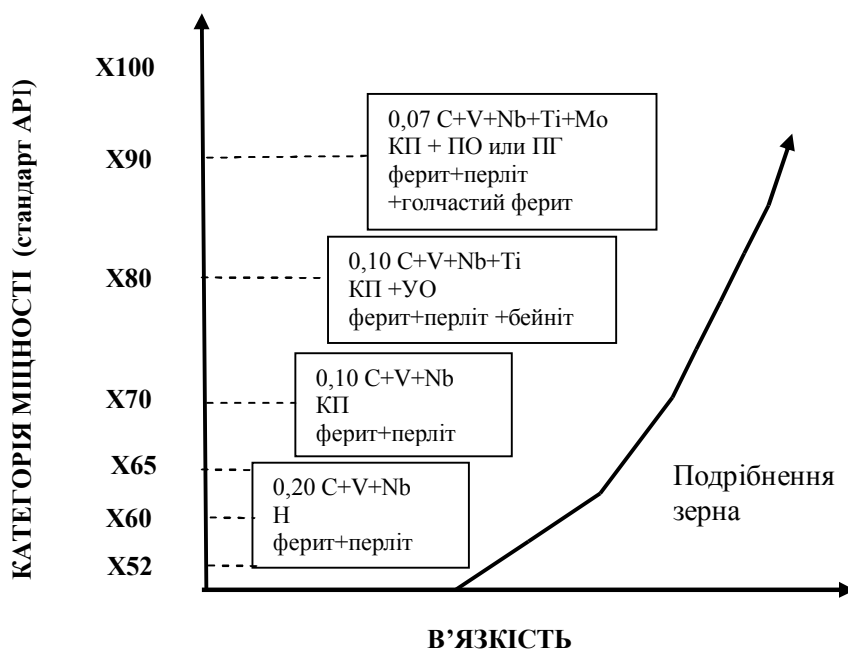
пластичності, що викликає необхідність проведення наступної операції відпуску і, як наслідок, до подорожчання металу.

1.5 Висновки

Аналіз літературних джерел показав, що використання для будівельних металевих конструкцій маловуглецевих низьколегованих сталей підвищеної міцності є ефективним і перспективним.

Аналіз даних, наведених в таблицях 1.2...1.4, показує, що сталі для магістральних нафтогазопроводів володіють більш високими експлуатаційними характеристиками в порівнянні з іншими досліджуваними марками сталі.

На рисунку 1.1 наведені узагальнені результати розвитку виробництва високоміцних маловуглецевих низьколегованих сталей.



КП – контрольована прокатка; ПО – прискорене охолодження;

ПГ – пряме гартування; Н – нормалізація

Рисунок 1.1 – Схема розвитку маловуглецевих низьколегованих сталей для металевих конструкцій відповідального призначення

Аналіз наведених даних показує, що поряд з подрібненням зерен структури і вдосконаленням систем легування, можливо зміцнення металу за рахунок збільшення об'ємної частки структур бейнітного типу, в тому числі структури голчастого фериту, що дозволить значно збільшити міцність сталі без значної втрати її пластичності. Це призведе до зниження маси металоконструкцій, і, як наслідок, їх вартості.

У зв'язку з вищесказаним метою цієї роботи є обґрунтування ефективності використання маловуглецевих низьколегованих штрипсових сталей зі структурою голчастого фериту при виробництві будівельних металевих конструкцій.

Для досягнення поставленої мети було необхідно вирішити такі завдання:

- провести порівняльний аналіз рівня властивостей і технологій виробництва сталей використовуваних при виготовленні зварювальних металевих конструкцій;
- дослідити структурно-фазовий склад і рівень властивостей сучасних маловуглецевих низьколегованих сталей підвищеної та високої міцності;
- дослідити можливі резерви підвищення експлуатаційних властивостей маловуглецевих низьколегованих штрипсових сталей;
- дослідити можливість заміни елементів металевого каркаса, спочатку запроектованих зі сталі підвищеної міцності (09Г2С) на елементи з штрипсової сталі (10Г2ФБ) і сталі 10Г2ФБ після додаткового зміцнення;
- обґрунтувати економічну ефективність застосування сталі зі структурою голчастого фериту при виробництві будівельних металевих конструкцій.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Світлова мікроскопія

Для дослідження за допомогою оптичного мікроскопа використовувалися спеціально підготовлені зразки – шліфи. Підготовку шліфів здійснювали за такою методикою:

- відбір зразка – перпендикулярно напрямку прокатки;
- механічне шліфування з використанням абразивних матеріалів різної дисперсності;
- механічна поліровка з використанням алмазних паст різної дисперсності;
- остаточне полірування на диску, обтягнутому фетром;
- електролітичне полірування;
- хімічне травлення.

Після кожної із зазначених операцій зразки промивалися в спирті. Після механічного полірування алмазними пастами зразки промивалися в високооктановому бензині, а потім в дистильованій воді.

Абразивні матеріали для механічного потоншення зразків вибирали згідно з довідником [63].

Хімічний склад електроліту для полірування зразків: 25 г хромового ангідриду, 125 см³ оцтової кислоти, 5 см³ води. Режими електролітичного полірування: $U = 15...20$ В, $I = 0,05$ А/см², $t = 16...18^{\circ}$ С.

Зразок після механічного шліфування і електролітичного полірування мав гладку дзеркальну поверхню вільну від подряпин.

Дослідження, аналіз і фотографування металографічних шліфів виконували на металографічному мікроскопі «Неофот-2» і автоматичному аналізаторі структури «Епиквант» при світлопольному прямому освітленні.

2.2 Електрона мікроскопія

У даній роботі використовували прямий метод препарування зразків для електронно-мікроскопічних досліджень.

Для приготування тонкої фольги використовували прилад для препарування металевих зразків ПТФ-2. За допомогою цього приладу проводили відрізання пластин від масивних зразків, вирізання дисків, механічне шліфування дисків і електролітичне полірування зразків до появи перфорації. Отриману фольгу з отвором промивали у спирті.

Електронно-мікроскопічне дослідження тонкої структури метала здійснювали на електронному просвічувальному мікроскопі типу ЕМ-125К при напрузі прискорення 75...100 кВ.

При дослідженні на просвіт тонкої фольги в електронному мікроскопі ЕМ-125К спостерігали світлопольне і темнопольне зображення, а також мікродифракційну картину від виділеної ділянки об'єкта.

Ідентифікацію фаз проводили згідно з методиками, наведеними в технічній літературі [64-67]. Темнопольне зображення отримували шляхом відхилення падаючого пучка за рахунок нахилу освітлювальної системи мікроскопа. Така схема отримання темнопольних зображень передбачена конструкційною схемою приладу.

Мікродифракційні дослідження від виділеної ділянки об'єкта здійснювали із застосуванням селекторних діафрагм розміром менше 1 мкм². Для ідентифікування отриманих мікродифракційних картин використовували методику розрахунку електроннограм від видимої ділянки об'єкта, згідно [67]:

- а) найяскравіший рефлекс приймаємо за нульовий вузол решітки;
- б) вимірюємо відстань (r) від нульового вузла до трьох рефлексів, які разом з центром електроннограми утворюють вершини паралелограма;
- в) розраховуємо міжплощинні відстані (d), знаючи постійну прибору (C), за формулою:

$$d = \frac{C}{r}; \quad (2.1)$$

г) використовуючи таблицю міжплощинних відстаней для даної речовини [67], звіряємо величини d , отримані з вимірювань, з дійсними і встановлюємо індекси hkl для кожного рефлексу;

д) вимірюємо кути φ між обраними рефлексами;

е) послідовно про-складаємо індекси (hkl) в рядах рефлексів уздовж обраних напрямків; складаємо ці індекси для визначення рефлексів, розташованих між цими напрямками;

ж) визначаємо індекси осі зони $[uvw]$ шляхом векторного поєднання індексів якихось двох рефлексів:

$$u = k_1 l_2 - k_2 l_1, \quad (2.2)$$

$$v = l_1 h_2 - l_2 h_1, \quad (2.3)$$

$$w = h_1 k_2 - h_2 k_1. \quad (2.4)$$

Всі індекси рефлексів поблизу центру електронोगрами повинні задовольняти рівнянню:

$$hu + kv + lw = 0, \quad (2.5)$$

а індекси рефлексів, розташованих далеко від центру, повинні задовольняти узагальненій вимозі:

$$hu + kv + lw = C = \pm 1, \pm 2; \quad (2.6)$$

и) розраховуємо кути φ і порівнюємо їх з виміряними. Для кубічної

кристалічної системи кут φ між $(h_1k_1l_1)$ і $(h_2k_2l_2)$ визначається за формулою:

$$\cos\varphi = \frac{h_1h_2 + k_1k_2 + l_1l_2}{\sqrt{h_1^2 + k_1^2 + l_1^2} \sqrt{h_2^2 + k_2^2 + l_2^2}} \quad (2.7)$$

2.3 Рентгеноструктурний аналіз

Рентгеноструктурні дослідження проводили на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-4-07, підключеному до ПЕОМ Pentium 133. У даній роботі записували інтенсивність чотирьох інтерференційних максимумів: (110) в $K\alpha$ кобальтовому випромінюванні. Крок сканування зйомки 0,02 по 151 точці. Щільність дислокацій визначали по лінії (110).

Величину мікронапруг $\Delta l / l$ розраховували методом апроксимації за допомогою спеціальної програми на ПЕОМ Pentium 133. Оцінку щільності дефектів кристалічної будови проводили за фізичним розширенням ліній на рентгенограмі і визначали за формулою згідно [69-71]:

$$D = A\beta^2, \quad (2.8)$$

де A – коефіцієнт пропорційності;

$$\beta = \frac{\int f(x)dx}{h_{\max}} - \text{фізичне розширення лінії.}$$

2.4 Методи визначення механічних властивостей

У даній роботі визначали механічні властивості досліджуваного матеріалу при статичному навантаженні. Основними обумовленими показниками були:

- границя міцності (тимчасовий опір σ_B) – відношення найбільшого навантаження, що передує руйнуванню зразка, до початкової площі перерізу зразка;
- границя плинності (σ_T) – найменше напруження, при якому зразок деформується без істотного збільшення навантаження;
- відносне видовження (δ) – відношення приросту довжини зразка після розриву до первісної його довжини;
- відносне звуження (ψ) – відношення зменшення площі поперечного перерізу зразка до початкової його площі;
- ударна в'язкість – відношення роботи, витраченої на ударний злам зразка, до площі поперечного перерізу зразка в місці надрізу.

Міцність досліджуваного металу визначали згідно ГОСТ 1497-84 на циліндричних зразках діаметром 10 мм за допомогою універсальної випробувальної машини FP-I00 / 1.

Випробування на ударний вигин зразків розміром 10x10x50мм з V-подібним концентратором напружень проводили відповідно до ГОСТ 9454-78 на маятниковому копрі 2130 КМ - 0,3 при температурі мінус 40 °С.

2.5 Зміцнювальна обробка експериментальних зразків

Для отримання в досліджуваному металі заданого структурного стану (структури бейніту різної морфології і голчастого фериту) здійснювали додаткове зміцнення з окремого нагріву за такою методикою.

Карти розміром $60 \times 155 \times 19$ мм нагрівали до температури 980°C і витримували протягом 19 хв (з розрахунку 1 хв на 1 мм перерізу) і охолоджували із заданою швидкістю до температури 500°C . При даній температурі метал витримували протягом 60 хв і охолоджували на повітрі.

З отриманих заготовок виготовляли зразки для механічних випробувань і досліджень мікроструктури.

В процесі термічної обробки температуру за обсягом металу контролювали за допомогою хромель-алюмелевої термопари, що встановлена в центральну частину зразка. Запис кривих охолодження здійснювали за допомогою потенціометра КСП-4.

2.6 Алгоритм розрахунку металевих конструкцій

Вибір перетину і розрахунок металоконструкцій здійснювали за такою методикою [72, 73]:

а) центрально-розтягнуті елементи розраховуємо на міцність за формулою [72]:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (2.9)$$

де σ – напруга в елементі рами, кН/см^2 (МПа);

N – поздовжня сила, кН;

A – площа перерізу елемента, що розглядається, см^2 ;

R_y – розрахунковий опір сталі розтягуванню за границею плинності;

б) центрально-стислі елементи розраховуємо на стійкість за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (2.10)$$

де φ – коефіцієнт поздовжнього вигину (з табл. 72 СНиП II-23-81 * в залежності від гнучкості λ і розрахункового опору R_y):

$$\lambda_{\max} = \frac{l_{ef}}{i_{\min}}, \quad (2.11)$$

де l_{ef} – розрахункова довжина елемента, див (табл. 11 [72]);

$i_{\min}$ – найменший радіус інерції перерізу, см;

$$i_{x,y} = \sqrt{\frac{I_{x,y}}{A}}, \quad (2.12)$$

де $I_{x,y}$ – моменти інерції перетину щодо осей x, y , см⁴.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ МАЛОВУГЛЕЦЕВИХ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ПІДВИЩЕНОЇ І ВИСОКОЇ МІЦНОСТІ

3.1 Дослідження структури сталі 09Г2С в стані постачання

Технологія виробництва листової маловуглецевої низьколегованої сталі 09Г2С представлена на рис. 3.1. Технологічна схема виробництва включає: нагрів до температури аустенізації (1100...1150 °С), витримка при даній температурі, деформацію аустеніту (температура кінця гарячої прокатки складає 980...800° С) і після деформаційного охолодження на повітрі.

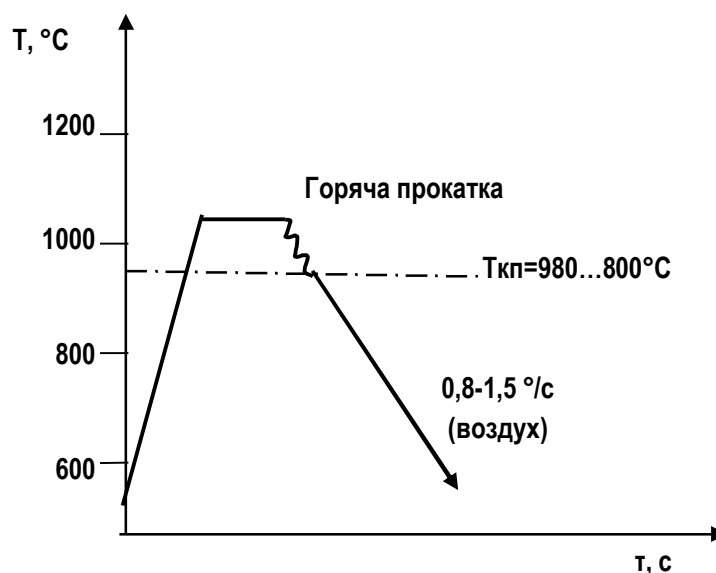
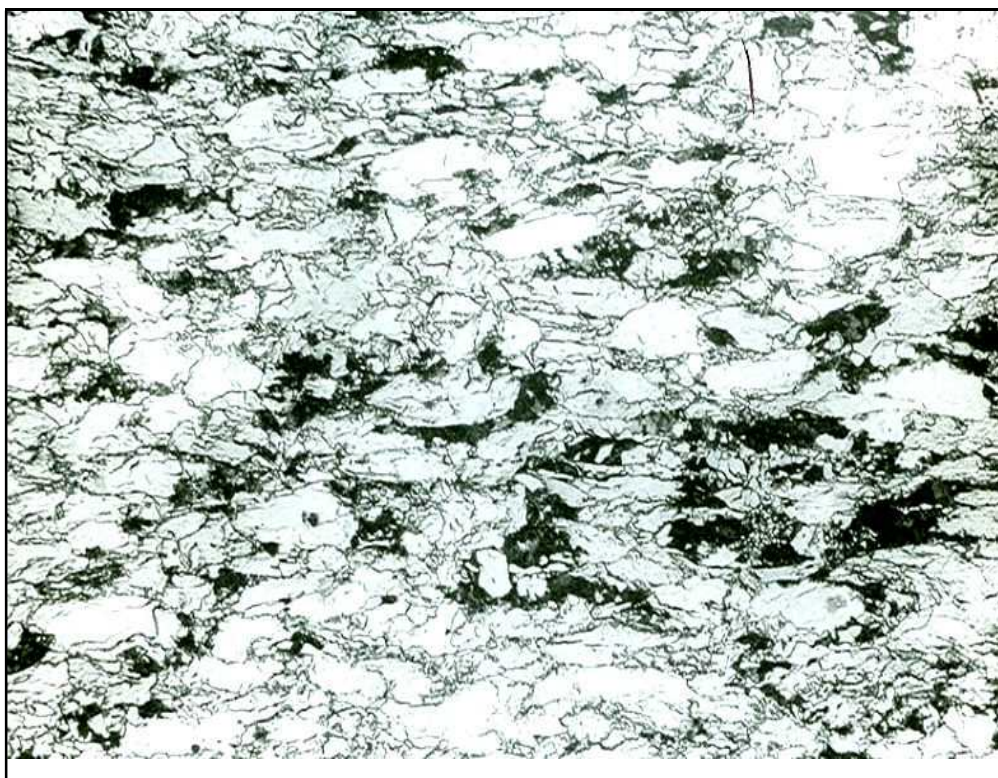
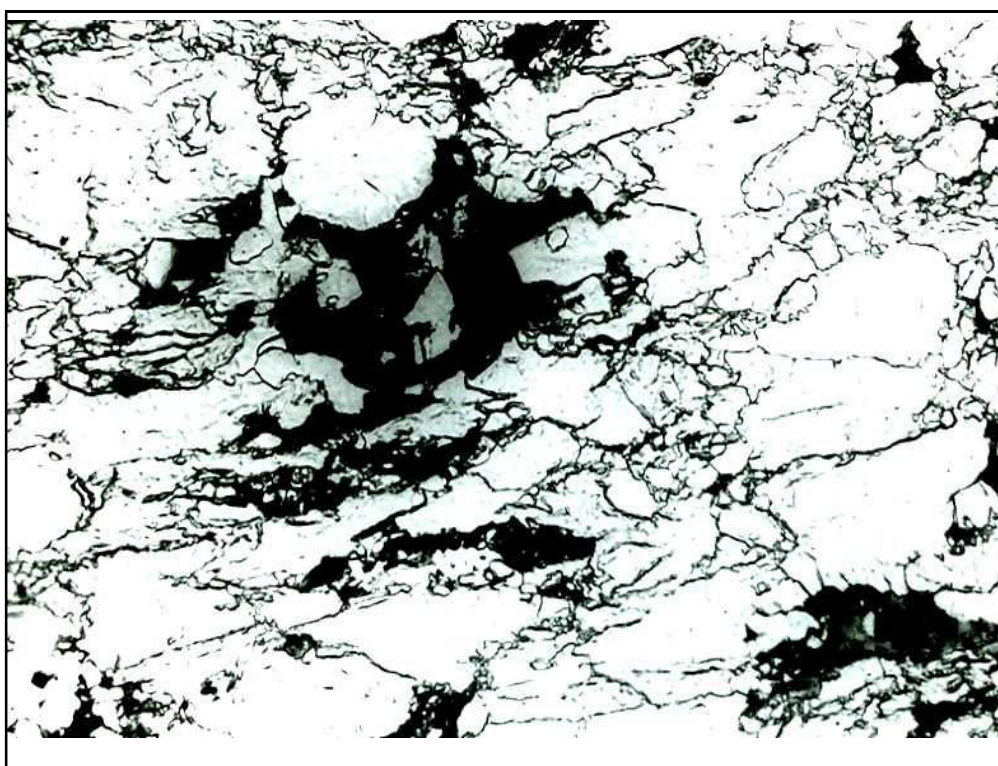


Рисунок 3.1 – Технологічна схема виробництва сталі 09Г2С

Структура сталі 09Г2С після гарячої прокатки являє собою зерна доєвтектоїдного фериту і перлітні колонії (рис. 3.2 а, б). Електронно-мікроскопічні дослідження показали, що межпластинчаста відстань в перліті становить 0,3 мкм (рис. 3.3 а). Утворенні зерна доєвтектоїдного фериту мають форму багатогранників, щільність дислокацій в них становить близько $6 \times 10^7 \text{см}^{-2}$ (рис. 3.3 б, в).



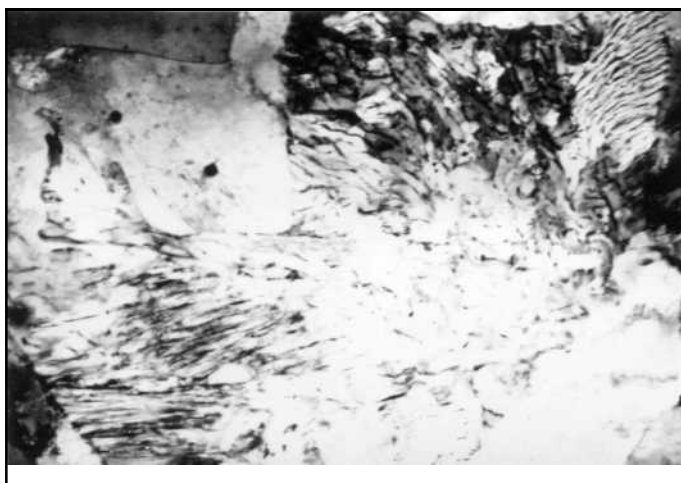
а



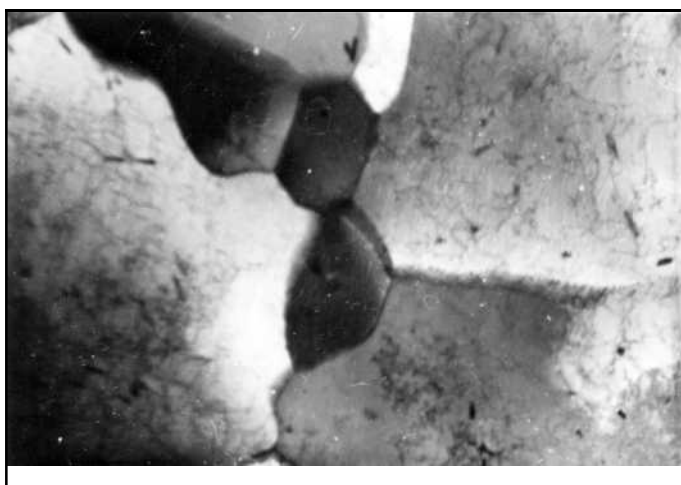
б

а – $\times 100$; б – $\times 400$

Рисунок 3.2 – Мікроструктура сталі 09Г2С в стані постачання (ферито-перлітна структура)



а



б



в

а – перлітні колонії, $\times 12000$;

б – субструктура феритних зерен, $\times 20000$;

в – дислокаційна структура феритних зерен, $\times 20000$

Рисунок 3.3 – Тонка структура сталі 09Г2С в стані постачання

3.2 Дослідження структури сталі 10Г2ФБ в стані після контрольованої прокатки

Технологічна схема виробництва товстого листа з низьковуглецевої мікролегованої сталі 10Г2ФБ приведена на рисунку 3.4.

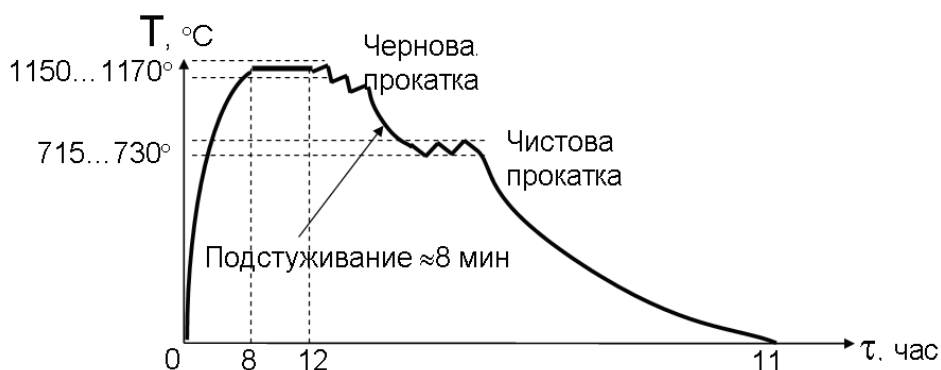
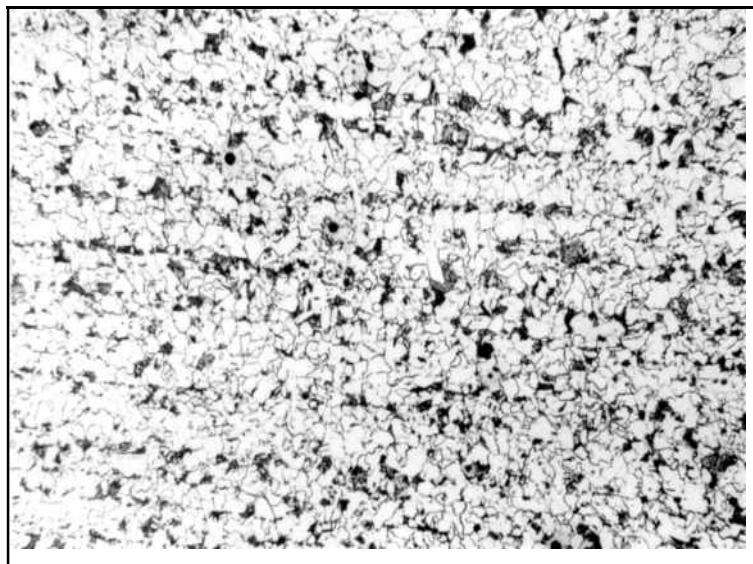


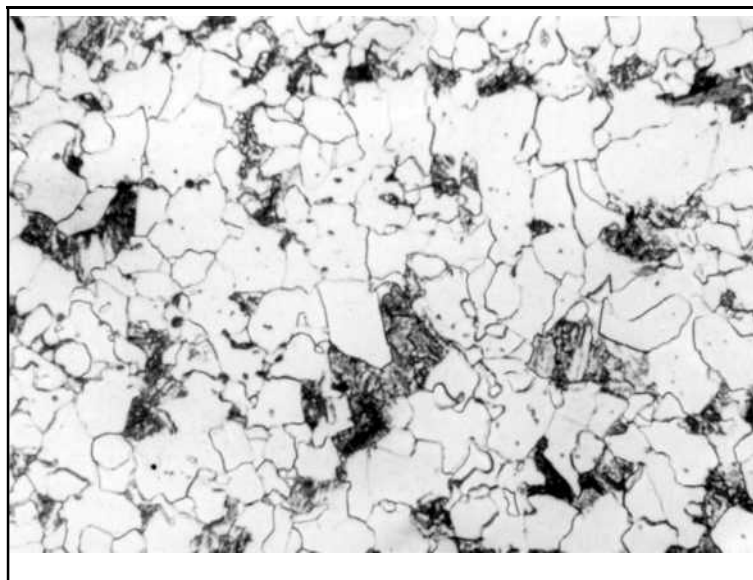
Рисунок 3.4 – Технологічна схема прокатки товстого листа сталі 10Г2ФБ на стані 3000 металургійного комбінату ім. Ілліча (Маріуполь)

Технологічна схема прокатки товстого листа включає наступні операції. Сляб товщиною 250 мм нагрівають в газових прохідних печах до температури аустенітизації ($1150...1170^\circ\text{C}$) і витримують протягом 3...4 годин. Чорнову прокатку здійснюють за 8...10 проходів при температурі близько 1070°C . Потім лист охолоджують перед чистової прокаткою до температури $750...720^\circ\text{C}$. Чистову прокатку проводять при температурі $730...720^\circ\text{C}$. Після чистової прокатки лист охолоджується на повітрі протягом 90 годин.

Дослідження показали, що лист, прокатаний за наведеними режимами, має дисперсну ферито-перлітну структуру (рис. 3.5 а, б). Спостерігається структурна неоднорідність у вигляді смуг фериту і перліту, що чергуються. Однією з причин утворення такої структури є часткова рекристалізація аустеніту, при якій дрібні γ -зерна утворюються на кордонах великих.



а

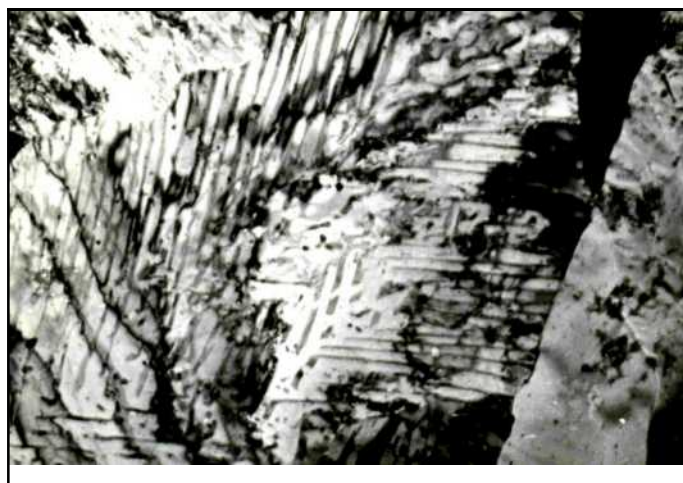


б

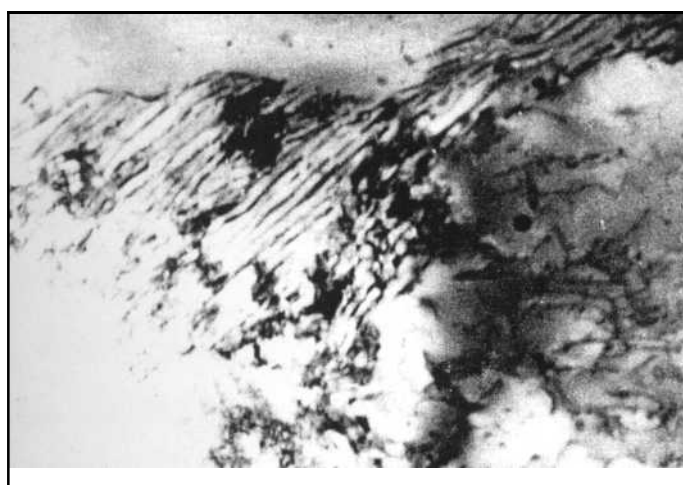
а – $\times 100$; б – $\times 400$

Рисунок 3.5 – Мікроструктура сталі 10Г2ФБ в стані постачання (ферито-перлітна структура)

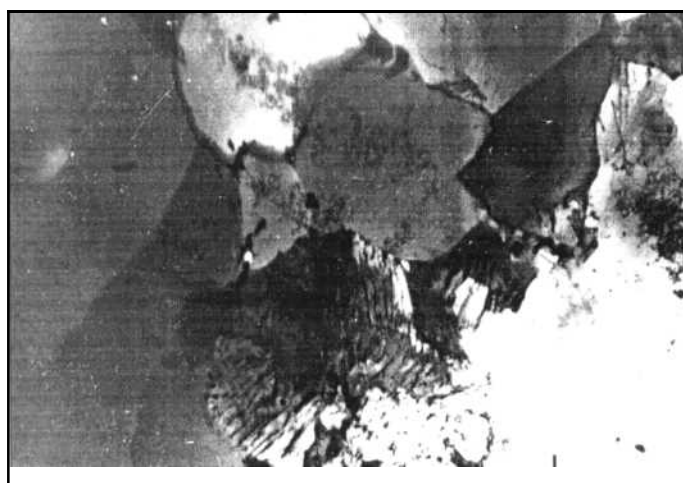
Електронно-мікроскопічні дослідження показали, що зерна доєвтектоїдного фериту мають форму багатогранників з помірною щільністю дислокацій і перлітних колоній з довгими і тонкими пластинами цементиту з міжпластинчастою відстанню $S_0=0,1$ мкм (рис. 3.6 а, б, в).



а



б



в

а – перлітні колонії, $\times 12000$;

б – субструктура феритних зерен, $\times 20000$;

в – субструктура феритних зерен, $\times 18000$

Рисунок 3.6 – Тонка структура сталі 10Г2ФБ в стані постачання

3.3 Дослідження структури сталі 10Г2ФБ після додаткової зміцнювальної обробки

Ґрунтуючись на встановлених в роботах [52, 53] температурно-тимчасових інтервалах розпаду переохолодженого аустеніту сталі 10Г2ФБ з утворенням структури голчастого фериту була проведена додаткова зміцнювальна обробка сталі 10Г2ФБ за режимом, наведеним в роботі [52].

Дослідження сталі 10Г2ФБ після додаткової зміцнювальної обробки показали, що структура металу складається з різних морфологічних типів бейніту (рис.3.7 а, б).

Проведений комплекс електронно-мікроскопічних досліджень показав, що в результаті проведеної зміцнювальної обробки в структурі металу сформувався бейніт трьох морфологічних типів: верхній, нижній і безкарбідний, званий в літературі голчастим феритом.

Необхідно відзначити, що об'ємна частка верхнього бейніту склала 10 %; нижнього – 25 % і голчастого фериту – 65 %.

Верхній бейніт, згідно роботі Х. Отані і С. Окагучі [58], являє собою рейковий ферит з різним розподілом карбідів: з наявністю залишкового аустеніту і / або наявністю карбідів в основному по межах рейок.

Утворення карбідної фази на межі рейок пов'язано з досить високою температурою перетворення: зростаючі рейки бейнітного фериту витісняють значну частину вуглецю в міжрейкові зазори, де збільшується концентрація вуглецю, і утворюються карбіди.

Кристали верхнього бейніту мають високу щільність дислокацій (10^9 см^{-2}). Феритні рейки мають ширину в середньому близько 1 мкм і зібрані в пакети до 10...20 мкм в поперечнику (рис. 3.8 а, б).



а



б

а – $\times 500$; б – $\times 1000$

Рисунок 3.7 – Мікроструктура сталі 10Г2ФБ після додаткової зміцнювальної обробки (ферито-бейнітна структура)

Рейки нижнього бейніту мають пластинчасту морфологію. Карбонітридна фаза, в основному, розташовується всередині пластин (рис. 3.9) бейнітного фериту. Це пояснюється досить низькою температурою початку утворення нижнього бейніту, при якій вуглець лише частково дифундує до кордонів зростаючих феритних рейок. Щільність дислокацій в рейках нижнього бейніту становить 10^{10} см^{-2} .



а



б

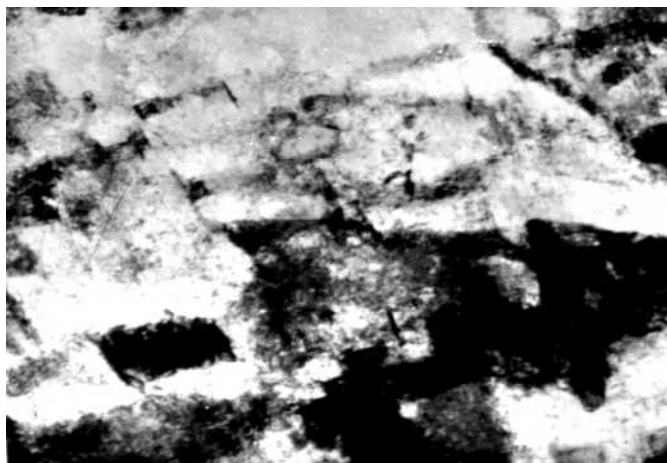
а – морфологічні особливості верхнього бейніту ($\times 20000$);

б – морфологічні особливості верхнього бейніту ($\times 30000$)

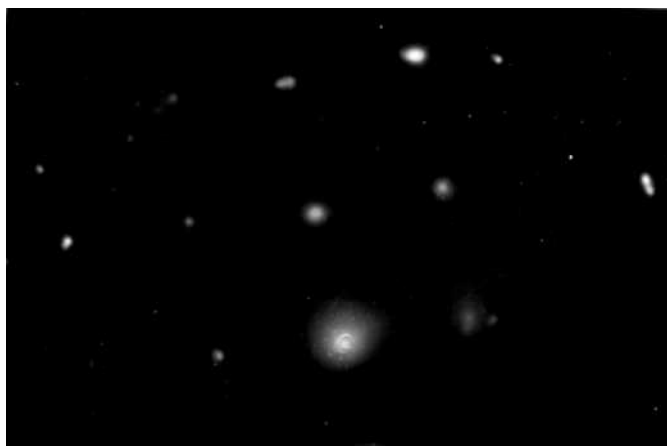
Рисунок 3.8 – Тонка структура сталі 10Г2ФБ після додаткової зміцнювальної обробки

На рисунку 3.9 б представлена мікродифракційна картина від рейки нижнього бейніту. При розшифровці електронограми (див. рис. 3.9 в) було проведено індицирування рефлексів і визначена вісь зони: $[001]$.

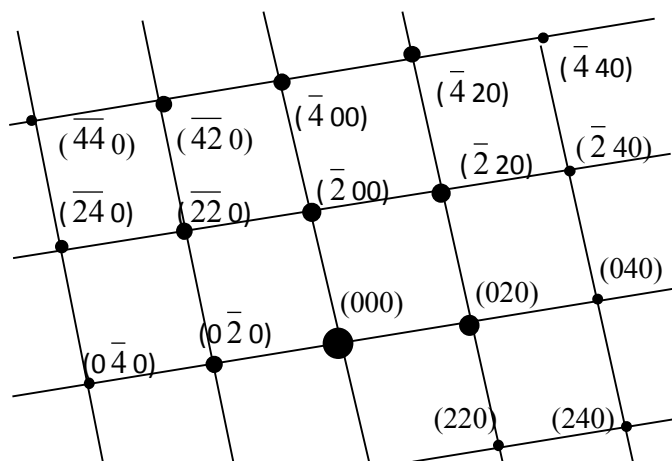
Структура голчастого фериту (рис. 3.10) являє собою пакети паралельних рейок, які характеризуються підвищеною щільністю дислокацій (близько 10^{12} см^{-2}), тобто, подібна до структури маловуглецевого мартенситу. Властивості сталей з такою структурою багато в чому визначаються як розміром пакетів, так і розміром рейок [54, 55].



а



б



в

а – морфологічні особливості нижнього бейніту ($\times 30000$);

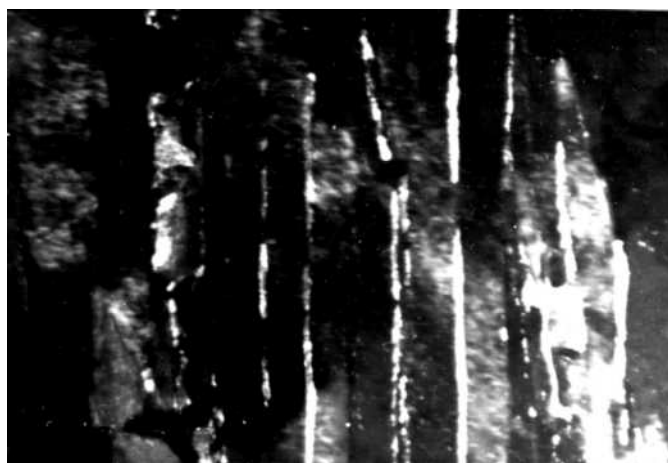
б – мікродифракційна картина від рейки нижнього бейніту;

в – інтерпритація електронограми від рейки нижнього бейніту

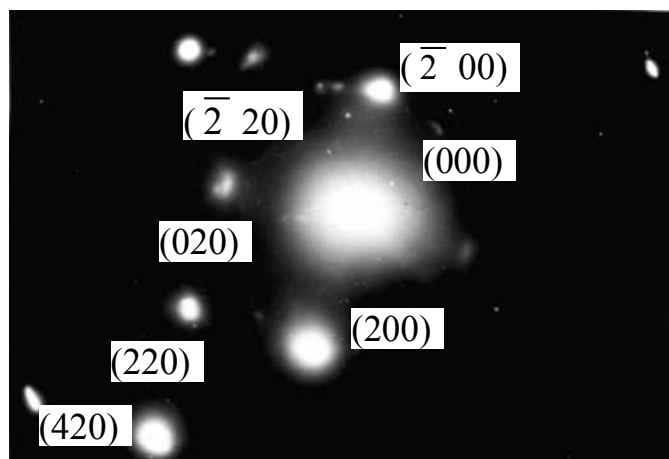
Рисунок 3.9 – Тонка структура сталі 10Г2ФБ після додаткової зміцнювальної обробки



а



б



в

а – морфологічні особливості голчастого фериту ($\times 18000$);

б – темне поле у рефлексі α -фази ($\times 18000$);

в – мікродифракційна картина від рейки голчастого фериту

Рисунок 3.10 – Тонка структура сталі 10Г2ФБ після додаткової зміцнювальної обробки

звичайних кордонів: за рахунок зниженої енергії вони більш «прозорі» для руху дислокацій і більш стійкі до міграції при високих температурах.

Поява субзеренних границь між рейками в пакеті голчастого фериту пов'язана, в очевидно, з тим, що частина дислокацій встигає вийти на міжфазну границю.

Рентгеноструктурний аналіз показав, що щільність дислокацій сталі 10Г2ФБ після додаткової зміцнювальної обробки $\rho = 3,01 \times 10^9 \text{ см}^{-2}$. Рівень мікронапруг ($\Delta l / l$), що визначається за зміщенням ліній на рентгенограмі, дорівнює $1,093 \times 10^{-3}$.

3.4 Комплекс механічних властивостей досліджуваних марок сталей

Комплекс механічних властивостей досліджених маловуглецевих низьколегованих сталей представлений в табл. 3.1.

Границя плинності сталі 10Г2ФБ в стані постачання вже на 205 МПа перевищує σ_T сталі 09Г2С, а сталі 10Г2ФБ після зміцнювальної обробки перевищує на 325 МПа.

Межа міцності сталі 10Г2ФБ в стані постачання на 140 МПа перевищує σ_B сталі 09Г2С, а сталі 10Г2ФБ після зміцнювальної обробки перевищує на 208 МПа.

Відносне подовження і відносне звуження, відрізняються менш значно: найбільше значення відносного подовження отримано у сталі 10Г2ФБ в стані постачання ($\delta_5 = 25 \%$), а δ_5 сталей 09Г2С і 10Г2ФБ після зміцнювальної обробки на 4 % менше. Відносне звуження сталі 10Г2ФБ в стані постачання найменше (на 18 % менше ψ сталі 09Г2С), а після зміцнювальної обробки на 2 % перевищує показник ψ сталі 09Г2С.

Ударна в'язкість зростає зі збільшенням міцності досліджуваних сталей: KCV^{40} сталі 10Г2ФБ в стані постачання на 20 Дж/см² більше ударної в'язкості сталі 09Г2С, а після зміцнювальної обробки більше на 29 Дж/см².

Таблиця 3.1 – Механічні властивості досліджених маловуглецевих низьколегованих сталей

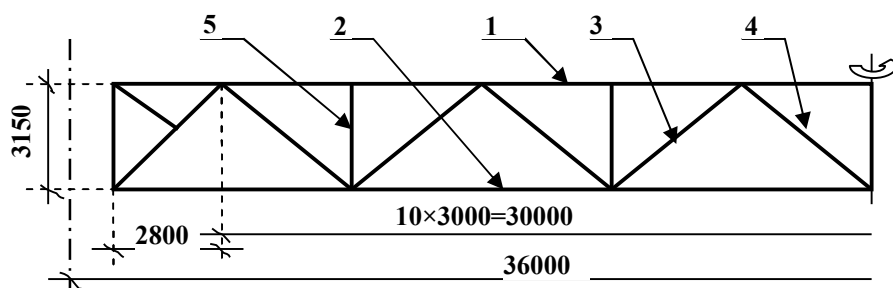
Марка сталі	Границя плинності (σ_T), МПа	Границя міцності (σ_B), МПа	Відносне видовження (δ_5), %	Відносне звуження (ψ), %	Ударна в'язкість, (KCV ⁻⁴⁰) Дж/см ²
09Г2С в стані постачання	345	500	21	66	40
10Г2ФБ в стані постачання	550	640	25	48	65
10Г2ФБ після зміцню- вальної обробки	670	708	21	68	74

3.5 Розрахунок перерізів елементів кроквяної ферми з ферито-перлітних сталей і сталі зі структурою голчастого фериту

Кроквяні ферми служать в якості несучих конструкцій покриттів. Вони сприймають навантаження в прольоті від кровельного настилу та розташованих на ньому паро-, тепло- і гідроізоляції. Ферми складаються з верхнього і нижнього поясів і з'єднувальних їх решіток – розкосів і стійок (рис. 3.12). Залежно від обрису поясів розрізняють наступні типи ферм: з паралельними поясами (див. рис. 3.12); трапецієподібні; трикутні; полігональні; односхилі; арочні. В даний час при прольотах до 36 м перевага надається фермам з паралельними поясами, у яких довжини всіх розкосів і стійок однакові, що забезпечує мінімум трудовитрат при виготовленні [1, 74].

Найбільш прості за конструктивною формою і виготовленням – ферми з паралельними поясами і трапецієподібні. Ці властивості і визначають їх широке

застосування в виробничих і житлових спорудах різного призначення. Не дивлячись на більш високі техніко-економічні показники, їх використовують переважно при прольотах 18...42 м, так як вони мають невелику будівельну висоту в порівнянні з фермами інших типів [75, 76].



1 – верхній пояс (ВП); 2 – нижній пояс (НП); 3 – висхідний розкіс (Д1);
4 – спадний розкіс (Д2); 5 – стійка (V)

Рисунок 3.12 – Схема кроквяної ферми

Перетини стрижнів ферм можуть складатися з парних кутових елементів або бути суцільними з таврів, круглих труб, прямокутних або квадратних гнuto-зварних профілів замкнутого перетину, одиночних кут очкових елементів.

Розрахунок розмірів поперечних перерізів більшості елементів металевих конструкцій і, отже, їх маса визначаються безпосередньо з урахуванням межі текучості і тимчасового опору розриву сталі, тому підвищення міцності конструкційної сталі є найбільш ефективним засобом зниження металоємності і вартості будівельних конструкцій [77, 78].

Розрахунок ферми складається з наступних етапів [73, 75]: а) обчислення вузлових навантажень; б) визначення розрахункових зусиль в стрижнях; в) підбір перетинів стрижнів; г) розрахунок вузлових з'єднань.

Габаритні розміри ферми обирають при компонуванні елементів каркасу. Прийнято типове рішення обрати ухил ферми за серією 1.460.2-10 – ферми з спарених кутових елементів.

Проліт ферми прийнятий $L = 36$ м, а крок ферми рівний $B = 6$ м.

На рисунку 3.12 представлена схема кроквяної ферми, по якій був проведений розрахунок перетинів конструкції з трьох сталей різної міцності: сталь 09Г2С з границею плинності 345 МПа, сталь 10Г2ФБ з границею плинності 550 МПа в стані постачання і після зміцнювальної обробки з границею плинності 670 МПа.

Обчислення вузлових навантажень представлено в таблиці 3.2. На кроквяні ферми можуть діяти вертикальні і горизонтальні навантаження. До вертикальних навантажень відносяться: постійна - від ваги покрівлі, ваги ферм зі зв'язками, ваги прогонів і ліхтарів, ваги підвісної стелі; тимчасова тривала – від нерухомого технологічного обладнання, підвішеного до ферм; тимчасова короточасна – від снігу, рухомого технологічного обладнання з вантажами. До горизонтальних належать: навантаження від вітру, яке враховується при ухилах кровель, великих 30°; навантаження, що виникає від гальмування підвісних кранів.

а) постійні навантаження;

Таблиця 3.2 – Постійні навантаження на кроквяну ферму

№ п/п	Елементи конструкцій	Вид навантаження		
		Нормативне навантаження, кПа	Коефіцієнт надійності, γ_F	Розрахункове навантаження, кПа
1.	Гравійний захист	0,4	1,3	0,52
2.	Гідроізоляц	0,2	1,3	0,26
3.	Стяжка	0,4	1,3	0,52
4.	Ж.Б плита 3х6	1,6	1,1	1,76
	Всього	$q_n=2,6$		$q=3,06$

б) снігове навантаження. Проектована будівля знаходиться в 2-му сніговому районі. Вага снігового покриву S_0 дорівнює 0,7 кПа.

Нормативну величину снігового навантаження визначають за формулою:

$$S_n = S_0 \mu \gamma_F, \quad (3.1)$$

де μ – коефіцієнт переходу схилу снігового покриву на землі до ваги снігового покриву на покритті ($\mu = 1$);

γ_F – коефіцієнт надійності до снігового навантаження – приймаємо рівним $\gamma_F = 1,4$ (з урахуванням співвідношення норм ваги покриття і снігового покриву: 1,4 при $q_n/S_o > 0,8$ і 1,6 при $q_n/S_o < 0,8$).

Розрахункове снігове навантаження:

$$S_n = 0,7 \cdot 1 \cdot 1,4 = 0,98 \text{ кПа};$$

в) визначення зосереджених навантажень від власної ваги покриття і снігу, що прикладені до верхнього поясу ферми (розрахункове вузлове навантаження):

$$P = (q + S_n) \cdot d \cdot B, \quad (3.2)$$

де q – розрахункове навантаження, кПа;

B – шаг ферм, $B=6$ м.

$$P = (3,06 + 0,98) \cdot 3 \cdot 6 = 72,72 \text{ кН}.$$

Визначення розрахункових зусиль в стрижнях. Поздовжні зусилля в стрижнях стропильних ферм визначаються методами будівельної механіки в припущенні шарнірного з'єднання стрижнів в вузлах. Для підбору перерізів визначають розрахункові зусилля в стрижнях, тобто найбільші зусилля, які можуть виникнути при різних поєднаннях постійних і тимчасових навантажень.

Підбір перерізів стрижнів. Розрахунок проводився згідно з алгоритмом, представленим в п. 2.7.

Результати розрахунків представлені в таблицях 3.3...3.6.

Таблиця 3.3 – Зусилля в стрижнях ферми і довжини елементів

Елемент	Одиничне зусилля, кН	Розрахунк. зусилля, кН	Геометрична довжина l, м	Розрахунк. довжина l _x , м	Розрахунк. довжина l _y , м
ВП	-16,79	-1220,97	3	3	3
НП	16,31	1186,06	6	6	12
Д1	-7,35	-534,49	4,214	1,69*	4,214
Д2	6,21	451,59	4,35	4,35	4,35
V	-1	-72,72	3,15	2,52**	3,15

*– 40 % от l; **– 80 % от l.

Таблиця 3.4 – Розрахунок перетинів зі сталі С345

Елемент	Розрахункове зусилля, кН	Коефіцієнт умови роботи γ_c	Перетин (ГОСТ 8509-86)	Площа перетину A, см ²
ВП	-1220,97	0,8	2L 160×12	74,8
НП	1186,06	0,95	2L 100×10	38,4
Д1	-534,49	0,9	2L 110×8	34,4
Д2	451,59	0,95	2L 63×6	14,56
V	-72,72	0,95	2L 56×5	10,82

Таблиця 3.5 – Розрахунок перетинів зі сталі С550

Елемент	Розрахункове зусилля, кН	Коефіцієнт умови роботи γ_c	Перетин (ГОСТ 8509-86)	Площа перетину A, см ²
ВП	-1220,97	0,8	2L 140×10	54,6
НП	1186,06	0,95	2L 75×8	23
Д1	-534,49	0,9	2L 110×7	30,4
Д2	451,59	0,95	2L 56×4	8,76
V	-72,72	0,95	2L 63×4	9,92

Таблиця 3.6 – Розрахунок перетинів зі сталі С670

Елемент	Розрахункове зусилля, кН	Коефіцієнт умови роботи γ_c	Перетин (ГОСТ 8509-86)	Площа перетину A , см ²
ВП	-1220,97	0,8	2 $\angle$ 140 $\times$ 9	49,4
НП	1186,06	0,95	2 $\angle$ 80 $\times$ 6	18,76
Д1	-534,49	0,9	2 $\angle$ 110 $\times$ 7	30,4
Д2	451,59	0,95	2 $\angle$ 50 $\times$ 4	7,78
V	-72,72	0,95	2 $\angle$ 63 $\times$ 4	9,92

Розрахунок вузлових з'єднань. До завдань розрахунку вузлів входить забезпечення несучої здатності з'єднань (зварних, болтових або клепаних), а для безфасонних вузлів з труб або гнуто-зварних замкнутих профілів також і несучої здатності стрижнів у місцях впливу, що передаються сусідніми елементами.

Ефективність високоміцних сталей визначається співвідношенням між економією у вазі і подорожчанням, що відбувається в результаті підвищення вартості високоміцної сталі.

Економія у вазі в загальному випадку визначається за формулою [74]:

$$\Delta_B = \frac{G_{\text{э}} - G_{\text{в}}}{G_{\text{э}}} \cdot 100\% = (1 - \alpha) 100\%, \quad (3.3)$$

де $\alpha = G_{\text{в}}/G_{\text{э}}$ – коефіцієнт зниження ваги, що дорівнює відношенню ваги конструкції з високоміцної сталі до еталона (сталі 09Г2С).

У таблицях 3.7–3.9 представлений розрахунок необхідної кількості металу, необхідного для виготовлення кроквяної конструкції з розглянутих сталей.

Таблиця 3.7 – Розрахована маса кроквяної ферми зі сталі С345

Елемент	Геометрична довжина l, м	Площа перетину A, см ²	Обсяг елемента, см ³	Маса елемента, кг	Кількість елементів n, шт.	Маса n елементів, кг
ВП	3	74,8	22440	176,154	12	2113,8
НП	6	38,4	23040	180,864	6	1085,2
Д1	4,214	34,4	14499,6	113,822	6	682,9
Д2	4,35	14,56	6333,6	49,719	6	298,3
V	3,15	10,82	3408,3	26,755	7	187,3
Всього:						4367,5

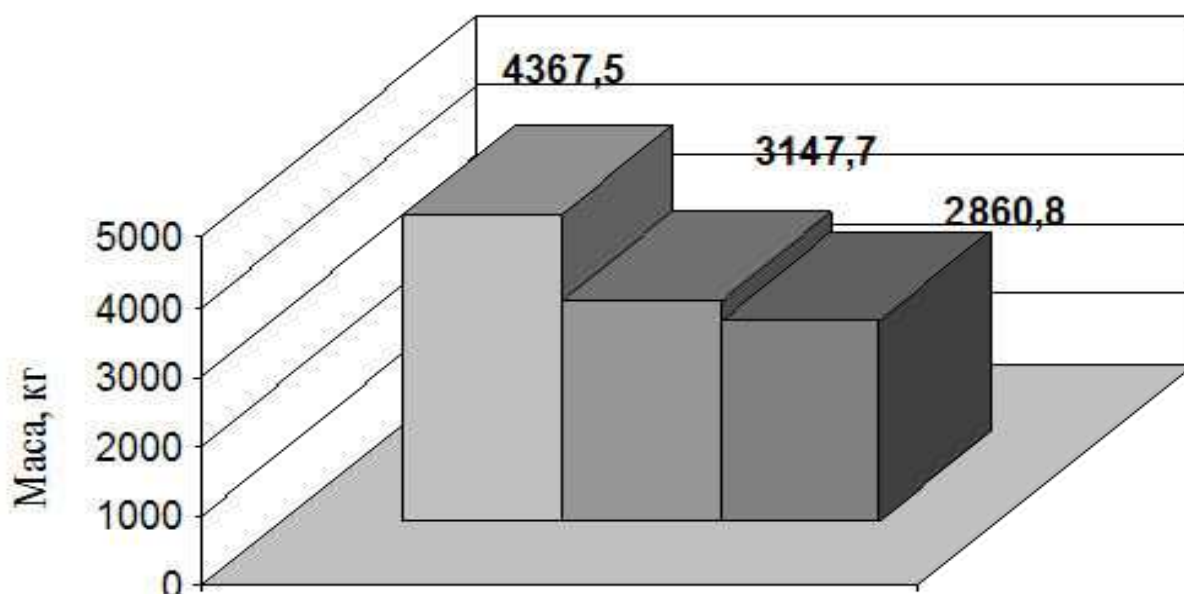
Таблиця 3.8 – Розрахована маса кроквяної ферми зі сталі С550

Елемент	Геометрична довжина l, м	Площа перетину A, см ²	Обсяг елемента, см ³	Маса елемента, кг	Кількість елементів n, шт.	Маса n елементів, кг
ВП	3	54,6	16380	128,583	12	1543
НП	6	23	13800	108,33	6	650
Д1	4,214	30,4	12813,6	100,587	6	603,5
Д2	4,35	8,76	3810,6	29,9	6	179,5
V	3,15	9,92	3124,8	24,53	7	171,7
Всього:						3147,7

На рисунку 3.13 представлена порівняльна оцінка металоємності кроквяної ферми, виконаної з трьох розглянутих сталей.

Таблиця 3.9 – Розрахована маса кроквяної ферми зі сталі С670

Елемент	Геометрична довжина l, м	Площа перетину, см^2	Обсяг елемента, см^3	Маса елемента, кг	Кількість елементів n, шт.	Маса n елементів, кг
ВП	3	49,4	14820	116,337	12	1396
НП	6	18,76	11256	88,36	6	530,2
Д1	4,214	30,4	12813,6	100,587	6	603,5
Д2	4,35	7,78	3384,3	26,567	6	159,4
V	3,15	9,92	3124,8	24,53	7	171,7
Всього:						2860,8



- Сталь 09Г2С;
- Сталь 10Г2ФБ в стані постачання;
- Сталь 10Г2ФБ після зміцнювальної обробки

Рисунок 3.13 – Оцінка металоємності кроквяної ферми

Застосування сталі 10Г2ФБ для виробництва кроквяної ферми як в зміцненому стані зі структурою голчастого фериту, так і в стані постачання з ферито-перлітною структурою, значно знижує масу даної будівельної конструкції.

3.6 Висновки

В ході виконання досліджень було встановлено:

- сталь 09Г2С в стані постачання має ферито-перлітну структуру, що забезпечує границю плинності 345 МПа. Ударна в'язкість сталі $KCV^{-40}=40$ Дж/см². Невисокі властивості міцності пов'язані з різнозернистістю структури сталі після гарячої прокатки і невисокою щільністю дислокацій;

- щільність дислокацій структури сталі 10Г2ФБ в стані після контрольованої прокатки досягає 10^9 см⁻², границя плинності – 550 МПа і ударна в'язкість $KCV^{-40} = 65$ Дж/см². Висока ударна в'язкість і міцність структури викликана подрібненням зерна фериту і утворенням дислокаційної субструктури, які є наслідком контрольованої прокатки;

- після зміцнювальної обробки в структурі сталі 10Г2ФБ формуються три морфологічних типу бейніту. Найбільший внесок в комплекс властивостей сталі вносить структура голчастого фериту (утворюється 65 %). Щільність дислокацій в металі зростає до 10^{10} см⁻². При цьому метал має наступний комплекс механічних властивостей: границя плинності становить 670 МПа, відносне подовження $\delta_5 = 21\%$, ударна в'язкість при -40°C збільшується до 74 Дж/см²;

- аналізуючи таблиці 3.7...3.9 можна зробити висновок, що при використанні сталі 10Г2ФБ з ферито-перлітною структурою ($\sigma_T = 550$ МПа), можна зменшити вагу кроквяної конструкції на 28 %. При використанні сталі 10Г2ФБ після додаткової зміцнювальної обробки, зі структурою голчастого фериту, знижується металоємність на 34,5 %.

4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МАЛОВУГЛЕЦЕВИХ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ТИПУ 10Г2ФБ В ПРОМИСЛОВОМУ І ЦИВІЛЬНОМУ БУДІВНИЦТВІ

4.1 Основи економіки металевих конструкцій

Вартість металевих конструкцій складається з таких частин [75]: вартість проектування (2...3 %), вартість металу і інших матеріалів – електроди, захисні матеріали, фарби і т.д. (40...60 %), витрати виробництва, які залежать від механічної забезпеченості заводу (20...25 %), транспортні витрати на перевезення конструкцій до місця будівництва (5...7 %), витрати на монтаж конструкцій (15...25 %).

Сталеві конструкції виготовляються на спеціалізованих заводах будівельної індустрії. Трудомісткість виготовлення сталевих конструкцій складається з обсягів виконання робіт в основних виробничих цехах і трудомісткості допоміжних і неосновних виробництв.

Трудомісткість процесів в основних виробничих цехах:

- в підготовчих цехах – виконання правки металу;
- в цехах обробки – розмітка, різання механічне і кисневе, виконання отворів, фрезерування деталей, вальцювання, правка і гнуття;
- в складально-зварювальному цеху – збірка, зварювання, клепка і фрезерування;
- в механічному цеху – механослюсарні роботи;
- в фарбувальному цеху – ґрунтування і фарбування.

Крім цього, враховують допоміжні операції в цехах основного виробництва. Неосновне, допоміжне виробництво займається виготовленням метизів, електродів, отриманням кисню, тепловим забезпеченням та ін.

Трудомісткість виготовлення металевих конструкцій визначають за формулою:

$$T_B = Ak_C \sqrt{G_0 n_0}, \quad (4.1)$$

де G_0 , n_0 – маса і кількість основних деталей конструкції;

A – емпіричний коефіцієнт технологічності даної конструктивної форми – міцність прокату, яка визначається кількісним співвідношенням між несучими (основними) і додатковими деталями;

k_C – коефіцієнт серійності.

Значення коефіцієнта A може бути визначено як відношення повної трудомісткості до трудомісткості несучих деталей конструкції.

Трудомісткість виготовлення і пов'язані з нею витрати на заробітну платню робітникам основних виробничих цехів впливають на більшу частину витрат заводської діяльності.

У собівартість виготовлення входять вартість основних і допоміжних матеріалів, а також невиробничі витрати. Вона включає: основні і допоміжні матеріали (65...70 %); заробітну платню робітникам основних виробничих цехів (6...8 %); внутрішні цехові витрати (4...6 %); невиробничі витрати (4...10 %).

Витрати на матеріали включають вартість прокатної сталі (96...98 %) і напівфабрикатів, а також вартість електродів, флюсів, вуглекислого газу для зварювання металевих виробів, малярних матеріалів.

Вартість прокатної сталі в конструкціях визначається цінами з урахуванням доплат (знижок) до них в залежності від вимог до замовленого металу. При визначенні вартості металу в конструкціях враховують заготівельно-складські витрати, витрати на доставку металу від залізничної станції на склад заводу металевих конструкцій.

Оптові ціни, що залежать від сортаменту прокату, марки сталі, визначають на 1 т теоретичної маси згідно наданої послуги. Транспортування прокатної сталі до найближчої від заводу металевих конструкцій залізничної станції входить в витрати постачальника.

Витрати на заробітну платню визначаються витраченою роботою (трудомісткістю) при виготовленні металевих конструкцій.

До цехових видатків відносять виробничі витрати на утримання, поточний ремонт і амортизацію технологічного обладнання, на додаткову заробітну плату основних виробничих працівників, на технологічні потреби (вода, паливо, пар та ін.) і загально цехові витрати на утримання чергового персоналу цеху, амортизацію цехових приміщень, охорону праці, випробування та ін.

До загальнозаводських відносять витрати на утримання персоналу заводу-управління, конструкторського бюро, на амортизацію будівель загальнозаводського призначення, організацію підготовки кадрів та ін.

Невиробничі – це витрати на завантаження і перевезення готових конструкцій до залізничної станції по колії заводу металевих конструкцій, відрахування на науково-дослідні роботи, фонди деяких видів преміальних, витрати на утримання контор комплектації.

Витрати на будівельні матеріали і заробітну платню робітників заводу-управління відносяться до категорії прямих, які стосуються тільки продукції, що виробляється. Цехові і загальнозаводські витрати стосуються специфіки даного виробництва і називаються непрямими.

Монтаж сталевих конструкцій проводять спеціалізовані організації, територіальні трести. Собівартість монтажу складається з прямих і наприкладних витрат. Велику частину витрат (понад 80 % собівартості монтажу) складають витрати на основні конструкції і деталі. До 10 % прямих витрат – це витрати на основну заробітну плату робітникам, в тому числі зайнятих на будівельно-монтажних роботах. Частина, що залишилася – витрати на експлуатацію машин і механізмів.

Накладними вважаються витрати адміністративно-управлінські, а також витрати на організацію виробництва (відрядження, утримання чергового персоналу, проектування виробництва), охорону праці монтажників та ін.

У монтажних роботах відповідальним і трудомістким є вирівнювання і закріплення конструкцій, тому скорочення термінів монтажу залежить від укрупнення конструкцій (монтажних елементів), а також від точності їх заводської готовності.

Вартість будівельних конструкцій визначається прямими витратами (вартість привезеної конструкції і її монтаж), накладними витратами і плановими накопиченнями монтажної організації:

$$C=(C_{\Pi}+C_M)K_HK_{\Pi}, \quad (4.2)$$

де C_{Π} – вартість привезеної на склад об'єкту конструкції;

C_M – вартість монтажу, яка визначається одиничною розцінкою і системою поправочних коефіцієнтів;

$K_H=1,086$, $K_{\Pi}=1,08$ – коефіцієнти накладних витрат і прибутку.

Для визначення ефективності застосування металевих конструкцій в порівнянні з конструкціями з інших матеріалів використовують показник зведених витрат. При цьому враховують не тільки вартість конструкції в цілому, але і виробничі фонди заводу металевих конструкцій і монтажних організацій, експлуатаційні витрати.

Зведені витрати (грн / т) визначають за формулою:

$$\Pi=C+E_H(\Phi_3+\Phi_M)+E, \quad (4.3)$$

де C – вартість конструкції, встановленої в проектне положення;

$E_H = 0,12$ – нормальний коефіцієнт економічної ефективності;

Φ_3 , Φ_M – питома вартість основних і оборотних фондів заводів металевих конструкцій і монтажних організацій;

E – питомі експлуатаційні витрати, які складаються з витрат на відновлення конструкцій та на капітальний та поточний ремонт конструкцій.

Економічний ефект визначається різницею зведених витрат конструктивних рішень, які порівнюються.

Основний шлях здешевлення загальної вартості металевих конструкцій полягає в зменшенні маси металу конструкцій.

Застосування ефективних сталей підвищеної міцності і прогрес-пасивного

профілів прокату забезпечує економію сталі в основних несучих елементах. При порівнянні ефективних марок сталей за основу приймають сталь марки С245, а за характеристику – коефіцієнт економії K_E . Він характеризує величину економії на 1 тону ефективної сталі з урахуванням рівня фактичного використання розрахункового опору в розтягнутих, стиснутих, гнутих елементах. Значення коефіцієнта K_E в залежності від міцності може становити в межах від 0,06 до 0,6.

Економія металу шляхом застосування економічних профілів визначається в результаті порівняння з аналогічними конструкціями, які виконані з традиційних профілів.

Коефіцієнт економії K_E для ефективних профілів змінюється від 0,04 (для широкополочних двутавров) до 0,21 (для холодногнутих).

Зменшення вартості внаслідок застосування в конструкціях ефективних марок сталей і економічних прокатних профілів визначають за формулою:

$$\Delta C = C_B(1 + K_E) - C_E, \quad (4.4)$$

де C_B – вартість конструкцій з базової марки сталі або з традиційних прокатних профілів;

C_E – вартість конструкцій з ефективного прокату.

Застосування сталей ефективних марок і економічних прокатних профілів впливає також на трудомісткість виготовлення і монтаж, так як при цьому умовно звільняється деяка кількість робочих.

Наприклад, у сфері виготовлення конструкцій на заводах металоконструкцій з розрахунку річного виробітку і з урахуванням більш складної обробки сталей підвищеної міцності під час умовного звільнення кількість робочих:

$$K_P = \Delta V / V_{\text{выр}} k, \quad (4.5)$$

де K_P – під час умовного звільнення кількість робочих при виготовленні конструкції;

ΔV – економія сталі, тонн;

$V_{\text{выр}}$ – вироблення на одного працівника, т / рік;

k – коефіцієнт, який становить від 1 до 1,25 і враховує складність обробки ефективних сталей і економічних прокатних профілів.

У сфері монтажу зменшення витрат прокату мало відбивається на трудомісткості процесу.

При середній виробці на одного працівника в рік $V_{\text{монт.}}$ умовне звільнення кількості працівників при монтажі:

$$K_{\text{монт.}} = 0,1 \Delta V / V_{\text{монт.}} \quad (4.6)$$

Економія металу за рахунок удосконалення конструктивного рішення характеризується будівельним коефіцієнтом, який відображає якість конструктивної форми і компонування за витратою матеріалу, вартості, термінів будівництва та інших техніко-економічних показників.

При цьому зменшення будівельного коефіцієнта впливає на трудомісткість і вартість більше, ніж зменшення маси. Це стосується не тільки будівельних коефіцієнтів конструктивного елементу але і всієї споруди в цілому.

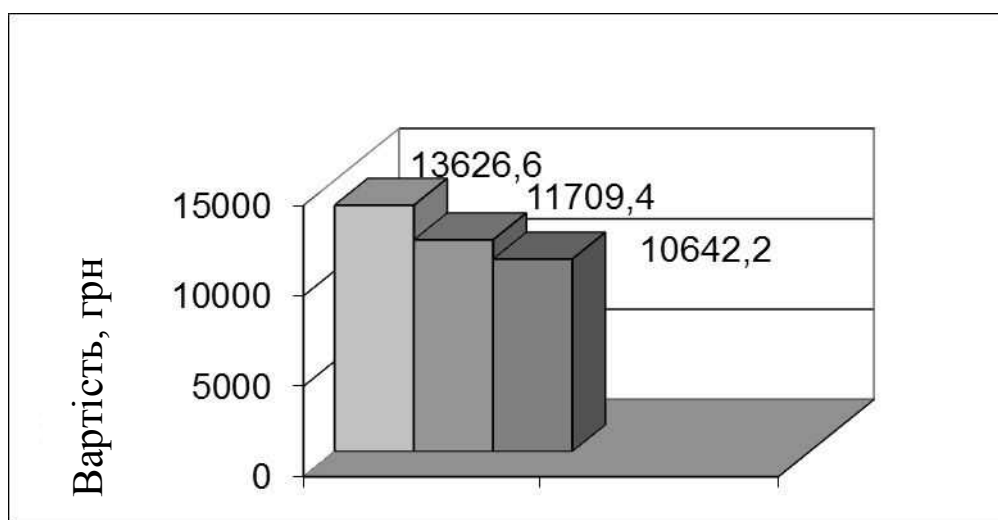
4.2 Визначення економічної ефективності застосування сталі 10Г2ФБ зі структурою голчастого фериту при виробництві металевих конструкцій

Після проведених розрахунків по підбору перерізів елементів кроквяної ферми і визначення металоємності обраної конструкції, проведена вартісна оцінка доцільності використання розглянутих марок сталей (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Економічна ефективність використання сталей для виробництва кроквяної ферми

Характеристики металевої конструкції	Сталь 09Г2С	Сталь 10Г2ФБ в стані постачання	Сталь 10Г2ФБ після зміцнювальної обробки
Витрата сталі на кроквяну ферму, т	4,3675	3,1477	2,8608
Вартість 1 т металу, грн	3120	3720	3720
Вартість металу кроквяної ферми, грн	13626,6	11709,4	10642,2
Процентне співвідношення вартостей ферми, %	100	85,9	78,1

На рисунку 4.1 представлена порівняльна оцінка необхідної кількості металу на виробництво кроквяної ферми обраних параметрів.



- Сталь 09Г2С;
- Сталь 10Г2ФБ в стані постачання;
- Сталь 10Г2ФБ після зміцнювальної обробки

Рисунок 4.1 – Економічна ефективність використання високоміцних сталей при виробництві кроквяної ферми

4.3 Висновки

Виходячи з витрати металу на виготовлення конструкції (вартість металу становить до 60 % вартості металевої конструкції) можна зробити висновок про зниження вартості готового виробу, незважаючи на більш високу вартість сталі 10Г2ФБ як в стані постачання, так і після додаткового зміцнення.

При використанні сталі 10Г2ФБ в стані постачання, з ферито-перлітною структурою, вдається знизити вартість конструкції на 14,1 % в порівнянні зі сталлю 09Г2С.

При використанні сталі 10Г2ФБ зі структурою голчастого фериту (після додаткового зміцнення), вартість знижується ще на 7,8 % в порівнянні зі сталлю 10Г2ФБ в стані постачання.

Загальне зниження вартості металевої конструкції при використанні додатково зміцненої сталі 10Г2ФБ становить 21,9 % в порівнянні зі сталлю 09Г2С.

5 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У даній роботі був проведений комплекс досліджень, спрямований на дослідження структури і властивостей маловуглецевих низьколегованих сталей як в стані постачання, так і після додаткової зміцнювальної обробки.

Хімічний склад досліджуваних марок сталей наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вміст основних легувальних елементів в досліджуваних сталях

Марка сталі	Елемент, % мас.					
	C	Mn	V	Ti	Nb	Mo
09Г2С	0,076	1,4	0,006	0,006	–	–
10Г2ФБ	0,09	1,83	0,088	0,023	0,022	0,006

Рівень експлуатаційних властивостей штрипсової сталі 10Г2ФБ перевищує рівень властивостей сталі 09Г2С, використовуваної при виробництві будівельних металевих конструкцій. Комплекс властивостей досліджуваних сталей в стані постачання наведено в таблиці 5.2.

Дослідження показали, що сталь 09Г2С має феритно-перлітну структуру, при цьому зерна фериту розділені дислокаціями на окремі субзерна. Колонії перліту мають ширину $S_0 = 1$ мкм в поперечнику. Відстань між пластинами в перліті становить 0,3 мкм, а утворені зерна доєвтектоїдного фериту мають форму багатогранників, і щільність дислокацій в них становить близько $6 \times 10^7 \text{ см}^{-2}$.

Сталь 10Г2ФБ після контрольованої прокатки також має ферито-перлітну структуру. Аналогічно до сталі 09Г2С зерна доєвтектоїдного фериту в сталі 10Г2ФБ мають форму багатогранників з помірною щільністю дислокацій, а перлітні колонії – довгі і тонкі пластини цементиту з міжпластинчастою відстанню $S_0 = 0,1$ мкм.

Таблиця 5.2 – Механічні властивості сталей у стані постачання

Марка сталі	Технологія виробництва	Границя плинності σ_T , МПа	Границя міцності σ_B , МПа	Відносне видовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість KCV^{-40} , Дж/см ²
09Г2С	Гаряча прокатка	345	500	21	66	40
10Г2ФБ	Контрольована прокатка	550	640	25	48	65

Більш високий комплекс механічних властивостей сталі 10Г2ФБ є наслідком контрольованої прокатки, тобто наслідком подрібнення зерна і створення розвиненої субструктури і текстури. Необхідно відзначити, що великий вплив на комплекс експлуатаційних характеристик надає розмір і розподіл часток карбонітридів в структурі металу.

Виділення дисперсних карбонітридних фаз в процесі контрольованої прокатки починається при охолодженні в області температур деформації аустеніту. Частинки, що виділилися з аустеніту, мають порівняно великі розміри (від 300 до 1300 Å в залежності від температури виділення) і не мають орієнтаційного зв'язку з матрицею. Ці частки не зміцнюють сталь за механізмом твердіння на відміну від дрібних частинок (10...50 Å), що виділяються в фериті при 650...550 °С. З іншого боку, ці великі виділення в аустеніті сприяють підвищенню міцнісних властивостей за рахунок подрібнення зерна.

Невисокі показники ударної в'язкості сталей 09Г2С і 10Г2ФБ в стані постачання пов'язані з наявністю в структурі металу перліту, який полегшує зародження як крихкого, так і в'язкого руйнування. Відомо, що карбідні частинки, присутні на кордонах феритних зерен, також можуть зменшувати в'язкість.

Після проведення додаткової зміцнювальної обробки сталі 10Г2ФБ підвищується комплекс експлуатаційних властивостей сталі: $\sigma_B=708$ МПа;

$\sigma_T=670$ МПа; $\delta=21$ %, $\psi=68$ %; $KCV^{40}=74$ Дж/см². Це пов'язано, в першу чергу, з утворенням в металі структур бейнітного типу, в тому числі, структури голчастого фериту.

Голчастий ферит сприятливо діє на комплекс експлуатаційних характеристик сталі, особливо на ударну в'язкість. Такий вплив голчастого фериту обумовлений морфологією даної структури. Основними морфологічними особливостями структури голчастого фериту є висока щільність дислокацій $10^{10} \dots 10^{11}$ см⁻² і майже повна відсутність карбідів всередині пакетів. Пакет складається з рейок фериту, причому кордони між рейками в пакеті є спеціальними, тобто характеризуються мінімальною енергією.

Утворені на ряду з голчастим феритом верхній і нижній бейніт також роблять значний вплив на комплекс експлуатаційних характеристик металу. Так як розмір пакету бейніту безпосередньо пов'язаний з розміром зерна вихідного аустеніту, то подрібнення останнього відіграє головну роль в отриманні підвищеної міцності і в'язкості. Особливий вплив на міцність і опір крихкому руйнуванню сталі, в більшості випадків негативний, надають кількість і розміри областей високовуглецевого мартенситу і залишкового аустеніту, що утворюються в процесі бейнітного перетворення.

При розгляді таких сталей стосовно будівельних конструкцій можна запропонувати значно зменшити металоємність за рахунок високих показників міцності сталі. При цьому знизиться і вартість конструкції, що призведе до здешевлення будівельного об'єкта в цілому.

Так, при заміні елементів кроквяної ферми, спочатку запроектованої зі сталі 09Г2С, на аналогічні елементи зі сталі 10Г2ФБ з ферито-перлітною структурою (в стані постачання) вдалося знизити металоємність на 28 %. При використанні сталі після додаткового зміцнення зі структурою голчастого фериту знижується металоємність конструкції на 34,5 %. При цьому вартість конструкції знизилася на 21,9 %.

6 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ І ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори, присутні в дослідницькій лабораторії

Небезпечні виробничі фактори – це фактори, наслідком впливу або дії яких є травма.

Шкідливі виробничі фактори – це фактори, що призводять до виникнення хвороби або отруєння.

Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори супроводжують науково-дослідні роботи, представлені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори

№ п/п	Види робіт	Небезпечні і шкідливі виробничі фактори	Характеристики небезпечних і шкідливих виробничих факторів	Законодавчі акти, що регламентують безпеку праці
1	Робота на ПЕОМ та з оргтехнікою	небезпечний вплив електричного струму	U =220V	ГОСТ 12.1.013-78*
		напруженість, монотонність		—
2	Робота з мікроскопом	неякісне освітлення	Е не менш 300лк	СНиП II-4-79
		напруженість, монотонність		—
3	Випробування зразків	загальні вимоги до техніки безпеки		ГОСТ 12.1.003-74

6.2 Розробка інженерних рішень, що обмежують вплив небезпечних виробничих факторів

6.2.1 Забезпечення електробезпеки на робочому місці

Електробезпека на ділянках робіт і робочих місцях забезпечується відповідно до вимог ГОСТ 12.1.013-78.

Основними причинами, що призводять до травматизму та пожеж, є:

- несподівана поява напруги там, де її в нормальних умовах не повинно бути (наприклад, корпус електричного обладнання), що трапляється в результаті пробою або порушення ізоляції на дротах обмоток;
- дотик людини до не ізольованих струмоведучих частин;
- попадання людини в зону короткого замикання фази на землю. При цьому на землі виникає напруга через крок людини;
- інші причини: неузгодженість і помилкові дії обслуговуваного персоналу, відсутність нагляду і т. д.

Електробезпека робіт в основному залежить від якості навчання, правильної організації робочого місця і здійснення своєчасного контролю за правильним веденням робіт.

Навчання правилам електробезпеки працюючих старше 18 років закінчується присвоєнням їм кваліфікаційних груп з техніки безпеки.

Електромонтажні роботи (приєднання і від'єднання проводів, ремонт, наладка) виконує персонал, що має кваліфікаційну групу з техніки безпеки, після зняття напруги з усіх струмоведучих частин і їх заземлення.

Під час перерв у роботі і припинення подачі струму електроприлад повинен відключатися від мережі.

6.2.2 Розрахунок обладнання захисного заземлення лабораторії

Здійснення заземлення розраховується в наступному порядку:

- вибирається тип заземлювальних пристроїв;
- розраховуються параметри заземлювальних пристроїв;
- відокремлені електроди об'єднуються в один спільний заземлювальний пристрій;
- корпусу електрозварювального обладнання з'єднуються з заземлювальним пристроєм;
- складається документ приймання заземлювального пристрою.

Вихідні дані:

- напруга живлення – 220 В;
- вертикальні електроди зі сталевих труб $d = 63$ мм і довжиною $l = 3$ м;
- відстань між трубами в ґрунтовому заземлювальному пристрої $a = 5$ м;
- сталева горизонтальна сполучна смуга шириною $b = 40$ мм;
- заглиблення лінії зв'язку $t_0 = 800$ мм;
- ґрунт в місцях влаштування захисного заземлення – лес (друга кліматична зона, $t_0 = 0,8$ м).

Заземлення спроектувати у вигляді прямокутника. Природних заземлень немає. Допустимий опір заземлювального пристрою $R_3 = 4$ Ом.

Опір одиночного вертикального електрода визначається за формулою:

$$R_b = 0,366 P/L (\lg (2 l/d)) + 0,5 \lg (4S+l/4S-l), \quad (6.1)$$

де $P = \rho_{\text{гр}} \kappa_c = 40 \times 1,8 = 72$ Ом·м;

S – відстань від землі до середини вертикального заземлення:

$$S = t_0 + 0,5 \times l = 0,8 + 0,5 \times 3 = 2,3 \text{ м};$$

$$R_b = 0,366 \times (72/3) \times (\lg (2 \times 3/0,063)) + 0,5 \lg (4 \times 2,3 + 3/4 \times 2,3 - 3) = 19,9 \text{ Ом}.$$

При $n_b = 1$ знаходимо вихідне число вертикальних труб:

$$n_1 = R_b / R_3 = 19,9/4 = 4,9 \approx 5 \text{ шт.}$$

При $n_1 = 5$, $a/l = 5/3 = 1,7$, визначаємо $\eta_{b1} = 0,8$ і уточнюємо кількість труб:

$$n_2 = R_b / R_3 \times \eta_{b1} = 19,9/4 \times 0,8 = 6,2 \approx 7 \text{ шт.}$$

Аналогічно для $n_2 = 7$ і $a/l = 1,7$ приймаємо $\eta_{b2} = 0,7$ і уточнюємо число труб:

$$n_3 = R_b / R_3 \times \eta_{b2} = 19,9/4 \times 0,7 = 7,1 \approx 8 \text{ шт.}$$

Враховуючи, що $n_3 - n_2 < 1$, то приймаємо $n = 8$ шт і $\eta_b = 0,7$.

Для заземлювача розташованого в ґрунті, опір розтікання струму визначається:

$$R_r = (0,366 P/L_r) \lg (2 \times L_r^2 / b \times t_0), \quad (6.2)$$

де $P = \rho_{гр} \kappa_c = 40 \times 4,5 = 180 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

$$L_r = 1,05 \times a \times n = 1,05 \times 5 \times 8 = 42 \text{ м};$$

$$R_r = (0,366 \times 180/42) \times \lg (2 \times 42^2 / 0,04 \times 0,8) = 7,9 \text{ Ом.}$$

При $n = 8$, $a/l = 5/3 = 1,7$ і розташуванні труб у заземлювачу по контуру приймаємо $\eta_r = 0,42$.

Визначаємо результуючий опір ґрунтового заземлювача за формулою:

$$R_{гр} = (R_b \times R_r) / (R_b \times \eta_r + n \times R_r \times \eta_b), \quad (6.3)$$

$$R_{гр} = (19,9 \times 7,9) / (19,9 \times 0,42 + 8 \times 7,9 \times 0,7) = 2,99 \text{ Ом.}$$

У зв'язку з тим, що $R_{гр} < R_3$ ($2,99 < 4 \text{ Ом}$), приймаємо кількість труб, отриманих в ході розрахунку, тобто $n = 8$, а довжину з'єднувальної смуги $L_{г}=42 \text{ м}$.

6.3 Розробка інженерних рішень, що обмежують вплив шкідливих виробничих факторів

6.3.1. Забезпечення освітленості в дослідницькій лабораторії

Габаритні розміри приміщення: $10 \times 8 \times 3,3 \text{ м}$.

Рівень робочої поверхні (РРП) на відстані $0,8 \text{ м}$ від підлоги приміщення.

Довжина люмінесцентних ламп прийнята $1,2 \text{ м}$. Світильники приймаємо встановленими в ряд. Відповідно за прийнятою схемою і габаритам приміщення в чотирьох рядах світильників буде знаходитися по шість ламп. Таким чином, всього в приміщенні 24 лампи.

Визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \times B}{h_p(A + B)}, \quad (6.4)$$

де h_p – розрахункове відстань від світильника до робочої поверхні (висота світильника прийнята $0,1 \text{ м}$): $h_p = 3,3 - 0,1 - 0,8 = 2,4 \text{ м}$;

A та B – габарити приміщення.

$$i = \frac{10 \times 8}{2,4(10 + 8)} = 1,85.$$

Визначаємо відбивні характеристики внутрішніх поверхонь приміщення:

а) стеля побілена – $\rho_{\text{пот}} = 0,7$ (70 %);

б) стіни в світлих тонах – $\rho_{\text{ст}} = 0,5$ (50 %);

в) підлога і робочі поверхні – $\rho_{\text{пол}} = 0,3$ (30 %).

Визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку за відповідними таблицями, використовуючи дані, які зазначені вище, $\eta = 0,6$ (або 60 %).

Визначаємо величину світлового потоку (Φ_p) з основної формули розрахунку:

$$\eta = \frac{E_n \times K \times S \times Z}{n_c \times n_l \times \Phi_p}, \quad (6.5)$$

де η – коефіцієнт використання світлового потоку, $\eta = 0,6$;

E_n – нормований рівень освітленості за СНиП, $E_n = 300 \text{лк}$;

K – коефіцієнт запасу, $K = 1,2$;

$S = A \times B$ – площа приміщення, $S = 80 \text{м}^2$;

Z – коригувальний коефіцієнт, $Z = 1,2$;

n_c – кількість світильників, $n_c = 24$;

n_l – кількість ламп в світильнику, $n_l = 1 \text{шт.}$

$$\Phi_p = \frac{E_n \times K \times S \times Z}{\eta \times n_c \times n_l} = \frac{300 \times 1,2 \times 80 \times 1,2}{0,6 \times 24 \times 1} = 2400 \text{Лм}.$$

Приймаємо лампу типу ЛЖБ, потужністю 40 Вт зі світловим потоком 2600 Лм, що має забезпечити приміщення необхідним освітленням.

6.3.2 Гігієнічна характеристика фізичних факторів при роботі з комп'ютерами

Робота з персональним комп'ютером (ПК) являє собою модель монотонної розумової праці, що виконується в одноманітній позі, при обмеженій м'язовій активності, підвищеній активності кистей рук, великого навантаження на зір, в умовах негативного впливу комплексу факторів, які супроводжують роботу моніторів ЕОМ, несприятливо впливають на організм людини.

Найбільш істотними з них є:

а) радіочастотні випромінювання.

Наявність поблизу екранів ПЕОМ змінних електромагнітних полів радіочастотного діапазону частотою 15 кГц - 300 МГц можуть привести до функціональних розладів організму: зміни в нервовій і серцево-судинній системах, катаракті очей, ламкість нігтів і т.п.

б) електромагнітне випромінювання і поля впливають на регулювальну функцію ЦНС, відхилення у функціональному стані організму. Характеризуються:

- частотою і енергією фотонів (діапазон випромінювань);
- щільністю потужності випромінювань, інтенсивністю випромінювання.

Механізм впливу випромінювання:

- в результаті резонансного поглинання енергії змінюються структури молекул в клітинах (квантово-біологічний ефект);
- детектування радіохвиль структурами клітин – змінюють процеси збудження в клітинах.

Теплові механізми електромагнітного випромінювання відповідальні за багато ефектів впливу мікрохвильового і радіочастотного випромінювання на біологічні системи. Відносна енергія поглинання радіочастотних полів зменшується при зниженні частоти. Напруженості В- і Н-полів, зафіксованих на низьких радіочастотах і областях дуже низьких частот навряд чи можуть

викликати будь-які ефекти (залежні від теплових механізмів).

в) електростатичні поля. Вимірювання електростатичного поля необхідно проводити з урахуванням закономірностей його вимірювання:

- зменшується на r^{-1} поблизу екрану (до 30 см);

- зменшується на r^{-3} на великих відстанях.

Значна напруженість в момент включення і відключення (від 8 до 75 кВ/м).

Для захисту необхідно використовувати нейтралізатори і зволожувачі, а поли мусять мати антистатичне покриття.

Додаткові рівні напруженості не повинні перевищувати 20 кВ протягом години (ГОСТ12.1.045-84). Згідно з даними поле між ПК і користувачем становить 3,5 кВ/м.

г) шум. У користувача, діяльність якого пов'язана з переробкою інформації, спостерігається зниження працездатності. Швидкість обробки знижується на 10...15 %; спостерігається прискорення зорового стомлення, підвищення витрати енергії на 17 %. Шум може бути фактором, що сприяє розвитку стресу.

д) параметри освітлення робочого місця. Одне з істотних джерел негативного впливу через неправильно запроектоване освітлення:

- пряма і відбита бляклість від екранів;

- вуалювання відображення;

- несприятливий розподіл яскравості в полі зору;

- невірна орієнтація робочого місця щодо світлових потоків.

Окрім адекватного подразника для ока, видиме випромінювання має і загально біологічну дію.

Ставлення яскравості фону до яскравості оточувальних поверхонь не повинно перевищувати співвідношення 3:1 (при 10 % зменшення освітлення працездатність падає на 1 %).

Комбінація 2-х носіїв інформації «екран-папір» 300...750 лк (чим менше зміна носіїв, тим вищий рівень освітленості).

Оптимальний рівень 300...500 лк. Освітлення повинне бути комбінованим (природне обов'язково з наявністю сонцезахисних засобів для зниження перепаду

між яркостями).

Відблиски на екрані монітора. Вони виникають від сторонніх джерел світла, і, як правило, ведуть до підвищеної стомлюваності зорового апарату і всього організму людини.

6.3.3 Заходи безпеки при роботі з ПЕОМ

Для усунення наведених несприятливих факторів, що негативно впливають на організм людини необхідно виконати наступні заходи:

- кожна ПЕОМ повинна бути заземлена;
- на кожному моніторі, якщо він потрібен, повинен бути встановлений комп'ютерний екран (захисний фільтр).

У приміщеннях, де розташовані комп'ютери, для захисту від статичної електрики, підлоги повинні бути покриті антистатичним лінолеумом.

Щоб виключити мерехтіння екранів слід використовувати монітори з частотою кадрів не менше 70 Гц.

Слід уникати висвітлення екранів моніторів яскравим джерелом світла.

Вибір світильників і спосіб їх розміщення залежить від висоти приміщення, розташування робочих місць і їх загальної кількості. Найбільш оптимальними є світильники з косим світлом, дзеркальні світильники з параболоциліндричним відображенням.

Застосовувати місцеве освітлення не рекомендується.

Як джерела світла рекомендується використовувати:

- люмінесцентні лампи потужністю 40 Вт або 35 Вт типу ЛБ, ЛХБ і ЛКЦ;
 - люмінесцентні 2-х лампові вертикальні з сіткою типу «ЛПО з косим світлом». Не дозволяється застосовувати люмінесцентні лампи типу ЛД і ЛДЦ.
- При будь-якому способі реалізації загального освітлення працівник не повинен бути повернутий обличчям або спиною до вікон.

Для зменшення стомлюваності обов'язковими умовами є:

- здійснення перерви з обов'язковим провітрюванням приміщення;
- для надання медичної допомоги повинна бути аптечка з необхідним набором медикаментів;
- температура повітря в робочому приміщенні повинна бути не вище 28 °С;
- наявність припливу свіжого повітря в робоче приміщення.

6.4 Протипожежна безпека дослідної лабораторії

Визначимо кордон вогнестійкості монолітної залізобетонної плити при прогріванні від вогню зворотної сторони на 140 °С.

Початкова температура $t_n = 20$ °С;

Товщина плити – 0,08 м .;

Бетон на гранітному щебені з об'ємною масою $\gamma_b = 2430$ кг/м³;

Вологість бетону до маси $P_b = 3,5$ %.

За методом Шмідта розбиваємо плиту на ряд елементарних шарів товщиною $d_y = 0,02$ м.

Для визначення наведеного коефіцієнта температуропровідності ($Q_{пр}$) бетону визначимо середні значення коефіцієнта теплопровідності ($\lambda_{t,ср.}$) і теплоємність ($C_{t,ср.}$) при $t = 450$ °С за формулами:

$$\lambda_{t,ср.} = 1,03 - 0,0003 \times t, \quad (6.6)$$

$$C_{t,ср.} = 0,17 + 0,0002 \times t; \quad (6.7)$$

$$\lambda_{t,ср.} = 1,03 - 0,0003 \times 450 = 0,895 \text{ ккал/м} \cdot \text{час} \cdot \text{град};$$

$$C_{t,ср.} = 0,17 + 0,0002 \times 450 = 0,26 \text{ ккал/кг} \cdot \text{град};$$

Обсяг бетону в сухому стані визначається за формулою:

$$Y=100 \times y_b / (100+p_b), \quad (6.8)$$

$$Y = 100 \times 2430 / (100+3,5)=2350 \text{ кг/м}^3;$$

тоді коефіцієнт температуропровідності визначимо за формулою:

$$Q_{\text{пр}} = \lambda_{\text{т.ср}} / (C_{\text{т.ср.}} + 0,01) y_c, \quad (6.9)$$

$$Q_{\text{пр}} = 0,895 / (0,26 + 0,012 \times 2350) = 0,00126 \text{ м}^2/\text{час}.$$

Визначаємо інтервал часу λ_t , через який необхідно обчислити температуру в шарах:

$$\lambda_t = \lambda \cdot y^2 / 2 \cdot O_{\text{пр}}, \quad (6.10)$$

$$\lambda_t = 0,02/2 \times 0,00126 = 0,159 \text{ ч (9,5 мин)}.$$

Визначаємо температуру поверхні ($t_y = 0, \text{ т}$), яка визначається через $dt = 9,5 \text{ хв}$ за формулою:

$$t_{y,t} = 1250 - (1250 - t_n) \times \text{erf}((\sqrt{K+y/a^{1/2}})/2 \times t^{1/2}), \quad (6.11)$$

де $t_{y,t}$ – температура, яка нагріває поверхні в $^{\circ}\text{C}$;

t – час, годин;

erf – функція помилок Гауса;

K – коефіцієнт, який залежить від об'ємної маси сухого бетону.

При $y=0$ и $K=0,62$:

$$t_{0,9,5} = 1250 - (1250 - t_n) \times \operatorname{erf} X = 1250 - (1250 - t_n) \times \operatorname{erf}(K/2 \sqrt{t}) = 1250 - (1250 - 20) \operatorname{erf}(0,62/2 \times 0,159) = 1250 - 1230 \times \operatorname{erf}(0,776);$$

$$\operatorname{Erf} = \operatorname{erf} 0,776 = 0,72753;$$

$$t_{0,9,5} = 1250 - 1230 \times 0,72753 = 355^\circ\text{C}.$$

Для $t = 0$ температура в шарах дорівнює $t_n = 20^\circ\text{C}$. Для наближення розрахункових даних до досліджуваних, необхідно температуру поверхні, яка нагрівається при $t = 0$, прийняти рівною:

$$t_{0,t=0} = (t_{0,9,5} + t_n)/2 = (355 + 20)/2 = 188^\circ\text{C}.$$

Температуру в 1, 2, 3-м шарах через проміжок часу визначають як середнє арифметичне температур в сусідніх шарах за формулою:

$$t_{n,dT} = (t_{n-1} + t_{n+1})/2, \quad (6.12)$$

$$t_{1,9,5} = (188 + 20)/2 = 140^\circ\text{C}; \quad t_{1,19} = (355 + 20)/2 = 188^\circ\text{C}.$$

На 28,5 хвилині різниця температур між не нагрітою поверхнею і навколишнім середовищем $(t'_0, t - t_n) = 0$, отже, коефіцієнт теплообміну $a = 0$.

Температуру на 38-й хвилині визначаємо за формулою:

$$t'_{0,dT} = (a \times t + \Lambda_{t,cr} / dy \times t_{dy,T}) / (a + \Lambda_{t,cr} / dy), \quad (6.13)$$

$$t'_{0,dT} = (0 \times t + 0,895/0,02 \times 41) / (0 + 0,895/0,02) = 41^\circ\text{C}.$$

Так як є різниця температур між не нагрітою поверхнею і навколишнім середовищем, то тепер температуру знаходимо при $a \neq 0$ за формулою:

$$\alpha = 5,5 + 0,045 \times t_{0,38}, \quad (6.14)$$

$$\alpha = 5,5 + 0,045 \times 41 = 7,35 \text{ К/м}^2\text{/град.}$$

Тому:

$$T_{0;47,5} = \frac{(\alpha \cdot t_n + \Pi_{t,cr.}/dy \cdot t_{3,38})}{(\alpha + \Pi_{t,cr.}/dy)} = \frac{(7,35 \times 20 + 0,895/0,02 \times 62)}{(7,35 + 0,895/0,02)} = 55 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Таким чином, нагрівання плити при прогріванні зворотної від вогню сторони до $t_n + 140^\circ\text{C} = 20 + 140 = 160^\circ\text{C}$ відбудеться через 1 годину 19 хв. Це час і є межа вогнестійкості плити за ознакою її прогрівання.

Системи пожежної сигналізації передбачені як ручні, так і автоматичні. Автоматичні системи спрацьовують від впливу проявів початкової стадії пожежі: температури, диму, випромінювання полум'я.

В одному приміщенні належить встановлювати не менше двох автоматичних пожежних оповіщувачів.

ВИСНОВКИ

Показано актуальність введення в діючу в будівництві нормативну документацію маловуглецевих низьколегованих сталей з високими характеристиками міцності і холодостійкості, які використовуються в даний час при виробництві труб і сполучних деталей магістральних нафтогазопроводів великого діаметра.

Проведені дослідження показали, що властивості штрипсових сталей типу 10Г2ФБ значно вище (σ_T на 205 МПа, σ_B на 140 МПа, δ на 4 %, KCV-40 на 25 Дж/см²) рівня експлуатаційних характеристик конструкційних сталей типу 09Г2С. Це викликано відмінностями в системах легування і технологіях виробництва. Додаткове зміцнення сталі 10Г2ФБ дозволило збільшити границю плинності на 120 МПа. Таке значне збільшення показників міцності при задовільних значеннях пластичних властивостей ($\delta = 21$ %) і ударної в'язкості (KCV-40 = 74 Дж/см²) пов'язано, в першу чергу, з утворенням в структурі металу 65 % голчастого фериту.

Розрахунок перетинів елементів кроквяної ферми показав, що застосування низьковуглецевої низьколегованої сталі 10Г2ФБ після додаткового зміцнення (утворення структури голчастого фериту) дозволило знизити металоємність конструкції на 34,5 % в порівнянні з металоємністю ферми, запроектованої зі сталі 09Г2С. Використання сталі 10Г2ФБ в стані після контрольованої прокатки дозволило знизити металоємність конструкції на 28 % в порівнянні з металоємністю ферми, запроектованої зі сталі 09Г2С.

Розрахунок економічної ефективності застосування сталі 10Г2ФБ зі структурою голчастого фериту показав, що вартість металу кроквяної ферми склала 10 642,2 грн; 11 709,4 грн – при використанні сталі 10Г2ФБ в стані постачання; 13 626,6 грн – при використанні сталі 09Г2С. Зниження вартості кроквяної ферми за рахунок використання сталі 10Г2ФБ зі структурою голчастого фериту склало 22 % в порівнянні з фермою, котра виготовлена зі сталі 09Г2С.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Жербин М.М., Владимирский В.А. Металлические конструкции. К.: Вища школа, 1986. 215 с.
2. Мельников Н.П. Металлические конструкции: современное состояние и перспективы развития. М.: Стройздат, 1983. 541 с.
3. Малинен П.А., Ягнюк Б.Н. Сопоставление строительных сталей по российским и европейским стандартам. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2002. №2. С. 33—34.
4. ГОСТ 27772-88. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические требования.
5. Одесский П.Д., Ведяков И.И., Рудченко А.В. Стали нового поколения для металлических конструкций. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2002. №2. С. 30.
6. Тишаев С.И., Одесский П.Д., Паршин В.А. Структурно-технологические способы повышения хладостойкости сталей для металлических строительных конструкций. *Сталь*. 1993. №10. С. 64—70.
7. Одесский П.Д., Хромов Д.П. Структура и механические свойства низкоуглеродистых строительных сталей, упрочненных в потоке стана. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1992. №3. С. 13—17.
8. Андраш Людвиг, Ференц Прокша Международное сопоставление стандартных марок сталей: справочник. М: Издательство стандартов, 1992. 335 с.
9. Бьючер Д.Х., Грознер Д., Эприэтто Д.Ф. Прочность и вязкость горячекатаных ферритно-перлитных сталей. *Разрушение металлов*. М.: Металлургия, 1976. С. 246—295.
10. Ксенофонтов А.Г., Синельникова М.Ю., Кожевников И.В., Крылов М.Н., Фадеев В.К. Высокотемпературное упрочнение сталей СтЗсп и 09Г2С. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1991. №7. С. 18—19.

11. Большаков В.И., Береза О.Ю., Харченко В.И. Прикладне матеріалознавство: підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів. Дніпропетровськ: Дніпро-VAL, 2000. 290 с.
12. Тишаев С.И., Одесский П.Д., Паршин В.А., Масленников В.А., Зинько Б.Ф. Структура и свойства листового проката из микролегированной стали типа 10ХСНД. *Сталь*. 1995. №7. С. 57—61.
13. Одесский П.Д., Паршин В.А., Тишаев С.И. Структура и свойства фасонного проката из микролегированной стали типа 18САНЮ для металлических конструкций. *Сталь*. 1996. №10. С. 54—59.
14. ТУ 14-16-150-99. Прокат листовой свариваемый из качественной стали классов прочности 355-590 для машиностроения.
15. Морозов Ю.Д., Чевская О.Н., Поживанов М.А., Носоченко О.В. Повышение хладостойкости стали 09Г2С. *Сталь*. 1994. №12. С. 55—59.
16. Одесский П.Д., Черненко В.Т., Киричков А.А., Пирогов В.А. Упрочнение в потоке стана стали для открытых металлических конструкций. *Сталь*. 1995. №12. С. 59—63.
17. Одесский П.Д., Ларионов В.П., Шабалов И.П., Шафигин Е.К., Кулик Д.В. Стали нового поколения повышенной и высокой прочности производства ОАО «НОСТА» (ОХМК) для сварных металлических конструкций. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2003. №10. С. 3—8.
18. Спиваков В.И., Узлов И.Г., Моисеева Л.А., Орлов Э.А., Тихонюк Л.С. Особенности формирования микроструктуры термически упрочненной низколегированной стали. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1998. №8. С. 9—11.
19. Тылкин М.А., Большаков В.И., Одесский П.Д. Структура и свойства строительной стали. М.: Металлург, 1983. 287 с.
20. Гольдштейн М.И., Емельянов А.А., Пышминцев И.Ю. Упрочнение малоуглеродистых сталей. *Сталь*. 1996. №6. С. 53—58.
21. Гольдштейн М.И., Фабер В.М. Дисперсионное упрочнение стали. М.: Металлургия, 1979. 208 с.

22. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. М.: Металлургия, 1985. 408 с.
23. Дементьев В.П., Ворожищев В.И., Козырев Н.А. и др. Технология производства листовой стали 09Г2С. *Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия*. 1999. №6. С. 20—21.
24. Большаков В.И., Фролов В.К., Рычагов В.Н. Структура и свойства термически обрабатываемых сталей для металлических конструкций. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1997. №8. С. 8—11.
25. Узлов И.Г., Савенков В.Я., Поляков С.П. Термическая обработка проката. Киев: Техника, 1981. 159 с.
26. Спиваков В.И., Орлов Э.А., Бабицкий М.С. и др. Упрочняющая термическая обработка толстых листов с прокатного нагрева. *Термическая и термомеханическая обработка стали*. М.: Металлургия, 1984. С. 55—59.
27. Лякишев Н.П., Тишаев С.И. Повышение прочности и хладостойкости конструкционных сталей – основа прогресса машиностроения и строительной индустрии. *Сталь*. 1992. №5. С.5—9.
28. Большаков В.И., Рычагов В.Н., Фролов В.К. Термическая и термомеханическая обработка строительных сталей. Днепропетровск: Січ, 1994. 232 с.
29. Стародубов К.Ф., Узлов И.Г., Савенков В.Я. и др. Термическое упрочнение проката. М.: Металлургия, 1970. 68 с.
30. Узлов И.Г. Термомеханическое упрочнение массовых видов проката – эффективный путь повышения качества металлопродукции и энергосбережения при ее производстве. *Сучасні проблеми металургії*: сб. трудов. Том 3. 2001. С. 387—392.
31. Большаков В.И. Термомеханическая обработка конструкционных сталей: 3-е издание, дополненное и переработанное. Канада: Базилиан Пресс, 1998. 316 с.
32. Тушинский Л.И. и др.. *Известия Вузов: Черная металлургия*. 1968. №8. С. 54—56.

33. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1968. Т. 1, 2. С. 1071.
34. Бернштейн М.Л. Прочность стали. М.: Металлургия, 1974. 199 с.
35. Бернштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткина Л.М. Термомеханическая обработка стали. М.: Металлургия, 1983. 480 с.
36. Бернштейн М.Л. Структура деформированных металлов. М.: Металлургия, 1977. 432 с.
37. Матросов Ю.И., Литвиненко Д.А., Голованенко С.А. Сталь для магистральных газопроводов. М.: Металлургия, 1989. 288 с.
38. Эфрон Л.И., Литвиненко Д.А. Получение высокопрочных свариваемых сталей с бейнитной структурой с применением термомеханической обработки. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1994. №10. С. 28—33.
39. Эфрон Л.И. Формирование структуры и механических свойств конструкционных сталей при термомеханической обработке в потоке прокатного стана. *Сталь*. 1995. №8. С.57—64.
40. Корчинский М. Высокотемпературная контролируемая прокатка низколегированных сталей. *Сталь*. 1990. №7. С.85—92.
41. Литвиненко Д.А., Чу В.У., Ли С.В., Чевская О.Н. Качество феррито-бейнитной стали Х70 для сварных труб мощных арктических газопроводов. *Сталь*. 1996. №7. С. 48—52.
42. Голованенко С.А., Морозов Ю.Д. Разработка сталей для магистральных газопроводов со сверхкритическими параметрами. *Сталь*. 1995. №3. С. 53—56.
43. Эфрон Л.И., Ильинский В.И., Морозов Ю.Д., Голованов А.В. Разработка и промышленное опробование трубной стали повышенной прочности и хладостойкости с преимущественно бейнитной структурой. *Сталь*. 2003. №9. С. 83—87.
44. Мельников Н.П., Зелятров В.Н. Выбор сталей для строительных металлических конструкций: пособие проектировщиков. М.: Стройиздат, 1967. 136 с.
45. Эфрон Л.И., Литвиненко Д.А. *Сталь*. 1994. №1. С. 53—58.

46. Хейстеркамп Ф., Хулка К., Матросов Ю.И., Морозов Ю.Д., Эфрон Л.И., Столяров В.И., Чевская О.Н. Ниобийсодержащие низколегированные стали. М.: СП Интермет Инжиниринг, 1999. 94 с.
47. Эмбьюри Дж.Д., Ивенсен Дж.Д., Филиповик А. Механические свойства высокопрочных низколегированных сталей: пер. с англ. *Проблемы разработки конструкционных сплавов*. М.: Металлургия, 1980. С. 54—86.
48. Курдюмов Г.В., Утевский Л.М., Энтин Р.И. Превращения в железе стали. М.: Наука, 1977. 238 с.
49. Тодоров Р.П., Христов Хр.Г. О видманштеттовых структурах углеродистых сталей. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2004. №2. С. 3—7.
50. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. М.: Металлургия, 1978. 392 с.
51. Гуляев А.П. Металловедение: учебник. М.: Металлургия, 1978. 647 с.
52. Бекетов А. В. Особенности процессов структурообразования и разработка параметров упрочнения стали 10Г2ФБ : дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.01. Днепропетровск, 2004.
53. Большаков В.И., Чайковский О.А., Воробьев Г.М., Бекетов А.В. Некоторые аспекты образования структуры игольчатого феррита. *Строительство, материаловедение, машиностроение*: сб. трудов. Днепропетровск, 2001. Вып. 12. С. 157—158.
54. Пикеринг Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей. М.: Металлургия, 1982. 182 с.
55. Большаков В.И. Новые материалы и технологии в промышленном и гражданском строительстве. К.: Вища школа, 1990. 52 с.
56. Погоржельский В.И., Литвиненко Д.А., Матросов Ю.И., Иваницкий А.В. Контролируемая прокатка. М.: Металлургия, 1979. 184 с.
57. Ткаченко И.Ф., Ткаченко К.И. Некоторые вопросы термодинамики бейнитного превращения в нелегированной стали. *Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия*. 2003. №2. С. 45—47.

58. Ohtani H., Okaguchi S., Fujitiro Y., Ohmori Y. Morphology and propitious of Low-carbon bainite. *Metallurgical transactions*. Vol. 21 A., 1990. P. 877—888.
59. Марочник сталей и сплавов: под ред. В.Г.Сорокина. М: Машиностроение, 1989. 640 с.
60. Улучшение механических свойств конструкционных сталей. *Опыт металлургов ГДР*: сб. статей: пер. с нем. М.: Металлургия, 1989. 184 с.
61. ТУ 14-1-3978-96. Прокат толстолистовой из низколегированной стали марки 09Г2ФБ для прямошовных электросварных труб магистральных газонефтепроводов.
62. Шафигин Е.К., Степашин А.М., Александров С.В. Освоение производства штрипса из природнолегированных сталей для газонефтепроводных труб с повышенным ресурсом эксплуатации. *Металлург*. 2000. №9. С. 39—42.
63. Панченко Е.В., Скаков Ю.А., Кример Б.И. Лаборатория металлографии. М.: Металлургия, 1965. 439 с.
64. Хайнденрайх Р. Основы просвечивающей электронной микроскопии: пер. с англ. М.: Мир, 1966. 470 с.
65. Хирш П., Хови А., Николсон Р., Пэшли Д., Уэлан М. Электронная микроскопия тонких кристаллов. М.: Мир, 1968. 574 с.
66. Практические методы в электронной микроскопии: справочник: под ред. О.М. Глоэра. Ленинград: Машиностроение, 1980. 376 с.
67. Эндрюс К., Дайсон Д., Киоун С. Электронограммы и их интерпретация. М.: «МИР», 1971. 256 с.
68. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. М.: Металлургия, 1973. 584 с.
69. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронномикроскопический анализ: учебное пособие. М.: Металлургия, 1970. 368 с.
70. Тейлор А. Рентгеновская металлография. М.: Металлургия, 1985. 664 с.
71. Петров Ю.Н. Дефекты и диффузионные превращения в стали. К.: Наукова думка, 1978. 262 с.

72. СНиП II-23-81*. Строительные нормы и правила. М.: Центральный институт типового проектирования, 1990. 96 с.
73. Мандриков А.П. Примеры расчета металлических конструкций. М.: Стройиздат, 1991. 431с.
74. Жербин М.М. Высокопрочные строительные стали (характеристики, область применения, расчет и проектирование). К.: Будівельник, 1974. 160 с.
75. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції. Львів: Світ, 2002. 311 с.
76. Харт Ф., Хенн В., Зонтаг Х. Атлас строительных конструкций. Многоэтажные здания. М.: Стройиздат, 1977. 351 с.
77. Конструкционные материалы: справочник: под общ. ред. Арзамасова. М: Машиностроение, 1990.
78. Кузнецов А.Ф. Строительные конструкции из сталей повышенной и высокой прочности. М.: Стройиздат, 1975. 78 с.