

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

МАТЕМАТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра прикладної фізики і наноматеріалів

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему: «Формування структурного стану жароміцної сталі 11X13H16MB в процесі деформаційно-термічної обробки»

Виконав: студент _____ 2 _____ курсу, групи _____ 8.1058
спеціальності _____ 105 прикладна фізика та наноматеріали
освітньої програми _____ прикладна фізика

Є.С. Калугін

(ініціали та прізвище)

Керівник _____ завідувач кафедри прикладної фізики і
наноматеріалів, професор, д.т.н. Міщенко В.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент _____ професор кафедри фізики Національного
університету «Запорізька політехніка»,
професор, д.т.н. Єршов А.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя – 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет математичний

Кафедра прикладної фізики і наноматеріалів

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 105 прикладна фізика та наноматеріали

(шифр і назва)

Освітня програма прикладна фізика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
прикладної фізики і
наноматеріалів,
д.т.н., професор

Міщенко В.Г.

(підпис)

« 30 » травня 2019 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Калугіну Євгенію Сергійовичу

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи Формування структурного стану жароміцної сталі 11X13H16MB в процесі деформаційно-термічної обробки

керівник роботи Міщенко Валерій Григорович, докт. техн. наук, професор

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

затверджені наказом ЗНУ від « 29 » травня 2019 року № 811 – С

2. Строк подання студентом роботи 02.12.2019

3. Вихідні дані до роботи 1. Постановка задачі.

2. Перелік літератури.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Літературний аналіз

2. Відмінності методів дослідження

3. Суть методів які використовувалися

4. Результати та їх обговорення

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

Презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____ 30.05.2019 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка плану роботи.	03.06.2019	
2.	Збір вихідних даних.	22.06.2019	
3.	Обробка методичних та теоретичних джерел.	03.09.2019	
4.	Розробка першого та другого розділу.	10.10.2019	
5.	Розробка третього розділу.	20.11.2019	
6.	Оформлення та нормоконтроль кваліфікаційної роботи.	16.12.2019	
7.	Захист кваліфікаційної роботи.	14.01.2020	

Студент _____
(підпис)

Є.С. Калугін _____
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

В.Г. Міщенко _____
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____
(підпис)

Н.І. Тихонська _____
(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра «Формування структурного стану жароміцної сталі 11X13H16MB в процесі деформаційно-термічної обробки»: 65 с., 15 рис., 4 табл., 36 джерел.

ДЮРОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ, МЕТАЛОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ, ІНДЕНТОР, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ТВЕРДІСТЬ, СТАТИЧНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ.

Об'єкт дослідження – процеси структуроутворення та формування підвищених фізико-механічних властивостей сталі 11X13H16MB при низько термомеханічній обробці та деформації.

Мета роботи – підвищення механічних та експлуатаційних властивостей, границь міцності і плинності для валів газотурбінних двигунів (ГТД), за рахунок деформаційно-термічного зміцнення.

Для вирішення такої складної науково-технічної задачі було розроблено систему багатокомпонентного легування корозійностійкої аустнітної сталі, яка сприятиме утворенню термостабільної карбідної фази і забезпечить можливість блокування границь зерен у процесі температурної дії.

Методи дослідження – аналітичний, металографічний, дюрометричний.

Проведені дослідження металографії, макротвердості за методом Роквелла, також мікротвердості за методом Віккерса.

SUMMARY

Master's Qualification Thesis "Formation of the Structural State of a High-temperature Steel 11X13H16MB in the Process of deformation-heat Treatment", 66 pages, 15 figures, 4 tables, 36 references.

DUROMETRIC ANALYSIS, METALLOGRAPHIC ANALYSIS, INDENTER, MICROHARDNESS, HARDNESS, STATIC METHODS OF DETERMINATION HARDNESS.

The object of research is the processes of structuring and formation of increased physical and mechanical properties of steel 11X13H16MB at low thermomechanical processing and deformation.

The aim of the work is to increase mechanical and operational properties, strength and yield strength for gas turbine engine (GTE) shafts.

To solve such a complex scientific and technical problem, a system of multicomponent alloying of corrosion-resistant austenitic steel was developed, which will contribute to the formation of a thermally stable carbide phase and will provide the possibility of blocking grain boundaries in the process of temperature exposure.

The method of research is analytical, metallographic, durometric.

Studies of metallography, microhardness by the Rockwell method, and also microhardness for the method of Vickers has been carried out.

ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу.....	2
Реферат.....	4
Summary.....	5
Вступ.....	8
1 Літературний огляд.....	10
1.1 Загальна характеристика і властивості нержавіючих сталей.....	10
1.2 Гаряча прокатка нержавіючих сталей	14
1.3 Холодна прокатка нержавіючих сталей.....	17
1.4 Вальцювання нержавіючих сталей.....	21
1.5 Волочіння нержавіючих сталей.....	23
1.6 Класифікація корозійностійких сталей.....	27
1.6.1 Хромисті корозійностійкі сталі.....	28
1.6.2 Хромисті сталі мартенситного класа 13% Cr.....	29
1.6.3 Хромисті ферритні сталі з 17 і 25 – 30% Cr.....	31
1.7 Висновки та постановка задачі.....	31
2 Матеріали та методи дослідження	33
2.1 Хромонікелеві корозійностійкі сталі.....	33
2.2 Холодна прокатка з відпалом.....	34
2.3 Шліфування і механічне полірування.....	37
2.3.1 Тонка шліфовка.....	38
2.3.2 Полірування.....	39
2.4 Металографічний аналіз.....	39
2.4.1 Травлення.....	39
2.4.2 Дослідження протравленої структури.....	40
2.5 ДюрOMETричний аналіз.....	44

2.5.1	Вимірювання твердості зразків.....	44
2.5.2	Види інденторів.....	47
2.5.3	Вимірювання мікротвердості зразків.....	49
3	Результати та їх обговорення.....	51
3.1	Структура дослідженої сталі.....	51
3.2	Випробування на твердість дослідженої сталі.....	55
3.3	Випробування на мікротвердість дослідженої сталі.....	58
	Висновки.....	61
	Перелік посилань.....	62

ВСТУП

На сьогодні створення технологій багатокомпонентного легування має не тільки науковий, економічний аспект, але і визначає і подальше розроблення нових сплавів, у яких одночасно були б збільшені механічні, технологічні та експлуатаційні властивості.

Основні вимоги висувають до важко енерго- та температурно навантажених валів газотурбінних двигунів, які повинні працювати в умовах підвищених робочих температур 550-600 °С. Саме для цього для виготовлення важконавантажених деталей ГТД використовують сталі 13X11H2B2MФ (ЭИ961), 11X11H2B2MФ (ЭИ962), 13X14H3B2ФР (ЭИ736) та їх закордонний аналог AISI 310.

Об'єктом кваліфікаційної роботи, є процеси, що відбуваються в сталі при її деформаційно-термічній обробці.

Предметом кваліфікаційної роботи, є високолегована хромонікелева сталь 11X13H16МБ.

Метою роботи є дослідити службові властивості дослідної сталі до та після деформації та термічній обробці.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- встановити оптимальними режим термічної обробки;
- провести металографічне та дюрOMETричне дослідження та виявити фактори які впливають на результат;
- дослідити механізм зміцнення сталі.

Актуальність теми, полягає у розробці нової марки сталі з оптимальним хімічним складом, який буде забезпечувати отримання високих механічних характеристик при роботі при високих температурах.

Сутність кваліфікаційної роботи магістра полягає в аналізі процесів обробки сталі для подальшого покращення структури, та експлуатаційних властивостей виробів з цієї сталі.

Матеріал кваліфікаційної роботи викладено у трьох частинах: літературний огляд, матеріали та методи дослідження, результати та їх обговорення.

Результатом проведеної роботи є знайдена альтернатива аустенітним хромонікелевим сталям, яка може працювати при підвищених робочих температурах та за своїми хімічними та механічними властивостями не поступається схожим за складом сталям.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальна характеристика і властивості нержавіючих сталей

Нержавіючою сталлю називають групу стійких до корозії сталей, які мають в своєму змісті не менше 10.5 % хрому. У їх складі можуть також бути присутні й інші елементи: титан, ніобій, нікель, молібден і так далі.

Поведінка в обслуговуванні і механічні властивості різних типів сталей безпосередньо залежать від складу. Тому для раціонального використання нержавіючої сталі варто правильно підібрати їх марку [1].

Характеристики, якими володіють нержавіючі сталі, визначаються як хімічним складом сплавів, так особливостями їх внутрішньої структури. Залежно від даних параметрів всі сталі, що відносяться до категорії нержавіючих, діляться на чотири групи.

У хімічному складі феритних сталей хром міститься в обсязі 20% (тому їх і називають хромисті). Завдяки значному вмісту хрому вироби з таких сталей здатні успішно протистояти впливу навіть дуже агресивних середовищ. Сталеві сплави даної групи відрізняються хорошими магнітними характеристиками. Великими споживачами феритних сталей є підприємства важкої та хімічної промисловості, з нержавіючих сплавів цього виду виробляють елементи опалювального обладнання, а також багато іншого. Сплави феритної групи займають досить велику частку ринку нержавіючих сталей і за рівнем своєї затребуваності лише трохи поступаються матеріалам з аустенітної внутрішньою структурою, але коштують значно дешевше останніх.

Аустенітні марки сталей це нержавіючі сталі, значна частка хімічного складу яких (до 33%) припадає на хром і нікель. Споживачі віддають перевагу цим металам через те, що такі матеріали відрізняються високою міцністю і винятковою стійкістю до корозії [2].

Завдяки особливостям внутрішньої структури мартенситні і ферритно-мартенситні сплави відрізняються найвищою міцністю серед сталей. Крім того, вони характеризуються хорошою зносостійкістю і мінімальною кількістю шкідливих домішок в своєму складі. Саме до цієї категорії відноситься жароміцна корозійно стійка сталь, здатна не тільки успішно протистояти окислювальним процесам, а й експлуатуватися в умовах постійного впливу високих температур, не втрачаючи при цьому своїх первинних властивостей.

Також зустрічаються комбіновні марки сталей до них відносяться сталі з внутрішньою структурою комбінованого типу: аустенитно-феритної і аустенитно-мартенситної. Такі інноваційні матеріали оптимально поєднують в собі кращі властивості всіх перерахованих вище видів нержавіючих сталей [2].

Область застосування аустенітних нержавіючих сталей дуже широка: від важкого машинобудування та електроенергетики до електроніки.

У хімічній промисловості практично всі ємності, посудини, реактори, труби та інше обладнання хімічної індустрії виготовляється з аустенітних нержавіючих сталей. Мінімум допустимої маркою є 1.4404 (AISI 316L). Часто потрібні високолеговані марки з вмістом молібдену до 6%. Вибір необхідної марки визначається звичайно завданням і вимагає кваліфікованого підходу [3].

Сьогодні нержавіюча сталь разом зі склом і деякими видами пластмас є практично єдиним матеріалом, який схвалений як сировину для виготовлення обладнання для виробництва, зберігання і транспортування харчових продуктів. Це обумовлено високими вимогами по гігієні, токсичності та ін. Гігієна має найважливіше значення в харчовій індустрії.

Вона в значній мірі визначає якість продукту на всьому шляху, через технологічний процес, до споживача. Вже зараз існують і, безумовно, будуть посилені в майбутньому суворі обмеження на розчинність важких металів, наявних в матеріалі з якого виготовлено устаткування, що знаходиться в

контакті з продуктами. Згідно з європейськими рекомендаціями кількість хрому і нікелю, розчиненого зі сталі в ході стандартного тесту по ISO 6486/1, допускається не вище 2 мг/дм² [3].

Для аустенітних сталей кількість розчинених нікелю і хрому менше ніж 0,02 мг / дм² або, іншими словами, близько 1 % від допустимого значення.

Зазвичай для виробництва устаткування харчової промисловості використовуються марки нержавіючої сталі 1.4301 (AISI 304) і 1.4401 (AISI 316); в дуже рідкісних випадках можуть знадобитися високолеговані марки. Важливим фактором є хороша і гладка (без зламів, нерівностей і подряпин) поверхня металу. Стандартний вид обробки є достатнім, проте іноді необхідно полірування (електролітична). Шорсткість (Ra) поверхні зазвичай не перевищує 0,6 мкм.

У целюлозно-паперовій промисловості практично все обладнання целюлозних заводів і велика частина виробництва паперу виготовляються з нержавіючих сталей. Мінімально допустимої маркою є 1.4401 (AISI 316), але вже на сучасних підприємствах з циркуляцією рідин і замкнутим оборотнім циклом ця марка неефективна і повинні використовуватися сталі з мінімальним вмістом молібдену 3-6%. Вибір марки сталі є роботою для фахівців.

На кожен сучасний великий завод витрачає близько 3000-5000 тонн нержавіючої сталі, причому більша її частина припадає на труби. У цій області по всьому світу в найближчому майбутньому очікуються значні інвестиції [3].

Сьогодні велика частина енергії у світі виробляється шляхом спалювання корисних копалин (вугілля, нафта або газ) або в атомних електростанціях. В обох випадках використання (в морі або на суші) і до отримання електричної енергії - всюди нержавіюча сталь. Також і в атомній енергетиці. У цій області завжди застосовуються спеціальні, високолеговані сталі, так, як вимоги до матеріалів, використовуваних тут, гранично високі.

У області захисту навколишнього середовища ще багато належить зробити, оскільки реальною робота по захисту навколишнього середовища тільки починається. Сучасне суспільство остаточно зрозуміло важливість даної проблеми і намагається законодавчим шляхом (а в ряді випадків і добровільно) вжити заходів що до зменшення шкідливого впливу на природу. Давно діючі заводи, цехи, електростанції закриваються або модернізуються шляхом спорудження замкнутих оборотних схем для рідин та очищення газу. Вловлюваний пил очищається або пускається в переробку. Нові заводи будуються з урахуванням задоволення високих вимог з точки зору охорони навколишнього середовища. Охорона навколишнього середовища є величезною областю діяльності і значні інвестиції вкладаються в нержавіючу сталь. Використовується широкий діапазон марок: від звичайної 1.4301 (AISI 304) до високолегованих спеціальних сталей [3].

За останні роки різко зросла необхідність в транспортуванні товарів, різних матеріалів і рідин. Одночасно постало завдання зменшити вартість і підвищити безпеку перевезень (багато матеріалів і рідини надзвичайно небезпечні). Вирішенням цієї проблеми є спеціальні транспортувальні контейнери та ємності. З метою зниження вартості створені так звані багатоцільові ємності-контейнери з нержавіючої сталі, в якому можна перевозити в одному рейсі, наприклад, молоко, а в наступному - скипидар. Їх тільки необхідно в проміжках між рейсами промити і продезінфікувати. Через таку функціональність для їх виготовлення застосовуються високолеговані марки сталей, звичайно 1.4401 (AISI 316) або навіть кращі. Транспортне машинобудування є величезним ринком для нержавіючих сталей [3].

В автомобільній промисловості найбільше нержавіюча сталь використовується для виробництва вихлопних труб і каталізаторів, на виготовлення яких йдуть ферритні або аустенітні марки. За рік виробляються мільйони автомобілів і на кожен витрачається 10-20 кг нержавіючої сталі у вигляді зазначених деталей.

У домашньому господарстві завжди можна зустріти нержавіючу сталь. Це ідеальний матеріал для виготовлення ложок, виделок, сковорід, каструль та іншої кухонного начиння. Внутрішні частини високоякісних посудомийних і пральних машин виготовляються з нержавіючої сталі, також як і висококласні м'ясорубки. Нержавіюча сталь матеріал, пов'язаний з поняттям високого рівня життя. Італія, Німеччина і Франція є найбільш відомими країнами виробниками високоякісної побутової техніки [3].

Нержавіюча сталь пропонує багато цікавих можливостей для архітекторів і дизайнерів. Вона добре комбінується зі склом, каменем, деревом та іншими матеріалами. Іншими словами, може бути прекрасно пристосована для оздоблення фасадів та інтер'єрів громадських будівель. Як покрівельний матеріал вона також чудова. Вуличні меблі, зроблені з нержавіючої сталі, красиво виглядає і практично не зношується [3].

Нержавіюча сталь була винайдена близько 80-ти років тому. За ці роки вона зайняла одне з лідируючих місць серед найбільш важливих матеріалів у світі. Зростання споживання нержавіючої сталі протягом останніх десятиліть складає 4-6% в рік. З огляду на те, що в нашому полі зору не видно матеріалу, який міг би, навіть частково, замінити нержавіючу сталь, у нас є всі підстави сподіватися, що вона збереже і навіть зміцнить свої позиції [3].

1.2 Гаряча прокатка нержавіючих сталей

Хромонікелеві корозійно-стійкі сталі володіють деякими особливостями, які в тій чи іншій формі позначаються на технологічному процесі їх виготовлення.

Хромонікелева корозійно-стійка сталь має знижену теплопровідність, приблизно в 3-3,5 рази меншу, ніж у вуглецевої сталі. Знижена теплопровідність обумовлює необхідність більшої тривалості нагріву цієї сталі перед прокаткою, сталь мало чутлива до теплових напруг, що

виникають при нагріванні, в зв'язку з чим в ній не утворюється тріщин навіть при високих швидкостях нагріву [4].

Сталь 07X18H9T має підвищений опір деформації, яке зростає в міру збільшення вмісту хрому і нікелю. Опір деформації аустенитної корозійностійкої сталі приблизно в 1,5-2,0 рази більше, ніж опір деформації вуглецевої сталі в порівнянних умовах. Зі зниженням температури прокатки відносна різниця між опором деформації аустенитної корозійностійкої і вуглецевої сталі помітно зростає. Це пояснюється тим, що перша схильна до зміцнення, починаючи з досить високих температур, тому що процес рекристалізації при цих температурах відбувається з малою швидкістю.

Аустенітна сталь характеризується великим розширенням, яке в 1,2-1,5 рази більше розширення вуглецевої сталі в порівнянних умовах. Ця обставина має особливе значення при прокатці сортових профілів [4].

Залежно від вмісту хрому, нікелю та інших елементів в основній масі аустеніту хромонікелевих корозійностійких марок сталі виявляється феритної фаза. Двофазна структура певною мірою позначається на пластичних властивостях стали. Досвід показав, що двухфазна структура сталі марок 07X18H9T, X23H23 і X23H18 порівняно мало позначається на їх пластичних властивостях в умовах прокатки сортових профілів, але дуже сильно знижує пластичні властивості сталі в умовах виробництва труб на прошивних станах, де умови деформації більш жорсткі.

Пластичність корозійностійкої сталі в дуже сильному ступені залежить від якості злитків. Практика показує, що сталь однієї і тієї ж марки, зокрема, має найбільше поширення сталь 1X18H9T, володіє різними пластичними властивостями в залежності від якості злитків (способу їх виплавки і розкислення, частоти застосовуваних шихтових матеріалів і т. п.). Пластичність сталі підвищується зі збільшенням температури нагріву. Так, нагрів сталі 07X18H9T можна вести до 1230 ° С. Для прокатки сортових профілів прийнято нагрівати злитки стали 07X18H9T до 1210-1220 ° С.

Прокатку злитків великої маси виробляють на блюмінгах і слябінгах. Великі злитки садять в нагрівальні колодязі в гарячому вигляді. Число пропусків, в порівнянні з деформацією звичайної сталі, збільшують на 30-50%, що пояснюється, головним чином, великим опором деформації цієї сталі [4].

Сляби з корозійностійкої сталі піддають ретельному чищенні з усіх чотирьох сторін. Залишати дефекти на бічних краях неприпустимо, так як при прокатці це веде до утворення рваної кромки на смузі. Успішна прокатка такої сталі можлива при дотриманні потрібного температурного інтервалу. При прокатці при порівняно низьких температурах, як уже вказувалося, помітно збільшується опір деформації корозійностійкої сталі. Це сильно ускладнює процес деформації і призводить до отримання значного числа недокатів. Температура кінця прокатки повинна бути близько 950-1000° С. Щоб забезпечити таку високу температуру, сляби нагрівають 1240-1260 °С і домагаються їх рівномірного прогріву.

Для збереження тепла смуги доцільно вести прокатку з великими обтисканнями, менш інтенсивно охолоджувати валки, застосовувати великі швидкості прокатки [4].

При безперервній прокатці корозійностійкої сталі дуже істотний вплив на хід процесу надає стан переднього кінця смуги, який має схильність загинатися догори тим більше, чим нижче температура прокатки. Загинання переднього кінця ускладнює деформацію, призводить до великої кількості недокатів, а в деяких випадках навіть до кайданів валків. Тому повинні бути створені умови, при яких загинання переднього кінця смуги було б незначним.

До поверхні листів з нержавіючої сталі пред'являються особливо високі вимоги, тому на всіх етапах технологічного процесу необхідно дотримуватися певних умов, що забезпечують отримання потрібної поверхні.

Гарячекатані рулони або листи піддають травленню, після чого їх направляють на холодну прокатку. Холодну прокатку виробляють на одноклітинних чотирьохвалкових або трьохклітинних безперервних станах [4].

1.3 Холодна прокатка нержавіючих сталей

Холоднокатана нержавіюча сталь має високі антикорозійні властивості. У вигляді дзеркального або полірованого листа вона широко використовується при виготовленні різної продукції, в якій товарний вигляд має велике значення. Розрізняють два види нержавіючого листа: антикорозійний, який чинить опір корозії в різних агресивних середовищах, і жаростійкий, призначений для роботи при температурах понад 550 ° С. Найбільш поширені нержавіючі сталі, містять близько 18% Сг і приблизно 9% Ні. Це аустенітні сталі 12Х18Н9Т, 08Х20Н10Т2 і ін. Холоднокатаний лист виробляють також з нержавіючих сталей мартенситного (20Х13, 30Х13, 0Х13, 09Х16Н4Б і ін.), Мартенситно-феритного (13Х13, 15Х12ВНМФ і ін.), Феритного (08Х13, 15Х28, 08Х17Г і ін.), аустенітно-мартенситного (09Х15Н8Ю, 20Х13Н4Г9 і ін.) і аустенітно-феритного класу (08Х22Н6Т, 12Х21Н5Т і ін.) [5].

Нержавіючі сталі швидко зміцнюється при прокатці, тому при деформації 55-60% вимагають відпалу для зняття наклепу. Прокатка листа в холодному стані проводиться, як правило, на одноклітьових станах, значно рідше - на безперервних станах, так як обсяги виробництва такої сталі малі. Для прокатки тонкого листа 0,20-0,05 мм переважні 20- валкові стани, на яких сумарне обтиснення без відпалу збільшується до 70-85%.

Всі технологічні операції при холодній прокатці - травлення, прокатка, термічна обробка і пресування - виконуються на тих же агрегатах, що і для вуглецевих сталей, але по іншим режимам і з меншими обсягами

виробництва. При прокатці нержавіючого листа найбільше важить технологічне мастило, для листів вище 0,5 мм застосовують емульсії, а для більш тонких листів - рослинні і тваринні жири [5].

Холодну прокатку застосовують для отримання нержавіючих смуг товщиною менш 0,8-1 мм, а також смуг більшої товщини в тих випадках, коли необхідно отримати тонколистовий прокат з підвищеною точністю і високоякісною поверхнею, з підвищеними механічними властивостями (твердістю, межею міцності і межею плинності), з особливими технологічними і фізичними властивостями (наприклад, високою штампованістю, магнітною проникністю і т. п.) [6].

Холодна прокатка забезпечує отримання смуг, нержавіючих листів та стрічок товщиною від кількох мікрон до 4 мм і більше.

Технологічний процес виробництва холоднокатаної сталі значно складніше, ніж технологічний процес виробництва гарячекатаної сталі, включає велику кількість переділів, вимагає застосування різноманітного і більш складного обладнання і пов'язаний з великими енергетичними затратами. Капіталовкладення при виробництві холоднокатаної тонколистової нержавіючої сталі приблизно на 20-25% більше, а експлуатаційні витрати в середньому на 10% вище, ніж при виробництві гарячекатаної тонколистової сталі. Однак, незважаючи на це, виробництво холоднокатаного листового прокату з року в рік збільшується і продовжує рости [6].

У розвинених індустріальних країнах до 50-60% обсягу виробництва тонколистової нержавіючої сталі випускається у вигляді холоднокатаних листів, смуг і нержавіючих стрічок. Основними споживачами холоднокатаної тонколистової сталі є автомобільна, електротехнічна, консервна промисловість, будівництво і підприємства, що випускають предмети домашнього вжитку (холодильники, пральні машини, пылесоси та ін.)

Виробництво холоднокатаного прокату здійснюється рулонним і полістним способом. При рулонному способі виробництва всі технологічні операції здійснюються в рулонах, при полістном - в листах.

Рулонна (полосова) прокатка - найбільш сучасний спосіб виробництва холоднокатаної сталі, що забезпечує високу продуктивність обладнання, гарна якість поверхні, задовільну міцність прокочуються смуг, менший видатковий коефіцієнт металу і низьку собівартість продукції [6].

При рулонному способі є найбільш сприятливі умови для механізації і автоматизації технологічного процесу.

Рулонним способом виробляється понад 95% холоднокатаної продукції. В якості вихідних заготовок при виробництві смугового холоднокатаного прокату застосовують гарячекатану смугову сталь товщиною 1,5-6,0 мм в рулонах масою до 50-60 т. Рулонна (полосова) прокатка здійснюється на безперервних і реверсивних смугових станах.

Полістний спосіб виробництва холоднокатаної сталі характеризується низькою продуктивністю, великою витратним коефіцієнтом металу, обмеженою можливістю механізації і автоматизації технологічного процесу, меншою точністю прокочування листів, збільшеним відбракуванням внаслідок пошкодження поверхні листів і високою собівартістю продукції. [6]

Залежно від характеру продукції, що випускається цехи холодної прокати можуть бути призначені для виробництва:

- автомобільних та конструкційних листів і смуг з вуглецевих і низьколегованих сталей;
- жерсті;
- конструкційних листів і смуг з електротехнічних сталей;
- листів і смуг зі спеціальних (нержавіючих, жароміцних і ін.) сталей;
- листів і смуг широкого сортаменту з вуглецевих (жесть, автомобільні листи), електротехнічних і спеціальних сталей [6].

Розрізняються режими остаточної термічної обробки листа і обробки його поверхні. Це обумовлено підвищеними вимогами до зовнішнього вигляду нержавіючого листа. Сталі аустенітного і аустенітно-мартенситного класу поставляються в загартованому стані, тому-що при загартуванні фіксується стан однорідного твердого розчину - аустеніту. Для таких сталей застосовують заключні операції: нагрів до стану аустеніту, витримка для розчинення в аустеніті різних складових, гарт в воду (для стабілізації аустеніту), травлення з метою видалення окалини, дресирування, різка на АПР або АКР. У деяких випадках листи нержавіючої сталі піддаються виправленню на правильно-розтяжних машинах. Іноді лист повинен мати більш рівномірні властивості, відсутність шорсткості і підвищену штампованість, що досягається після дресирування на окремому дресирувальному стані з дуже малими обтисканнями (1-2%), необхідними для надання площинності і дзеркальності [5].

Сталі ферритного класу мають меншу пластичністю, ніж аустенітні. При температурі відпалу 850-900 ° С вони схильні до швидкого зростання зерна і міжкристалітної корозії, тому їх відпалюють при температурі 740-780 ° С, при якій виходить ферритно-карбідна структура, що володіє високою пластичністю і високими антикорозійними властивостями.

Частина нержавіючого листа після холодної прокатки в рулонах піддається поліровці до 12-13 класу чистоти поверхні за допомогою полірувальної пасти на відповідних верстатах. Як правило, поліровані листи розрізають на стрічки або картки за звичайною технологією. Полірований лист йде в меблеву промисловість, на виготовлення дзеркал, приладів і побутової техніки, забезпечуючи високі антикорозійні властивості і відмінний товарний вигляд [5].

1.4 Вальцювання нержавіючих сталей

Вальцювання, як називають цю технологічну операцію, має на увазі пластичну деформацію металевих заготовок для формування з них виробів необхідної конфігурації. При цьому може виконуватися як вальцювання труб (для зміни форми їх поперечного перерізу), так і обробка листового металу, в процесі якої створюються вироби циліндричної, конічної і овальної конфігурації [7].

Процес вальцювання листового металу являє собою спосіб деформації, який виробляють непрофільованим обертовим інструментом. Це операція холодного штампування, при якій метал знаходить форму конуса. Після обробки таким способом структура заготовки стає щільніше, поліпшуються її основні властивості.

Деформацію металу застосовують у багатьох випадках і для різних матеріалів. Наприклад, вальцювання є підготовчим етапом для штампування готового виробу. Ця ж технологія використовується для первинної переробки заготовок [8].

Такий процедурі може піддаватися не тільки листовий метал, але і труби, прутки і інші профілі, вироби з гумових сумішей і пластмас. Важливо, щоб матеріал був в необхідній мірі пластичним.

Вальцювання металу часто застосовують для ущільнення, здавлювання та плющення заготовок, для додання їм рівномірного тиску і товщини. Процес може протікати і в холодному стані, і в нагрітому. Можливо нагрівання валків і зміна швидкості проходження заготовки [8].

Вальцювання листового металу - операція деформування листового металу. Вальцювання - процес згинання металу на вальцях з великими радіусами заокруглення згину. При прокатці металу між валками відбувається рівномірна деформація металу на певний кут, внаслідок чого лист металу набуває форму рівномірно згорнутого циліндра. Будь-які вальці мають межу на товщину металу і на мінімальний радіус вальцювання. Чим

товще метал, тим менший радіус придбає лист на виході і тим більше повинні бути радіуси валків встановлених на вальцях, але збільшення радіусу валків призведе до зменшення мінімального радіуса згину під час вальцювання тонко-листових металів. Процес вальцювання виконується на спеціальних верстатах (листоозгинальних вальцях) [9].

Технологічний процес деформації металу даними способом складається з декількох етапів:

- приготування устаткування – вальців;
- прокатка бруска або листа;
- проміжний відпал;
- обробка задирів і тріщин;
- завершальний відпал і прокатка.

Відсутність задирів і тріщин - одна з головних умов якісного вальцювання. Такі дефекти можуть з'явитися в разі надмірно сильного обтиску валками бруска або від нерівномірного напруги і відпалу. Виявляють дефекти і усувають їх на четвертого етапі роботи після проміжного відпалу. Якщо цього не зробити і продовжити прокатку, то тріщини будуть збільшуватися.

Усувають недолік затиранням тріщин надфілем і відпилюванням, відкусуванням задирів. Потім, щоб зняти з металу напругу, заготівлю відпалюють і продовжують прокатку металу. Утворені поглиблення вирівнюються.

Принципова особливість вальцювання листового металу полягає в тому, що процес деформування відбувається по всій контактній поверхні. Це трохи знижує продуктивність, але підвищує стійкість прокатних робочих валиків. До переваг вальцювання металу можна віднести:

- зниження експлуатаційних витрат на оснащення та обладнання;
- збільшення експлуатаційного терміну інструментів і верстатів;

- ефективне використання в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва;
- зниження втрат від браку;
- низьку вартість вальцювальної машини в порівнянні з гідравлічним або механічним пресом. Витрати на її придбання окупаються протягом півроку активного використання.

Процес листового вальцювання характеризується наступними особливостями:

- деформування проводиться обертовим моментом, а не силою. Значення крутного моменту залежить від умов контактної тертя, діаметра робочих валків і фізико-математичних характеристик матеріалу;
- при виконанні операції швидкість вальцювання не впливає на енергетичні витрати, навпаки, при збільшенні показника робоче зусилля процесу знижується;
- тертя між валками безпосередньо залежить від поверхні. Зниження шорсткості призводить до зниження тертя. Тому при постійній експлуатації вальцювальних машин необхідно періодично шліфувати поверхню оснастки.

При вальцюванні сталевих виробів до 6 мм завдовжки вихідний метал обробляється в холодному стані. Якщо працюють з деталями з товстолистового матеріалу, застосовують попередній підігрів. Вальцювальну машину в таких випадках встановлюють біля печей з безокисної нагрівальної системою. Завдяки цьому процес утворення поверхневої окалини знижується [8].

1.5 Волочіння нержавіючих сталей

Суть технології, по якій виконують волочіння дроту, полягає в тому, що заготовку простягають через отвір - фільтру. Сам інструмент, в якому

такий отвір виконано, називається волокою, його встановлюють на спеціальне обладнання для волочіння дроту. На те, якими діаметром, перетином і формою буде володіти готовий виріб, впливають параметри фільєри.

Виконання волочіння, якщо порівнювати таку технологічну операцію з прокаткою, дозволяє отримувати вироби, що відрізняються більш високою чистотою поверхні і винятковою точністю геометричних параметрів. Такими виробами можуть бути не тільки різні типи дроту (електротехнічна, використовувана для зварювання), але також фасонні профілі, труби та прутки різного діаметру. Отримані за такою технологією вироби відрізняються і кращими механічними характеристиками, так як в процесі волочіння металу з його поверхневого шару знімається напруження. Що стосується саме виробництва дроту, то методом волочіння можна отримати вироби, діаметр яких знаходиться в інтервалі від 1-2 мікрон до 10 і навіть більше міліметрів [9].

Виготовлення дроту за технологією волочіння включає в себе кілька етапів:

- вихідна заготівля піддається процедурі травлення, для чого використовується сірчаноокислий розчин, нагрітий до 50 градусів. З поверхні металу, що пройшов таку процедуру, легко знімається окалина, за рахунок чого збільшується термін служби матриць волочильних верстатів;
- щоб збільшити пластичність оброблюваної заготовки, а її внутрішню структуру довести до дрібнозернистого стану, виконують попередній відпал металу;
- залишки травильного розчину, який є досить агресивним, нейтралізують, після чого заготовку піддають промивці;
- щоб кінець заготовки можна було пропустити в фільєру, його загострюють, для чого може бути використаний молот або кування валки;

- після завершення всіх підготовчих операцій заготовка пропускається через фільтри для волочіння дроту, де і формуються профіль і розміри готового виробу;

- виробництво дроту завершується виконанням відпалу. Після волочіння виріб також піддають ряду додаткових технологічних операцій - різання на відрізки необхідної довжини, зняття решт, виправлення та інше.

Будь який волочильник дроту знає такий недолік волочіння, як недостатньо високий ступінь деформування готового виробу. Пояснюється це тим, що воно, виходячи із зони обробки волочильного верстата, деформується тільки до ступеня, обмеженою міцністю кінця заготовки, до якого і прикладається відповідне зусилля в процесі обробки [10].

В якості вихідного матеріалу, який піддають обробці на волочильних верстатах, служать металеві заготовки, отримані методом безперервного лиття, пресуванням і катанням з вуглецевих і легованих сталей, а також кольорових сплавів. Найбільшу складність процес волочіння являє в тому випадку, якщо обробці піддається сталевий сплав. У таких випадках для якісного волочіння необхідно довести мікроструктуру металу до потрібного стану. Щоб отримати оптимальну внутрішню структуру сталі, раніше використовували таку технологічну операцію, як патентування. Полягав цей спосіб обробки в тому, що сталь спочатку нагрівали до температури аустенізації, а потім витримували в свинцевому або соляному розплаві, нагрітому до температури близько 500 ° [10].

Всі волочильні технологічні операції проводяться на спеціальних станах, обладнаних волокою - "оком", через який тягнуть дріт. Діаметр останньої завжди більше діаметра волоки. Залежно від конструкції тягне механізму цікавлять нас стани ділять на два види:

- агрегати, в яких метал намотується на барабан;
- машини з рухом металу по прямій лінії.

Найпростіший одноразовий верстат для волочіння дроту передбачає виконання технологічної операції за один прохід. А ось багаторазові стани використовують 2-3 проходи, саме ж волочіння в них здійснюється за безперервною схемою. Калібрувальні цеху сучасних великих підприємств, як правило, мають півтора-два десятка агрегатів і станів різної потужності для виготовлення мідної та іншої дротяної продукції [11].

Фільери для волочіння дроту описуваних станів зазвичай виготовляють з металокерамічної технології з карбідів бору, термодорунда, молібдену, титану, мікролітів, танталу, ванадію, вольфраму. Ці сплави характеризуються чудовою стійкістю до стирання і підвищеною твердістю, а, крім того, ще й малою в'язкістю.

Висока надійність волоки забезпечується і тим, що її укладають в дуже міцну і в'язку сталеву обойму, що не стискає фільеру, а також знижує в момент виконання операції волочіння напруження розтягу. Варто окремо сказати про те, що в тих випадках, коли виготовляється дуже тонка катанка зі сталі (до 0,2 міліметрів), волоки роблять з технічних алмазів.

Останнім часом відзначається тенденція використання волок збірної конструкції. Вони дають можливість виготовляти дріт в умовах високого тертя (гідродинамічного). Причому збірна волока гарантує зменшення витрат електричної енергії на виконання технологічних операції, збільшуючи при цьому продуктивність станів для волочіння на 20-30 відсотків [11].

Чим краще буде підготовлена поверхню заготовки до волочіння, тим ефективніше і якісніше буде проходити процес. На даний момент окалину видаляють з металу наступними методами:

- хімічним;
- механічним;
- електрохімічним.

Найчастіше для заготовок з вуглецевої сталі застосовується методика механічного очищення. Вона доцільна з економічної точки зору. Виконується

така процедура досить просто. Спочатку дріт між роликками спецконструкції перегинають періодично в різних площинах. А потім очищають метал щітками зі сталі.

Більш витратними є хімічні варіанти видалення окалини. Вони вимагають використання соляної або сірчаної кислоти. Крім того, робота з даними сполуками пов'язана з підвищеною небезпекою для фахівців. Тому підприємства намагаються застосовувати такий процес лише в разі потреби, допускаючи до виконання операцій людей, які пройшли спеціальне навчання (спеціальна література, іспити з техніки безпеки і т. д.). Хімічне видалення окалини незамінне тоді, коли в якості сировини для дрота використовуються нержавіючі і кислотостійкі високолеговані марки сталі [11].

Електрохімічне очищення - це травлення електролітичного типу. Воно буває катодним і анодним, причому другий спосіб визнається більш ефективним і безпечним. При ньому анодом виступає очищена заготовка, а катодом є мідь, залізо або свинець. Катодне травлення більш небезпечне, так як при ньому фіксується активне виділення водню і погано контрольований відрив окалини, що призводить до формування так званої "травильної крихкості".

Після видалення окалини з використанням хімічних реагентів заготовку слід ретельно промити. Це дозволяє позбутися від солей заліза, бруду, шлаків, залишків травильних елементів і розчину кислоти. Якщо промивання не буде здійснене відразу після хімічної обробки поверхні, всі зазначені компоненти засохнуть. Промивання робиться спочатку в гарячій воді, а потім під тиском близько 700 Па в холодній воді [11].

1.6 Класифікація корозійностійких сталей

Ці сталі мають високу стійкість проти газової та електрохімічної корозії. Для забезпечення високого опору корозії сталь повинна мати

однофазну структуру, так як при змісті кількох фаз, в першу чергу буде розчинятися фаза з меншим електрохімічним потенціалом. Основним легувальним елементом корозійностійких сталей є хром, кількість якого має бути не менше 13%. При введенні в сталь 12-14% Cr її електрохімічний потенціал стає позитивним, і вона набуває стійкість проти корозії в атмосфері, воді, ряді слабких розчинів кислот, солей і луг. Сталь має високу корозійну стійкість тільки тоді, коли весь хром знаходиться в твердому розчині. У цьому випадку утворює на поверхні щільну захисну оксидну плівку (Cr, Fe). Розрізняють хромисті і хромонікелеві корозійностійкі сталі [12].

1.6.1 Хромисті корозійностійкі сталі

Хромисті корозійностійкі сталі є найдешевшими і тому найпоширенішими. При утриманні Cr більше 13% стабілізується α -фаза (ферит) і ніяких поліморфних перетворень в сталях не відбувається. Нагрівання викликає тільки збільшення зерна. Тривала витримка при температурі близько 600-650 °C викликає появу інтерметаллідної ζ -фази FeCr. Утворення такої фази сильно окрихчує сталь. Повільне охолодження або тривала витримка при 500 °C викликає утворення упорядкованого твердого розчину, що також викликає крихкість, звану 475O-ної крихкістю. Збільшення температури понад 1000 °C викликає бурхливе зростання зерна і, як наслідок, зниження в'язкості, збільшення крихкості. Тому при першій-ліпшій нагоді виготовлення деталей з хромистих сталей і їх термообробці необхідно уникати температурних інтервалів, при яких можливо окрихчування [12].

Хромисті корозійностійкі сталі містять вуглецю 0,05-0,45% і підрозділяються на сталі, що містять:

– 3% Cr (12X13, 20X13, 30X13, 40X13);

- 17% Cr (14X17H2T);
- 25 -28% Cr (15x25).

Залежно від вмісту вуглецю та хрому хромисті сталі відносяться до феритно-мартенситних (12x13), мартенситних (20X13, 30X13, 40X13), феритних (14X17H2T, 15x25) і до інших проміжних класах.

Одним з основних умов правильного проведення термічної обробки корозійностійких сталей є виключення перегріву, який призводить не тільки до укрупнення зерна, а й викликає появу δ -фериту, що підвищує крихкість сталі.

1.6.2 Хромисті сталі мартенситного класа 13% Cr

До хромової сталі мартенситного класу відносяться, наприклад, сталі з 13% Cr по типу 20X13, 30X13, 40X13, що характеризуються високою міцністю і твердістю. Сталі, що містять 13% Cr, при нагріванні і охолодженні відчувають $\gamma \leftrightarrow$ -перетворення. Сталі з 13% Cr застосовуються для роботи в слабо агресивних середовищах [12].

Сталь 12X13 має феритно-мартенситну структуру, відрізняється високою пластичністю і має гарну зварюваність. Вона використовується в машинобудуванні і інших галузях для різних зварювальних ємностей, взаємодіючих зі слабоагресивними середовищами (водяною парою, водними розчинами солей), а також в якості жаростійкої (до 700°C) для деталей печей.

Сталі 12X13 і 20X13 застосовуються для виготовлення деталей з підвищеною пластичністю, що піддаються ударним навантаженням (турбінних лопаток, клапанів гідроциліндрів та ін.) [12].

Сталі 12X13 і 20X13 піддаються загартуванню в маслі від 1000-1100 °C і високому відпуску при 700 -775 °C. Застосування нижчого відпуску, що створює дрібні карбідні частинки, підсилює корозію. Відпал сталі 20X13

проводиться з нагріванням $\sim 1050^{\circ}\text{C}$, витримкою ~ 1 г, охолодженням з піччю зі швидкістю $20^{\circ}\text{C}/\text{г}$ до 200°C далі на повітрі.

Сталі 30X13 та 40X13 - не зварюються. Вони обробляються гарячою деформацією в інтервалі температур $1100-850^{\circ}\text{C}$. Ці сталі схильні до утворення тріщин при швидкому нагріванні або охолодженні. У зв'язку з цим при нагріванні під гарячу деформацію спочатку застосовують повільне нагрівання до 830°C , а потім в високотемпературній нагрівальній печі. Після гарячої деформації застосовують уповільнене охолодження заготовок в стопі або піску. Холодна деформація цих сталей обмежена [12].

Для зняття внутрішніх напружень після гарячої або холодної пластичної деформації заготовки з сталей 30X13 і 40X13 застосовують відпал при $750-800^{\circ}\text{C}$ з подальшим охолодженням з пічі до 500°C і далі на повітрі феритно-карбідну структуру.

Хромисті сталі 30X13 та 40X13 піддаються загартуванню в маслі з температурою нагріву 1050°C на структуру мартенситу з наступним відпуском при $250-370^{\circ}\text{C}$ на твердість 45-55 HRC. При відпуску відбувається зняття внутрішніх напружень, зберігається висока корозійна стійкість і мартенситна структура з високою міцністю.

При більш високій температурі відпуску $550-650^{\circ}\text{C}$ відбувається розпад мартенситу на феритно-карбідну суміш з виділенням карбідів с утворенням феритно-карбідної структури типу сорбіту відпустки. Такий відпуск підвищує в'язкість, але трохи знижує корозійну стійкість сталі.

Сталі мартенситного класу 20X13, 30X13 та 40X13 мають високу твердість і підвищену міцність, тому їх використовують для виготовлення деталей, які повинні зберігати високу міцність і зносостійкість при роботі в агресивних середовищах (хірургічний інструмент, підшипники, пружини і ін.). У зв'язку з тим для таких деталей найчастіше застосовують загартування і низький відпуск для покращення їх властивостей [12].

1.6.3 Хромисті ферритні сталі з 17 і 25 -30% Cr

Сталі феритного класу з усіх хромистих відрізняються найкращою пластичністю і зварюваністю. З них виготовляють листи та інші напівфабрикати для виготовлення деталей з застосуванням зварювання.

Феритні сталі типу 14X17H2T, 15X25T, 15X28 не мають фазового ($\leftrightarrow\gamma$) -перетворення ні при нагріванні, ні при охолодженні і відрізняються від хромистих сталей мартенситного і аустенітного класу більш високою корозійною стійкістю. Чим більше хрому в сталі, тим вище опір корозії. Ці сталі мають підвищену міцність і найбільш високу корозійну стійкість і застосовуються як жаростійкі (окалиностійкі) при робочих температурах до 1000 °С [12].

1.7 Висновки та постановка задачі

Після проведення аналізу літератури ми приходимо до висновку, що у зв'язку з розвитком різних галузей промисловості, нержавіючі сталі стають ще більш затребуваними. С кожним роком зростає об'єми виготовлення корозійностійких сталей. Замінити ці сталі іншими матеріалами, на даному етапі розвитку промисловості є неможливим і дуже дорогим задоволенням.

Саме тому дуже актуальним питання на сьогодні залишається розробка нових корозійностійких сталей, які можна буде використовувати у різних галузях промисловості, і які будуть за своїми характеристиками жароміцності, корозійностійкості і жаростійкості кращі ніж попередні марки сталей.

Завдяки літературному огляду було сформовано послідовність подальшого дослідження:

- термомодеформаційна обробка сталі;
- металографічний аналіз досліджуваної сталі;

- дюрOMETричний аналі сталі;
- проведення аналізу мікротвердості зразка;
- залежність величини зерна у дослідженому зразку на ударну в'язкість та міцність.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Хромонікелеві корозійностійкі сталі

У дослідженні була задіяна нова марка сталі 11Х13Н16МБ. З цієї сталі було виготовлено 8 зразків, товщиною 10 мм, довжиною 12 мм та шириною 9 мм, вони були зроблені для проведення металографічного аналізу та дюрOMETричного аналізу [13]. Ці зразки були виконані по ГОСТ 5632-72 (див. рис. 2.1).

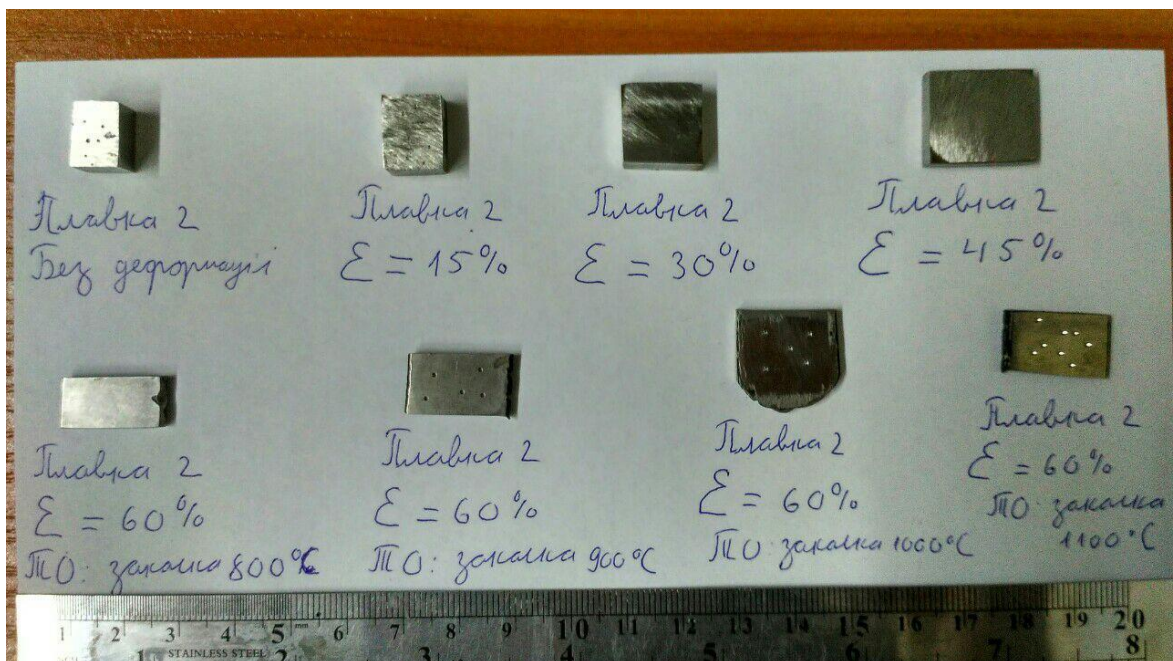


Рисунок 2.1 – Зразки на металографічне та механічне випробування

Сталі такі як (12Х18Н10Т, 08Х22Н6Т, 12Х18Н9Т та ін.) у своєму складі мають аустенітну структуру з невеликою кількістю карбідної фази. Даний тип сталі може використовуватися для виготовлення теплообмінників, цистерн, валів ГТД, запчастин для реторти, що працюють не при критичних температурах. Використання даної марки сталі в хімічній промисловості

також можливе завдяки її корозійної стійкості. Хімічний стан досліджуваної сталі наведений у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний стан сталі 11X13H16МБ

Хімічний елемент	C	Cr	Ni	Mo	Nb
мас., %	0,11	13	16	1	1

2.2 Холодна прокатка з відпалом

Лист сталі 11X13H16МБ був поділений на зразки, а потім ці зразки були прокатані на спеціальному обладнанні з різною ступінню деформації та відпалу (див. рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Станок для холодної прокатки сталі

Найбільш важливим елементами прокатних станків є валки. Вони повинні витримувати без пластичної деформації великі стискаючі і зсувні напруги які потрібні для деформації смуги. Під дією цих напружень форма валків пружно викривляється. Тому для отримання необхідної форми смуги процес прокатки необхідно контролювати. Величина виникаючих напруг і деформації знаходиться в прямій залежності від розміру валків і їх фізичних властивостей [14].

Дослідження показали, що для холодної прокатки листової і смужної сталі можна використовувати, як сталеві так і литі чавунні валки. Найбільш часто для виготовлення робочих і опорних валків застосовують ковану сталь з твердістю по Шору 80-100. Чим тонше оброблювана смуга, тим твердіше повинні бути валки. Твердість опорних валків повинна бути на 20-40 одиниць нижче, ніж твердість робочих валків.

Більшість валків виготовляють з хромистої сталі, котра в залежності від виготовлювача і типа валків може містити 0,8-1% С та 1,0-2,0% Cr. Відпускні характеристики хромистої сталі валків можна поліпшити за допомогою регулювання вмісту вторинних легуючих елементів, наприклад марганцю або малих добавок таких елементів, як молібден або нікель [14].

При рекристалізаційному відпалі в ковпакових печах щільно намотаних рулонів основний вплив на поле внутрішніх залишкових напружень повз режиму термообробки надає їх напружено-деформований стан, який залежить від загального рівня, характеру розподілу питомого натягу по довжині і ширині смуги і класу неплщинності. При намотуванні смуги в рулон під натягом утворення неплщинності першого класу в принципі неможливо, тому що вона формується тільки після повного зняття зовнішньої напруги (натягу) при перерозподілі внутрішніх поздовжніх залишкових напруг. У разі, коли величина середнього питомого натягу недостатня для повної компенсації внутрішніх залишкових напруг стиснення, в рулон намотуються смуги з неплщинністю третього класу. В цьому випадку напружено-деформований стан рулону формується під дією епюри

питомих натягів, яка є наслідком і відображенням епюри залишкових поздовжніх напруг [15].

Однак, в цьому випадку в смузі залишаються неплоскі ділянки із залишковими напругами стиснення, що призводять до утворення в рулоні локальних вогнищ, закономірності зміни міжвиткового тиску в яких досі не вивчені в необхідній мірі. Встановлено, що ці ділянки є джерелом підвищеної небезпеки і можуть бути найбільш вірогідною причиною зварювання витків рулонів при відпалі в ковпакових печах і згодом дефектів поверхні смуг типу "смуги-лінії ковзання".

При рекристалізаційному відпалі, основним призначенням якого є знеміцнення наклепаного металу та отримання заданої мікроструктури і механічних властивостей, відбувається також зменшення залишкових напружень [15].

У наклепаної холоднокатаної смузі умовна межа плинності досягає дуже високих значень, величина ж залишкових напружень, навіть алгебраїчно складаючись із зовнішніми напруженнями натягу, істотно нижче. У цьому випадку при відпалі відбувається релаксація напруг, яка розвивається в відпальній смузі шляхом повзучості при незмінній загальній деформації і падаючій напрузі. Загальна деформація окремих пружно-взаємопов'язаних поздовжніх перетинів смуги, на які можна умовно розділити смугу, буде складатися з пружною і пластичної [15].

У роботі викотистовувалося 8 зразків, перший зразок не зазнавав деформації і використовувався як еталоний, другий зразок був прокатаний при 15 % деформації, третій був прокатаний при 30 % деформації, четвертий при деформації 45 %, п'ятий зразок був прокатаний при 60 % деформації та пройшов відпал при температурі 800 °С, шостий зразок був прокатаний при 60 % деформації та пройшов відпал при 900 °С, сьомий зразок був прокатаний при 60 % деформації та пройшов відпал при температурі 1000 °С і останній восьмий зразок був прокатаний при 60 % деформації і пройшов відпал при температурі 1100 °С.

2.3 Шліфування і механічне полірування

Після прокатки поверхню зразків було потрібно підготувати для металографічного аналізу. Для цього зразки були спочатку відшліфовані на спеціальному шліфовально-полірувальному стані Neris 3E881. Поверхні зразків вирівнювалися за допомогою крупнозернистого паперу з розміром зерна 120-90 мкм, а потім ми переходили до дрібнозернистого паперу з розміром зерен 13-20 мкм. Потім відбувалося шліфування на папері з використанням спеціальних абразивних паст для полірування. Полірування відбувалося у такому порядку: 14-10 мкм, 5-3 мкм, 1 мкм (див. рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Шліфовально-полірувальний стан Neris 3E881

Метою шліфування і механічного полірування є отримання металевих шліфів без рисок, рельєфу, ямок і деформації. Цього можна досягти проводячи ряд операція шліфування і полірування.

Тонке шліфування є проміжною операцією між попередньою підготовкою зразка і остаточною операцією – поліруванням.

Обидва процеси, тонке шліфування і полірування, являє собою видалення за допомогою абразиву дрібних металевих частинок з поверхні металу. При шліфуванні неминуче виникають ризики, в результаті чого шліфована поверхня виглядає тьмяною, тоді як полірування робить поверхню більш або менш блискучою. Дзеркальна поверхня на якій риси не видно навіть під мікроскопом, отримують тільки після остаточної операції полірування [16].

2.3.1 Тонка шліфовка

Тонку шліфовку зазвичай проводять на абразивних паперах. Абразивом може бути або наждак або карбід кремнію. Абразивні порошки оцінюють по розміру їх часток, їх маркують числами, які відповідають номеру найбільш дрібного сита, через яке проходить порошок. Тонку шліфовку виробляють вручну на нерухомій плоскій скляній плиті, покритій абразивним папером, або на диску якій обертається з абразивним папером. Під час кожної операції шліфування доцільно зберігати одне і те ж положення зразка, щоб всі риси були паралельні.

Тиск на зразок повинен бути досить високим, щоб забезпечити різання абразивом і потрібну швидкість шліфування. Надмірний тиск призводить тільки до небажаного виділення тепла, а також до передчасного зносу і фрагментації абразивних зерен [16].

Дуже часто корисно змочувати зразок або абразив як для змашування, так і для охолодження, особливо якщо нагрів може привести до зміни

структури зразка. Вода видаляє ті частинки які відірвалися від паперу абразиви і зрізані з зразка металеві частинки. Наждачні папери можна змащувати парафіном або графітом.

При тонкій шліфовці не пов'язаними абразивами сильно закруглюються краї зразка, а з шліфу виринаються неметалеві включення. Абразив може врізатися в зразок, особливо якщо відпрацьовуються м'які метали.

Проміжною між тонким шліфуванням і грубим поліруванням є операція притирання. В процесі притирання виходять значно більш тонкі подряпини і менша кількість пошкодженого металу, ніж при шліфуванні за допомогою абразивного паперу [16].

2.3.2 Полірування

Метою полірування є зменшення шорсткості, що залишаються після шліфування, без погіршення досягнутої площині. Всі елементи структури повинні опинитися на одному рівні, щоб після контрастування можна було правильно оцінити структуру. При поліруванні металева поверхня набуває блиск. Поверхня зразка можна вважати рівною і полірованою, якщо вона дає чітке неспотворене дзеркальне зображення предметів.

Механічно відполірована поверхня має спотворений шар, який в жодному разі не заважає спостереженню й оцінці структури, або шар повинен бути видалений електрохімічним або хімічним методом [17].

2.4 Металографічний аналіз

2.4.1 Травлення

Після проведення шліфування зразців, а потім їх полірування, поверхня була повністю дзеркальна, та готова для проведення металографічного аналізу, але спочатку, щоб побачити структуру сталі

потрібно було протравити зразки у спеціальному розчині. Для цього використовувався розчин (60 мл H_2O , 20 мл HNO_3 , 20 мл HF) за такою послідовністю: травлення 30 секунд, потім промивка водою, та сушка під гарячим повітрям [18].

У роботі використовувався метод травлення з зануренням зразка у спеціальний розчин. Для кращого спостереження процесу зразок поміщають в реактив полірованої поверхнею вгору. Реактив наливають в чашку з порцеляни, скла або кислотостійкої пресованої маси. Щоб продукти травлення не перешкождали виявленню структури, необхідно перемішати зразок або чашку з розчином або розташовувати поверхню шліфу вертикально. Іноді необхідно протирати шліф ватним тампоном, особливо тоді, коли під час травлення утворюються нерозчинний осад, що перешкоджає виявленню структури або забруднюють поверхню зразка [18].

Між структурами литих і деформованих матеріалів існує добре помітна відмінність. Чим вище ступінь деформації тим більш гладкою і щільною стає картина травлення.

При глибокому травленні загартованих сталей виявляється особливо щільна і гладка картина. Вплив відпалу стає помітним в інтервалі температур від $150\text{ }^{\circ}C$ до $450\text{ }^{\circ}C$. Підвищення температури відпустки до $650\text{ }^{\circ}C$ не призводить до подальших змін.

Виявлення глибоким травленням структура сталі після неповного відпалу виглядає більш грубою. Якщо глибоким травленням загартованої сталі виявлені тріщини, то важко встановити, викликано їх поява обробкою гарячими кислотами або вони є гартівними тріщинами [18].

2.4.2 Дослідження протравленої структури

Після травлення структури сталі було проведено дослідження на горизонтальному мікроскопі МІМ-8М (див. рис. 2.4).

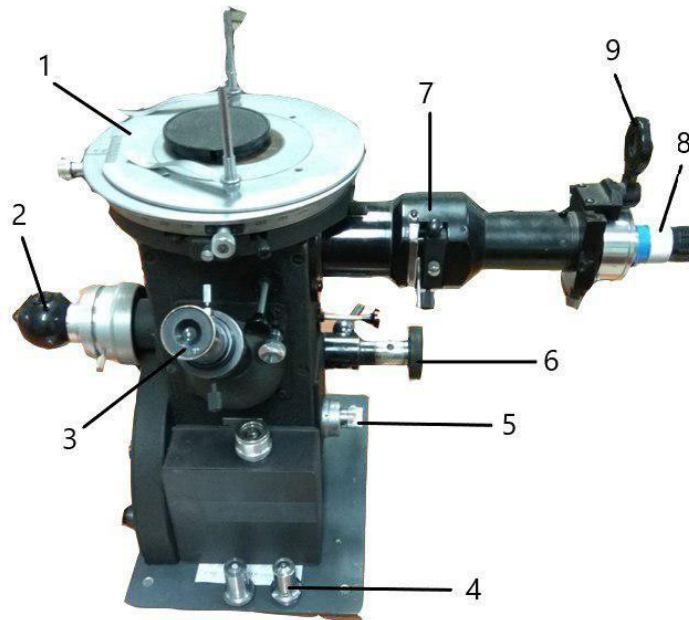


Рисунок 2.4 – Мікроскоп МІМ-8М: 1- предметний столик; 2- веб камера; 3-насадка-окуляр; 4- об'єктиви; 5- механізм мікрометричної подачі; 6- механізм грубої подачі; 7- пересувна рамка; 8- освітлювальна LED лампа; 9- поляризатор

Горизонтальний металографічний мікроскоп МІМ-8М призначений для дослідження мікроструктури металів та інших непрозорих об'єктів у світлому полі при прямому і косому освітленні, а також в темному полі і в поляризованому світлі [19].

Для візуального спостереження об'єктів мікроскопа забезпечений монокулярними і бінокулярними насадками. Власне збільшення бінокулярної насадки - 2,5 х. Набір ахроматичних і апохроматических об'єктивів і окулярів забезпечує збільшення мікроскопа при візуальному спостереженні – від 100х до 1350х. Предметний столик мікроскопа забезпечений механізмами для координатного переміщення об'єкта.

Освітлення проводиться від електролампи розжарювання потужністю 170 Вт, 17 В, живиться від освітлювальної мережі 220 В через понижуючий трансформатор, забезпечений секційним перемикачем для регулювання яскравості розжарення лампи.

Для вивчення подробиць слід користуватися сильними об'єктивами. Об'єктиви $F=2,8$, $A=1,25$; $F= 2,8$, $A=1,30$ і $F= 2,8$, $A=1,0$ мають на корпусі оправы фронтальної лінзи чорну смужку, яка означає, що даний об'єктив імерсійний. При користуванні зазначеними об'єктивами необхідно нанести шар імерсійної рідини на фронтальну лінзу об'єктива і на предмет. Даною імерсійною рідиною в даному випадку є кедрове масло. Пухирець з маслом (прикладається до комплекту приладу). Масло потрібно наносити чистою паличкою. Бульбашки повітря в імерсії псують картину зображення об'єкта, тому імерсію не слід збовтувати. Без імерсії з імерсійними об'єктивами працювати не можна [19].

Освітлення в світлому полі регулюється діафрагмами, включеними в хід променів. Правильна установка освітлення і відкриття діафрагми позначаються на дозвільній силі і якості зображення об'єкта. Як правило, апертурна діафрагма відкривається на $3/4$ зіниці, якщо дивитися в візуальний тубус без окуляра. При сильно звуженою діафрагмі зображення об'єкта виходить спотвореним, при широко відкритій діафрагмі зображення виходить блідим, неконтрастним.

Зображення польовий діафрагми виходить в площині об'єкта, і його можна спостерігати при точному фокусуванні на площину об'єкта. Призначення статевої діафрагми - прибрати зайві промені світла з поля зору. Центрування слід проводити при кожній зміні об'єктива, окуляра [19].

Завдяки МІМ-8М можна проводити якісний та кількісний аналізи мікроструктури:

- глибину цементованого шару;
- величину зерна;
- визначити розташування структурних складових та їх кількість.

Структура сталі, що використовувалася інколи візуально мала майже однакову форму та розмір зерна, тому у цьому випадку ми використовували

метод підрахунку кількості зерен на поверхні шліфа (1 мм²) для того, щоб розрахувати середній діаметр зерен та їх середню площу.

Визначали розміри зерен шляхом того, що підраховували перетин границь зерен відрізками прямих з послідуочим визначенням умовного діаметра [20].

Під час дослідження були використанні мікрофотографії структури при збільшенні $\times 300$. Для даного збільшення число зерен m , що мають однакові форми та розміри в полі зору, розраховуються за формулою: [20]

$$m = 2 \left(\frac{g}{100} \right)^2 n_g, \quad (2.1)$$

де n_g - загальна кількість зерен, що знаходиться всередині фігури, яка обмежується фотографією при збільшенні g .

Середню площу перерізу зерна визначають по формулі:

$$a = \frac{1}{m}, \quad (2.2)$$

Середній діаметр зерна визначають за формулою:

$$d_m = \frac{1}{\sqrt{m}}, \quad (2.3)$$

Значення які отримали m , a , d_m порівняємо з табличними, що наведені в ГОСТ 5639-82, і визначимо номер величини зерна.

Метод підрахунку перетину границь зерен полягає у підрахунку зерен, які перетинає відрізок прямої, та у визначенні середнього умовного діаметру. На ділянках шліфа, де розмір і форма зерен значно відрізняється, визначали середній умовний діаметр за формулою: [20]

$$d_L = \frac{L}{N} \quad (2.4)$$

Порівнюючи отриманні значення d_L зі значенням відповідних параметрів наведених в ГОСТ 5639-82 можна визначити номер величини зерна [20].

2.5 Дюрометричний аналіз

2.5.1 Вимірювання твердості зразків

Визначення твердості матеріалів є одним з найпоширеніших методів механічного випробування. Перевагою цього методу є оцінка властивостей деталей без їх руйнування та можливість оцінки властивостей окремих фрагментів деталі і тонких поверхневих шарів [21].

У наш час широко використовується наступні статичні методи визначення твердості: по Брінеллю (НВ), Роквеллу (HRC) або Віккерсу (HV).

На практиці метод Брінелля частіше застосовують для м'яких сталей і сплавів, метод Роквелла для твердих, а за допомогою метода Вікерса можна вимірювати твердість тонких азотованих або цементованих шарів. Для кожного з цих методів є відповідні шкали твердості та числові значення.

На сьогоднішній день в Україні діє ДСТУ ISO 6508-1:2013, який складається з декількох частин. В данному стандарті описані вимоги до зразків, калібрування приладів та еталонних мір, методика проведення випробувань тощо. Цей стандарт прийшов на заміну ГОСТ 9013-59, який мав широке застосування на підприємствах [22]-[23].

Матеріал для дослідження пропонує ГОСТ 9013-59 вибирати за такими критеріями, товщина зразка не менше ніж в 10 разів перевищувати глибину впровадження наконечника після зняття основного зусилля. Шорсткість поверхні зразка повинна бути не більше 2,5 мкм, зразок повинен бути

підготовлений таким чином щоб не змінювалися його властивості в результаті механічної або іншої обробки, нагрівання або напруження [23].

У стандарті не вказано які матеріали використовують для індентування за методом Роквелла. Схиляючись на інші літературні джерела маємо такий перелік матеріалів.

Застосовують метод Роквелла для таких груп сталей залежності від шкали індентування:

- Шкала А – карбід вольфрама;
- Шкала В – алюмінієві сплави, бронза, м'які сплави;
- Шкала С – тверді сталі с HRB > 100.

Обмежується мінімальна відстань між відбитками, третину діаметра між центрами найближчих відбитків. Вимірювання твердості проводять при температурі 20° С. При розбіжності в результатах вимірювання твердості проводять при температурі (23 ± 5) °С [23].

Зразки вимірювалися методом Роквелла за шкалою HRC на твердомірі «Роквелл» Микротех, модель HRA-1 (див. рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Твердомір «Роквелл» модель HRA-1: 1-робочий стіл; 2-індентор; 3- індикатор; 4- ручка перключення навантаження; 5- ручка розвантаження; 6- ручка навантаження

Час витримки навантаження за методом Роквелла відповідно до матеріалу:

- 2 - 3 с для матеріалів з незалежною від часу пластичною деформацією;
- 6 - 8 с для матеріалів із залежною від часу пластичною деформацією;
- 20 - 30 с для матеріалів з істотно залежною від часу пластичною деформацією.

Відстань між центрами двох сусідніх відбитків повинно бути не менше чотирьох діаметрів відбитка (але не менше 2 мм), від центру відбитка до краю зразка має бути не менше 2,5 діаметра відбитка (але не менше 1 мм).

Число твердості за Роквеллом визначається за шкалою індикатора або показника цифрового звітного пристрою з округленням до 0,5 одиниці твердості [23].

Поправки додаються до отриманих значень твердості. Поправки при вимірюванні твердості на увігнутих поверхнях встановлюються в нормативно-технічній документації на металопродукцію. Після зміни наконечника, робочого столика або підставки, перші три виміри не враховуються. Кількість відбитків при вимірюванні твердості, спосіб обробки і результати вимірювань вказуються в нормативно-технічній документації на металопродукцію.

Американський стандарт ASTM E18, тести на твердість повинні проводитися при кімнатній температурі в межах від 10 до 35 °С. Попереджають, що температура випробувального матеріалу і температура твердості тестування може вплинути на результати випробувань, користувачі повинні забезпечити температуру тесту на вимірювання показника твердості.

Таблиці перетворення стандартної твердості для металів, стандарт ASTM E18 вказує орієнтовні значення конверсій для конкретних матеріалів, таких як сталь, аустенітна нержавіюча сталь, нікель та високомолекулярні сплави, латунь картриджа, мідні сплави та леговані білі чавуни [24].

Під час тестування слід звернути увагу на матеріали, що демонструють градієнти твердості наприклад, при таких процесів, як вуглецювання, карбонітридування, азотування, тощо [23].

Число твердості за Віккерсом згідно з стандартом ГОСТ 2999-75 поверхня випробувального зразка повинна мати шорсткість не більше 0,16 мкм. Мінімальна товщина випробувального матеріалу має бути для сталевих виробів більше діагоналі відбитка в 1,2 рази; для виробів з кольорових металів в 1,5 рази. При вимірюванні твердості повинна бути забезпечена перпендикулярність прикладеного чинного зусилля до випробуваної поверхні [25].

Плавне зростання навантаження до необхідного значення, підтримання сталості прикладеного навантаження протягом встановленого часу. Час витримки під навантаженням 10 - 15 с. При наявності особливих вказівок допускається тривалість часу витримки під навантаженням ± 2 с. Відстань між центром відбитка має бути не менше 2,5 довжини діагоналі. При невідомій товщині випробуваного шару слід зробити кілька вимірів при різних навантаженнях твердість буде близька за своїми значеннями або збігатися. Температура при якій проводять випробування 20_{-10}^{+15} °C [26].

Матеріали для визначення мікротвердості за ГОСТом 9450 - 76 твердості дуже малих, мікроскопічних матеріалів. Застосовується, коли потрібно виміряти твердість дрібних деталей, тонкого дроту або стрічки, тонких поверхневих шарів, покриттів. Головне його призначення в дослідних роботах оцінка твердості окремих фаз або структурних складових сплавів, а також різниці в твердості різних ділянок цих складових [27]-[28].

2.5.2 Види інденторів

Індентор для метода Брінелля – відповідно стандарту ГОСТ 9012-59 індентор – полірована кулька ($Ra \leq 0.040$ мкм) з діаметром 1; 2,5; 2,5; 5 та

10 мм [29]. Інший стандарт за яком здійснюється індентування ДСТУ ISO 6506 - 2 «Металеві матеріали. Визначення твердості за Брінеллем» [30].

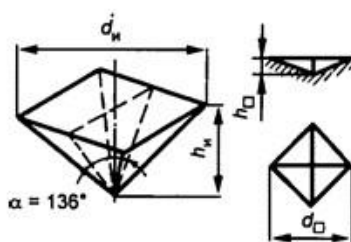
Індентор складається з кульки та тримача індентора. Верифікація застосовується лише до кульки. Кульки повинні бути поліровані та не мати поверхневих дефектів. Користувач повинен виміряти кулі, щоб переконатись, що вони відповідають наступним вимогам, або отримати кульки від постачальника, який підтверджує, що такі умови виконані. Діаметр визначається виходячи з середнього значення не менше трьох одиничних значень діаметра, виміряних у різних положеннях на кулі.

Твердість повинна, бути не менше 1500 HV, коли визначається відповідно до ISO 6507-1 [31].

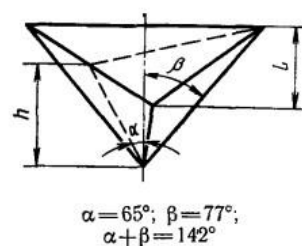
Індентор за методом Роквелла – для індентора за методом Роквелла як і для інших методів є окремо ГОСТ 9377-81 котрий розповсюджується на індентори для метода Роквелла та для метода Віккерса [32].

Насамперед, це алмазний індентор у формі правильної чотирьохгранної піраміди з кутом поміж гранями піраміди при вершині 136° . В стандарті ISO 6507-1 однаковий за параметром індентор і не дивно, так як ГОСТ, ДСТУ, ISO базуються на ISO [31].

Частіше для визначення мікротвердості використовують індентор Віккерса. Відбиток від індентора легко заміряти для підрахування твердості. ГОСТ 9450 - 76 «Вимірювання мікротвердості вдавненням алмазних наконечників» пропонує, крім використання індентора Віккерса, ще три індентора [27] (див. рис. 2.6).



а)



б)

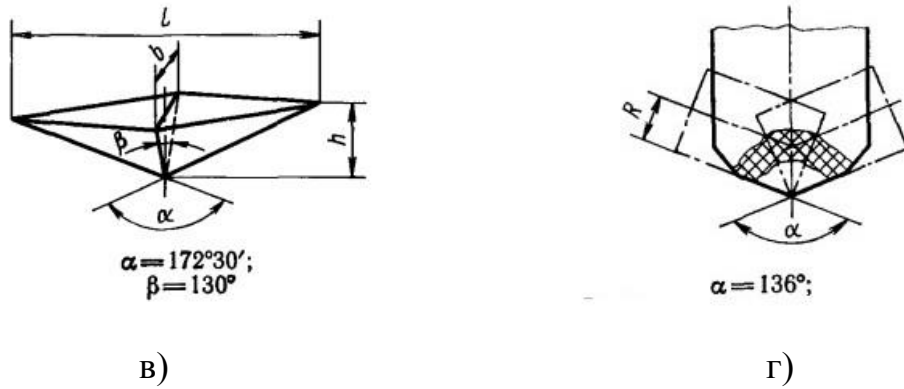


Рисунок 2.6 – Індентори для визначення мікротвердості [33]: а) чотирихгранна піраміда з квадратною основою; б) трьохгранна піраміда з основою рівностороннього трикутника; в) чотирихгранна піраміда з ромбічною основою; г) біциліндричний наконечник

На даний момент всі три види інденторів застосовуються у різних галузях, де потрібно отримати оцінку твердості найтонкіших шарів, окремих фаз і структурних складових сталі.

2.5.3 Вимірювання мікротвердості зразків

Метод вимірювання мікротвердості регламентований ГОСТ 9450-76. При даному методі твердість вимірюють шляхом вдавнення в зразок алмазного індентора під дією статичного навантаження протягом часу витримки. Число твердості визначають діленням прикладеного навантаження на умовну площу бічної поверхні отриманого відбитка в мм^2 [34].

Основним варіантом випробування є метод відновленого відбитка, коли розміри відбитків визначаються після зняття навантаження.

Мікротвердості визначали на твердомірі ПМТ-3 призначені для вимірювання мікротвердості за шкалами Віккерса металів сплавів відповідно ГОСТ 9450 - 76. Принцип дії приладу заснований на статичному вдавненні індентора - наконечника алмазної піраміди з кутом при вершині 136° при

визначенні мікротвердості за Віккерсом з наступним виміром діагоналей відбитка [27] (див. рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Твердомір ПМТ-3

Принцип роботи приладу полягає у додаванні навантаження або серії навантажень на індентор, отримання відбитка, потім зміна індентора на об'єктив для проведення вимірювань діагоналей відбувається автоматично.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Структура дослідженої сталі

Металографічне дослідження проводили на мікроскопі МІМ-8М при збільшенні $\times 300$ (див. рис. 3.1).

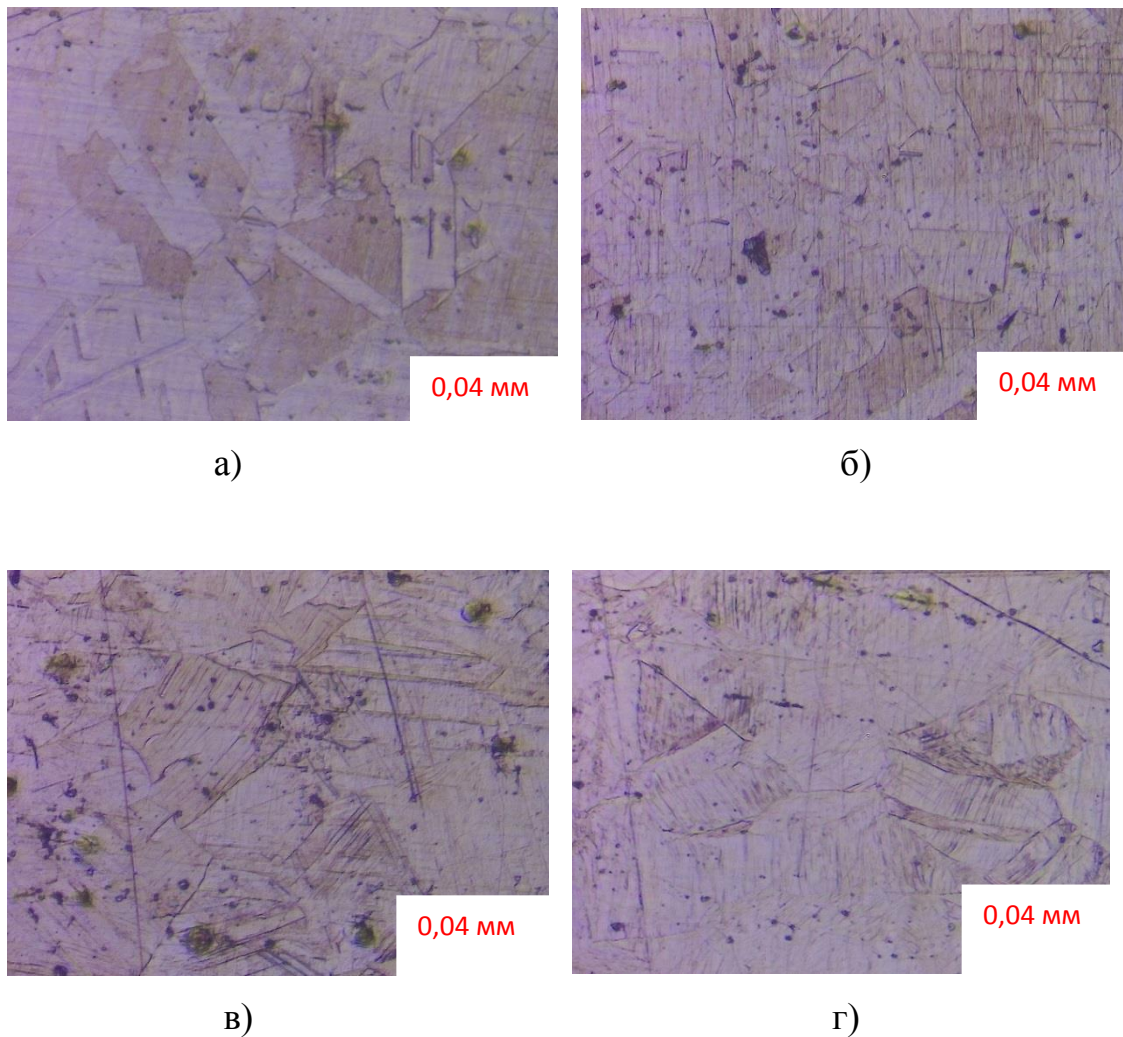
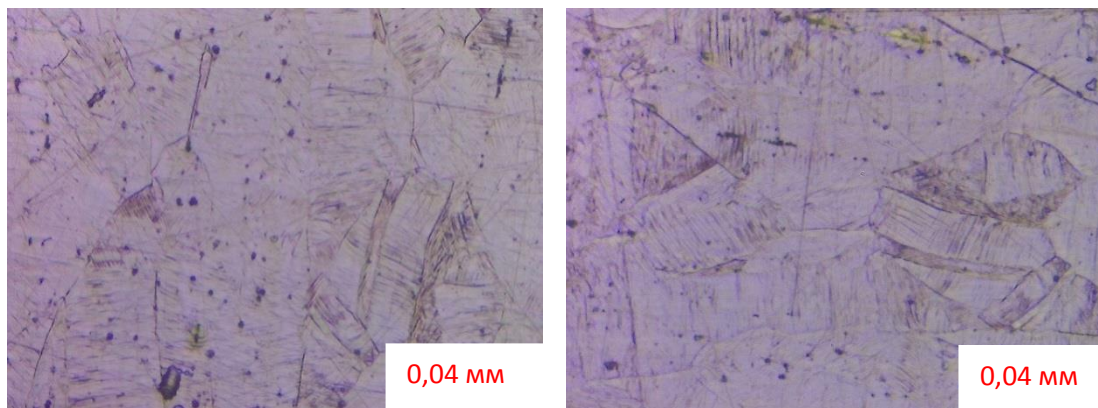


Рисунок 3.1 – Мікроструктура досліджених сталей, (збільшення $\times 300$):
а) зразок 1 без деформації; б) зразок 2 $\epsilon=15\%$ деформації; в) зразок 3 $\epsilon=30\%$ деформації; г) зразок 4 $\epsilon=45\%$ деформації

Дослідна сталь являє собою аустеніт. На рисунку 3.1 можна побачити, що при різному ступені деформації форма і розмір зерен у різних зразках відрізняється. Неоднорідні зерна ми бачимо у зразку номер 4.

Зразок 1,2 і 3 майже по всій площині шліфа мають зерна дуже схожі по розмірам. Завдяки методу підрахунку зерен ми визначили їх кількість в 1 мм^2 за формулою (2.1) та їх середній діаметр та площу за формулами (2.2) і (2.3): $a = 0,0007 \dots 0,00772 \text{ мм}^2$, $d_m = 0,081 \dots 0,087$. Ці дані відповідають ГОСТ 5639-82 параметрам балу зерна 4 .

Зразок 4 має різні розміри зерна. Ми досліджували різні сектори зразка номер 4. Сектор 1 має структуру, що представляє скупчення дуже великих зерен та розташування локальних дрібних по краям. У секторі 2 ми бачимо більш однорідні зерна великого та середнього розміру (див. рис. 3.2).



а) сектор 1

б) сектор 2

Рисунок 3.2 – Мікроструктура дослідженого зразка 4, (збільшення $\times 300$)

У першому секторі можна спостерігати рівнорозмірні зерна і за допомогою метода підрахунку перетину границь зерен, за формулою (2.4), ми розрахували середній умовний діаметр для крупних зерен $d_L = 0,03 \dots 0,038 \text{ мм}$, що відповідає балу зерна 6, та умовний середній діаметр дрібних зерен: $d_L = 0,02 \dots 0,021 \text{ мм}$, що відповідає балу зерна 8.

У другому секторі розрахування проводилося двома попередніми способами. Та були отриманні такі результати: середня площа зерна $a=0,003\dots0,0029$ мм, середній діаметр $d_m=0,060\dots0,069$ мм та середній умовний діаметр дрібних зерен: $d_L=0,033\dots0,040$. Ці дані відповідають балу зерна 5.

Також було проведено дослідження мікроструктури, зразків які проходили не тільки холодну деформацію, але і піддавалися термообробці, загартування і відпалу при температурах 800, 900, 1000 та 1100 °С та деформації 60% (див. рис. 3.3).

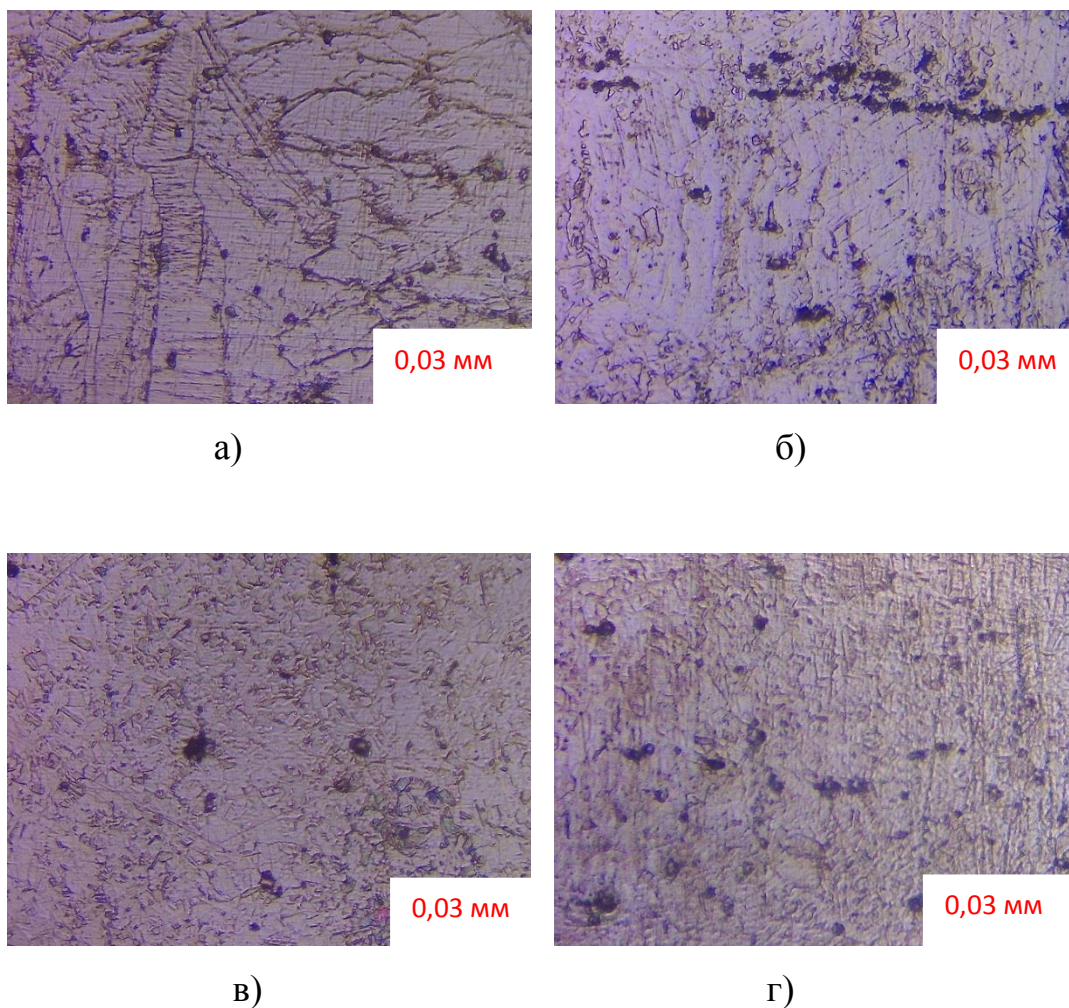


Рисунок 3.3 – Мікроструктура досліджених сталей після загартування і відпалу, (збільшення $\times 500$): а) зразок 5 $\epsilon=60\%$ 800 °С; б) зразок 6 $\epsilon=60\%$ 900 °С; в) зразок 7 $\epsilon=60\%$ 1000 °С; г) зразок 8 $\epsilon=60\%$ 1100 °С

При більш детальному дослідженні було виявлено, що мікроструктура сталі після деформацій і відпалу являє собою аустенітні зерна, по краям яких виділилися карбіди, що можна дуже добре побачити на рисунку (див. рис. 3.4).

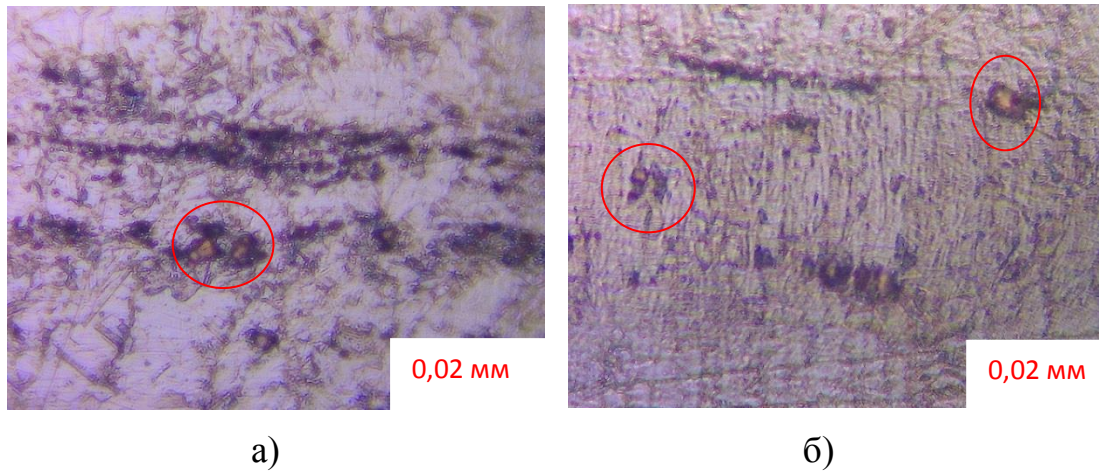


Рисунок 3.4 – Мікроструктура досліджених сталей після загартування і відпалу, (збільшення $\times 1000$): а) зразок 6 $\epsilon=60\%$ $900\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) зразок 8 $\epsilon=60\%$ $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Незважаючи на наявність карбідів структура сталі після загартування і відпалу є стабільною. Важливу роль у структурі дослідженої сталі грає хром, завдяки йому ми отримуємо високу корозійну стійкість сталі і можливість сталі до пасивації. Що дуже потрібно при виготовленні теплообмінників, ретортів, валів ГТД.

Завдяки вмісту у сталі 16% нікелю сталь зразу переходить в аустенітний клас сталей. Це забезпечує підвищення пластичності і зниження схильності до зростання зерна а також отримання унікальні службові властивості. Дана сталь може використовуватися в якості жароміцної, корозійностійкої і жаростійкої.

У хромонікелевих аустенітних сталях виділення надлишкових карбідних фаз і σ - фаз відбувається при нагріванні від $450\text{-}900\text{ }^{\circ}\text{C}$. Також

зустрічається утворення в аустенітній основі δ -фериту при високо-температурному нагріванні [35].

При додаванні в хромонікелевої сталі ніобію, який сприяє утворенню карбідів, змінюються умови виділення карбідних фаз. При збільшенні температури вище 700 °C переважно виділяються спеціальні карбіди типу NbC. Тому коли виделяються тільки спеціальні карбіди схильності до міжкристалітної корозії не виникає.

У сталях під гартуванням розуміють нагрів вище температури розчинення карбідів хрому і досить швидке охолодження, що фіксує гомогенний гамма-розчин. Температура нагріву під загартування зі збільшенням вмісту вуглецю зростає. Тому низьковуглецеві сталі гартуються з більш низьких температур, ніж високовуглецеві. В цілому інтервал температури нагріву становить від 900 до 1100 °C. Тривалість витримки сталі при температурі гарту досить невелика. Наприклад, для листового металу сумарний час нагріву і витримки при нагріванні до 1000-1050 °C зазвичай вибирають з розрахунку 1-3 хвилини на 1 мм товщини.

Охолодження з температури гарту має бути швидким. Для нестабілізованих сталей з вмістом вуглецю більше 0,03 % застосовують охолодження у воді. Сталі з меншим вмістом вуглецю і при невеликому перерізі виробу охолоджують на повітрі.

У стабілізованих сталях відпал проводять для перекладу вуглецю з карбідів хрому в спеціальні карбіди титану та ніобію. При цьому хром який звільнився у ході реакції йде на підвищення корозійної стійкості сталі. Температура відпалу зазвичай становить 850-950 °C [35].

3.2 Випробування на твердість дослідженої сталі

Досліджували твердість на зразках сталі 11X13H16MB, які пройшли різну деформаційну та термічну обробку (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Твердість сталі 11Х13Н16МБ за шкалою HRC метод Роквелла

	Без деформації	$\epsilon=15\%$	$\epsilon=30\%$	$\epsilon=45\%$
Твердість <i>HRC</i>	1	19	33	36
	2	20	33	41
	1	20	35	38
	1	18	33	39
	2	20	28	39
Середній показник твердості \overline{HRC}	1,4	19,4	32,4	38,6

Як ми можемо побачити після початку деформування сталі показник твердості починає зростати. Завдяки цьому ми отримуємо такі данні (див. рис. 3.5).

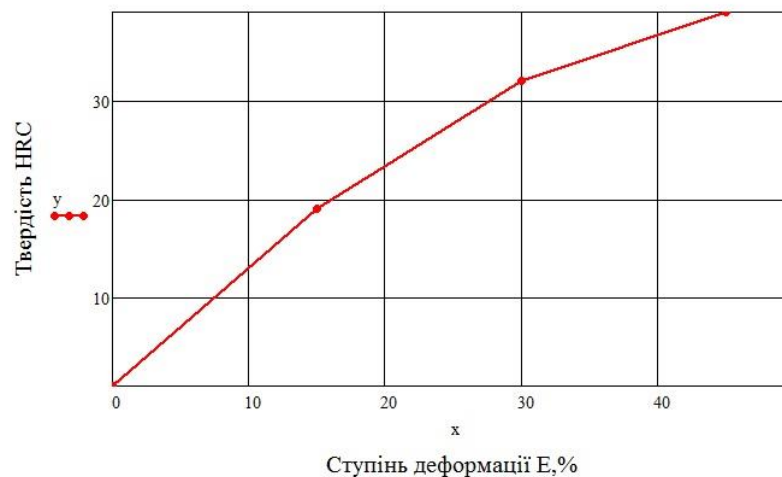


Рисунок 3.5 – Залежність твердості сталі 11Х13Н16МБ від ступеня холодної деформації

Ми бачимо, що в деформованому металі зі збільшенням ступеня деформації збільшуються його міцнісні характеристики, тобто зміна структури металу в процесі пластичної, деформації призводить до його зміцнення або наклепу. Просування дислокацій по кристалу може в зв'язку з накопиченням їх у перешкод-точкових дефектів кристалів, дислокацій, меж зерен, в результаті чого щільність дислокацій значно зростає.

Потім вимірювали твердість зразків які після деформації 60 % проходили загартування і відпуск при різних температурах (див. табл. 3.2).

Таблиця 3.2 –Твердість сталі 11Х13Н16МБ за шкалою HRC метод Роквелла

	$\epsilon=60\%$ 800 °C	$\epsilon=60\%$ 900 °C	$\epsilon=60\%$ 1000 °C	$\epsilon=60\%$ 1100 °C
Твердість <i>HRC</i>	39	18	10	2
	40	18	8	1
	39	15	7	1
	39	18	10	2
	38	18	7	1
Середній показник твердості \overline{HRC}	39	17,4	8.4	1,4

Після загартування та відпалу ситуація цілком протилежна, можна побачити, що при температурі 1100 °C сталь 11Х13Н16МБ за своїми характеристиками твердості повертається до вихідного зразка без деформації та термообробки (див. рис. 3.6).

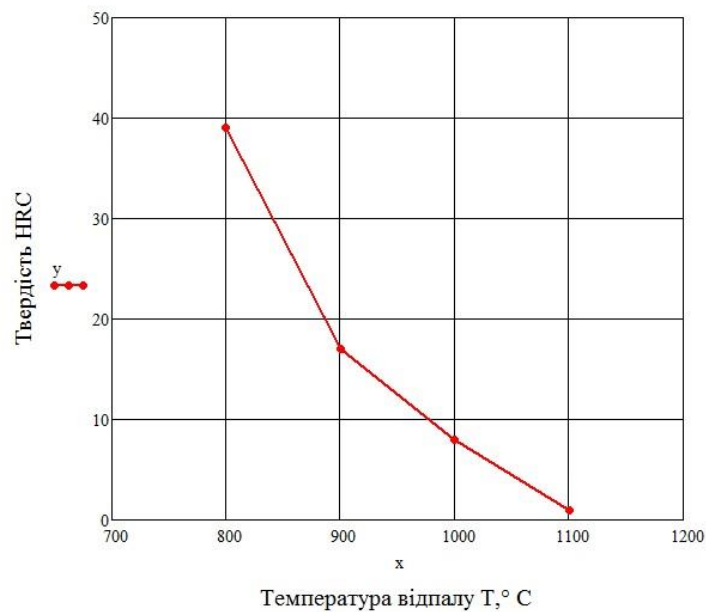


Рисунок 3.6 – Залежність твердості сталі 11Х13Н16МБ від температури відпалу

Високо-вуглецеві сталі зазвичай мають високу твердість вже як би самі по собі. Однак процес гарту може зробити їх значно твердіше, хоча при цьому вони стають більш крихкими. Тому загартування майже завжди поєднують з відпусткою. В результаті відпустки твердість сталі знижується, а пластичність підвищується.

Після відпалу, нормалізації або відпуску вуглецева сталь складається з фериту, вільного і пластинчастого, і включень карбідів (цементиту). Ферит має низьку міцність і високу пластичність. Цементит ж має дуже високу твердість (близько 800 НВ) і практично нульову пластичність. При малій кількості цементитних включень пластична деформація розвивається відносно легко і твердість сталі тому невисока [36].

3.3 Випробування на мікротвердість дослідженої сталі

Твердість сталі 11Х13Н16МБ визначали на ПМТ-3 при навантаженні 50 гс після гартування 800 та 900 °С (див. табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Мікротвердість сталі 11Х13Н16МБ після гартування

Температура гартування $T, ^\circ\text{C}$	Навантаження $P, \text{гс}$	Твердість HV
800	50	682
		589
		670
		736
		690
900		427
		326
		473
		414
		369

Структура сталі аустенітна, з наведених даних маємо розкид значень твердості, це свідчить про відновлення матеріалу на різних секторах де проводилося випробування або суб'єктивну похибку (див. рис. 3.7).

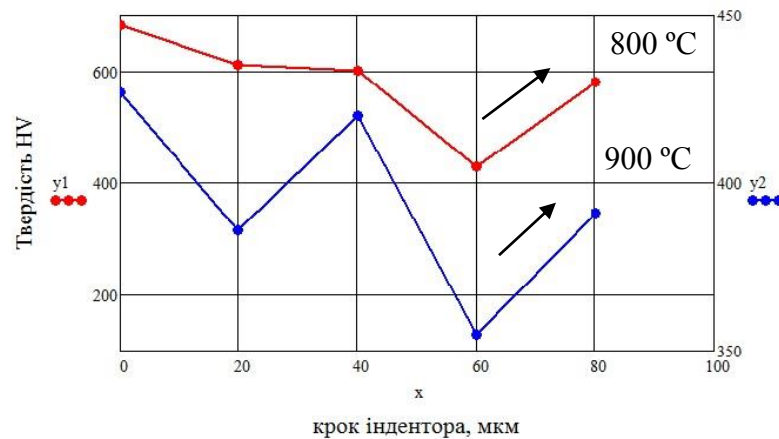


Рисунок 3.7 – Залежність твердості від кроку індентора на зразках

На рисунку 3.7 ми можемо побачити, що чим нижче температура загартування сталі 11X13H16МБ тим більше її твердість, з ростом температури твердість сталі зменшується.

Результат визначення мікротвердості пірамідою Віккерса показав, що індентор підходить для визначення твердості хромонікелевих аустенітних сталей (див. рис. 3.8).

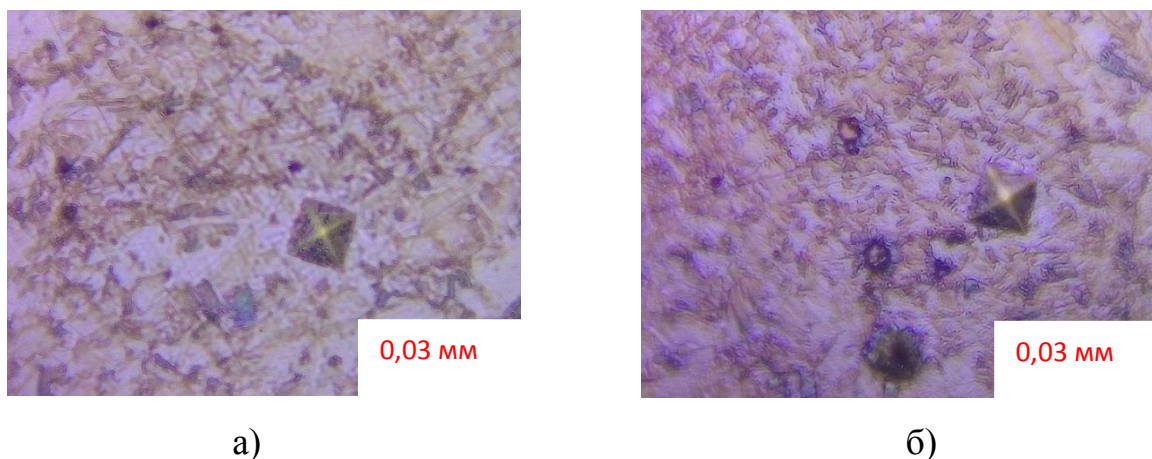


Рисунок 3.8 – Мікроструктура зразків після деформації та відпалу (збільшення $\times 500$): а) зразок 1 $\epsilon=60\%$ 800 °C; б) зразок 2 $\epsilon=60\%$ 900 °C

На мікротвердість впливають утворення після травлення окислень металу, в наслідку чого триває реакція травлення поверхневого шару. Метод визначення мікротвердості для хромонікелевих сталей дає дуже точні результати.

ВИСНОВКИ

1. Під час термічної та деформаційної обробки дослідної сталі за вибраним режимом відбувається виділення спеціальних карбідів типу M_3C , M_6C . Після проведення гартування та наступного старіння при різних температурах твердість майже не змінилася. Це може бути обумовлено коагуляцією карбідів, що підтверджено металографічним аналізом.

2. Встановлено, що у дослідженій сталі 11X13H16MB з 0,11 % вуглецю та 13 % хрому збільшення концентрації нікеля до 16 % є доцільним, у зв'язку з тим, що показники пластичності та фізико-механічні властивості мало змінюються.

3. Показано, що зразки з неоднорідною структурою мають високі показники міцності при збільшенні температури, але водночас, супроводжується зниженням пластичності на цих ділянках. Металографічним аналізом виявлено, що розміри зерен на деяких ділянках зразків були різнорозмірні, тому твердість сталі 11X13H16MB дуже залежить від вибраного режиму термічної обробки, саме тому зміцнення протікає у різних ділянках зразка по різному.

4. Під час дослідження зразки, які були продеформовані та після цього пройшли нормалізацію при температурах 1000 і 1100 °C, мали подрібненні зерна в структурі сталі в порівнянні з вихідним зразком, що забезпечило підвищення механічних властивостей сталі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Основные сведения о нержавеющей стали.
[Электронный ресурс]: [сайт] URL:http://metkov.com.ua/ru/stati/obshie_svedenija_o_nerzhaveyshej_stali.html (дата звернення: 12.10.2019).
2. Нержавеющая сталь: состав, свойства, марки, маркировка.
[Электронный ресурс]: [сайт] URL:<http://metall.org/metalloprokat/nerzhaveyushhij/nerzhaveyushhaya-stal-sostav-vidy-svoystva-korrozionnostojkaya.html> (дата звернення: 12.10.2019).
3. Основные типы нержавеющей сталей и области их применения.
[Электронный ресурс]: [сайт] URL:<http://www.salutsteel.ru/information/articles/tupes-stainless/> (дата звернення: 12.10.2019).
4. Прокатка хромоникелевой коррозионно-стойкой стали.
[Электронный ресурс]: [сайт] URL: <https://metallurgist.pro/prokatka-hromonikelevoj-korrozionno-stojkoj-stali/> (дата звернення: 12.10.2019).
5. Особенности производства холоднокатанной нержавеющей стали.
[Электронный ресурс]: [сайт] URL:https://ozlib.com/854871/tehnika/osobennosti_proizvodstva_holodnokatanoy_nerzhaveyushey_stali (дата звернення: 12.10.2019).
6. Холодная прокатка нержавеющей стали.
[Электронный ресурс]: [сайт] URL:https://oovovstal.ru/spravka/holodnaya_prokatka_nerzhaveyushego_lista.html (дата звернення: 12.10.2019).
7. Вальцовка листового металла: особенности процесса.
[Электронный ресурс]: [сайт] URL:<https://tokarmaster.ru/sovety/valtsovka-listovogo-metalla-osobennosti-processa.html> (дата звернення: 12.10.2019).
8. Вальцовка листового металла. [Электронный ресурс]: [сайт] URL: <https://tokar.guru/metally/valcovka-listovogo-metalla-osobennosti-processa.html> (дата звернення: 15.10.2019).

9. Вальцовка металла. Вальцовка труб.

[Электронный ресурс]: [сайт] URL: <http://rmw.su/valcovka/> (дата звернення: 15.10.2019).

10. Волочение проволоки: технология и оборудование – волочильные станы и станки. [Электронный ресурс]: [сайт] URL:<http://metall.org/obrabotka/prochie/volochenie-provoloki-volochilnyj-stan.html> (дата звернення: 15.10.2019).

11. Волочение проволоки - все тонкости технологии. [Электронный ресурс]: [сайт] URL:<http://tutmet.ru/volochenie-mednoj-provoloki-filery-stanok-video.html> (дата звернення: 15.10.2019).

12. Бугров Ю.В., Процив Ю.В. Металловеденье и термомодеформационная обработка специальных сталей и сплавов: комплекс учебно-методических материалов / Ю.В. Бугров, Ю.В. Процив; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2011. 130 с.

13. ГОСТ 5632-72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки. Москва, 1972. 61 с.

14. Робертс В. Л. Холодная прокатка стали. Пер. с англ. М., «Металлургия», с ил. 544 с.

15. Настич В.П., Божков А.И. Управление качеством холоднокатанных полос. М.: Интермет Инжиниринг, 2006. 216 с.

16. Зингер С.Л., Чернявский К.С. Металлография железа. Том. 1. «Основы металлографии» (с атласом микрофотографий). Перев. с англ. Изд-во «Металлургия», 1972. 240 с.

17. Вашуль Х. Практическая металлография. Методы изготовления образцов, пер. с нем. /Х. Вашуль.Москва: Металлургия, 1988. 320 с.

18. Беккерт М. Способы металографического травления: справочник, пер. с нем. / М. Беккерт, Х. Клемм. Москва: Металлургия, 1988. 400 с.

19. Литовченко С.В. Описание металлографического микроскопа МИМ-8 / С.В. Литовченко, Е.А. Доценко. Харьков: Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, 2011. 20 с.

20. ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. Москва, 1982. 21 с.
21. Мощенок В.И. Новые методы определения твердости материалов: монография / В.И. Мощенок. Харьков: ХНАДУ, 2013. 323 с.
22. ДСТУ ISO 6508-1. Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом. Частина 1. Метод випробування (шкали А, В, С, D, Е, F, G, Н, К, N, Т) (ISO 6508-1:2005, IDT). Київ, України, 2014. 24 с.
23. ГОСТ 9013-59 Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. Москва, 1969. 9 с.
24. ASTM E18-03 Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials. United States, 2004. 22 p.
25. ГОСТ 2999-75 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу Москва, 1976. 31с.
26. Твердість і методи її вимірювання. Scritubescrlgroup. [Електронний ресурс]: [сайт] URL: <http://www.scritub.com/limba/ucraineana/21899.php> (дата звернення: 21.11.2019).
27. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. Москва, 1993. 35 с.
28. Лопатина Е.С., Ковалева А.А. Механические свойства металлов Пособие по лабораторным работам для студентов бакалаврского уровня высшего профессионального образования; Направление: 150100 – «Металлургия»; Красноярск 2008. 99 с.
29. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. Москва, 1960. 55 с.
30. ISO 6506-2. Metallic materials — Brinell hardness test – Part 2: Verification and calibration of testing machines. Switzerland, 2017. 8 p.
31. ISO 6507-1. Metallic materials Vickers hardness test Part 1: Test method. Switzerland, 2005. 22 p.
32. ГОСТ 9377-81 Наконечники и бойки алмазные к приборам для измерения твердости металлов и сплавов. Москва, 1981. 11 с.

33. ASTM E18-03 Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials. United States, 2004. 22 p.

34. Омельченко Б.Я., Левандовский С.А., Шекунов Е.В. Измерение микротвердости металла с помощью микротвердомера ПМТ-3М. Методические указания к выполнению лабораторной работы «Измерение микротвердости» для студентов специальностей 150106, 200503. Магнитогорск МГТУ, 2007. 24 с.

35. Аустенитные нержавеющие стали: структура и свойства. [Электронный ресурс]: [сайт] URL: <http://steel-guide.ru/klassifikaciya/nerzhaveyushhie-stali/austenitnye-nerzhaveyushhie-stali-struktura-i-svoystva.html> (дата звернения: 26.11.2019).

36. Твердость углеродистой стали. [Электронный ресурс]: [сайт] URL: <http://steelguide.ru/klassifikaciya/uglerodistye-stali/tverdost-uglerodistoj-stali.html> (дата звернения: 26.11.2019).