

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

МАТЕМАТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра прикладної фізики і наноматеріалів

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

**на тему: «РОЗРОБКА ТА ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІЧНОЇ
ЗАГОТОВКИ МЕТОДОМ ГАРЯЧОЇ ДЕФОРМАЦІЇ»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1058
спеціальності 105 прикладна фізика та наноматеріали
(шифр і назва спеціальності)
освітньої програми прикладна фізика

Я.Р. Цвірко

(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 декан інженерно-фізичного факультету НУ
«Запорізька політехніка», доцент, канд. техн.

наук Климів О.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

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)

Цвірку Яну Романовичу

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи Розробка та виготовлення біметалічної
заготовки методом гарячої деформації

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 16.12.2019

3. Вихідні дані до роботи 1. Постанова задачі.

2. Перелік літератури.

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

1. Літературний аналіз

2. Вибір матеріалів і основних методів досліджень

3. Дослідження фізико-механічних властивостей та макроструктури
сталей біметалів

4. Технологія промислового виготовлення біметалевих заготовок

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

Презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада	Підпис, дата
--------	------------------------------	--------------

	консультанта	завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 10.06.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка плану роботи.	10.06.2019	
2.	Збір вихідних даних.	22.06.2019	
3.	Обробка методичних та теоретичних джерел.	01.10.2018	
4.	Розробка першого та другого розділу.	04.11.2018	
5.	Розробка третього розділу.	02.11.2018	
6.	Оформлення та нормоконтроль кваліфікаційної роботи.	16.12.2019	
7.	Захист кваліфікаційної роботи.	14.01.2020	

Студент _____

Я.Р. Цвірко _____

Керівник роботи _____
(підпис)

В.Г. Міщенко _____
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____
(підпис)

Н.І. Тихонська _____
(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Розробка та виготовлення біметалічної заготовки методом гарячої деформації»: 68 стор., 14 рис., 8 табл., 54 джерел.

РЕТОРТА, ГУБЧАСТИЙ ТИТАН, БІМЕТАЛ, ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦІЯ, КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ, ПОВЗУЧИСТЬ, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ШОВ, ТВЕРДІСТЬ, ТЕРМІЧНИЙ ВПЛИВ, ЗОНА ГАЛЬМУВАННЯ, ЗОНА УСКЛАДНЕНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ, ЗОНА ІНТЕНСИВНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Об'єкт дослідження процесу створення із інструментальної сталі 10ХФТч та жароміцної сталі марки 12Х16Н13МБч після гарячої деформації.

Мета роботи – розробити двошаровий біметалічний матеріал, у якому внутрішня робоча частина повинна складатися з максимально чистого заліза та отримати сталь низьколеговану та низьковуглецеву методом гарячої деформації.

Методи дослідження - метод гарячої деформації, метод прокатування асиметричних пакетів, пресування, виміри твердості та мікротвердості.

Встановлено, що завдяки поєднанню інструментальної сталі 10ХФТч та жароміцної сталі марки 12Х16Н13МБч є можливість отримати реторту для виготовлення титану в якому вміст нікелю не перевищує 0,004% по масі титану.

Таким чином, жароміцні сплави, які використовуються для виготовлення титану і реакторів для виготовлення магнієтермічного губчастого титану мають бути особливо чистими з внутрішньої поверхні.

SUMMARY

Masters Qualifying Thesis "Development and Manufacturing of Bimetallic Billets by the Method of Hot Strain", 68 pages, 14 figures, 8 tables, 54 reference.

RETORT, TITANIUM SPONGE, BIMETAL, PLASTIC DEFORMATION, CORROSION RESISTANCE, CREEP, MICROHARDNESS, WELDING SEAM, HARDNESS, THERMAL STRESSES, BRAKING ZONE, COMPLICATED DEFORMATION AREA, INTENSIVE DEFORMATION AREA

Object of the study - samples of tool steel 10XΦTч and heat-resistant steel grade 12X16H13MБч after hot deformation.

The purpose of the work is to develop a two-layer bimetallic material, in which the inner working part must consist of the purest iron and obtain the steel low-alloy and low-carbon by hot deformation method.

Research methods - hot deformation method, asymmetric package method, extrusion, hardness and microhardness measurements.

It is established that due to the combination of 10XΦTч tool steel and 12X16H13MБч heat-resistant steel, it is possible to obtain a retort for the production of titanium in which the nickel content does not exceed 0.004% by weight of titanium.

Thus, the heat-resistant alloys used in the production of titanium and reactors for the production of magnethermic sponge titanium should be particularly pure.

ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу.....	2
Реферат.....	4
Summary.....	5
Вступ.....	8
1 Літературний огляд.....	9
1.1 Вибір технологій (методу) виготовлення біметалевої заготовки для реакторів магнітотермічного виробництва губчастого титану.....	9
1.2 Вибір хімічного складу сталі вісі шару біметалу.....	14
1.3 Вибір хімічного складу плакувального шару біметалу.....	17
1.4 Обґрунтування вибраного методу виготовлення двошарової листової заготовки.....	18
1.5 Зварюваність сталі.....	25
1.5.1 Зварювання вуглецевої сталі.....	26
1.5.2 Зварювання нержавіючої сталі.....	27
1.6 Деформівність сталі.....	27
1.7 Жароміцність, жаростійкість сталі основи.....	30
1.8 Корозійна стійкість сталі плакувального шару.....	32
2 Вибір матеріалів і основних методів досліджень.....	34
2.1 Матеріал досліджень, технологія впливу та металургійного переділу.....	35
2.2 Дослідження мікро- та макро- структури сталей основи та плакувального шару.....	36
2.3 Механічні властивості.....	41
3 Дослідження фізико-механічних властивостей та макроструктури сталей біметалів.....	47
3.1 Дослідження полів деформацій сталі основи біметалу після гарячої деформації.....	47

3.2 Дослідження полів деформацій сталі основи плакувального шару біметалу.....	52
4 Технологія промислового виготовлення біметалевих заготовок.....	54
4.1 Розміри біметалевих заготовок.....	54
Висновки.....	62
Перелік посилань.....	63

ВСТУП

В сучасному виробництві все частіше використовують композитні та багатошарові (біметали) матеріали для виготовлення відповідальних вузлів та деталей. Все частіше на виробництві застосовують інноваційні технології виготовлення деталей. Такі технології, які б враховували економічність та технологічність при виготовленні металів та сплавів. Найчастіше окремі метали і сплави не можуть забезпечити необхідний набір властивостей. На теперішній час широке застосування знайшли шаруваті металеві композиції, які являють собою з'єднання двох видів металів методами зварювання, литтям або прокаткою. При цьому досягаються покращенні властивості такого роду матеріалу.

У багатьох країнах далекого зарубіжжя використовується високочистий титан для виготовлення деталей двигунів. У зв'язку з цим виникла проблема отримання високочистого титану. З цією метою необхідно виготовляти реактори з біметалів і захищати їх металом, який би містив нікель в мізерних кількостях або зовсім не містив його. І цю проблему можна розв'язати шляхом створення у великих кількостях металу у вигляді слябів. Сляби зварюють, а потім пакетом розкатують їх в листи. Далі лист згортають згинальними вальцями, а потім знов зварюють.

На сьогоднішній день сучасне металознавство має йти на зустріч підвищеним вимогам до чистоти губчастого титану з позиції забруднення його нікелем [1]. У зв'язку з цим, жароміцні сплави, які використовуються для виготовлення титану і для виготовлення реакторів магнієтермічного губчастого титану мають бути особливо чистими. Але нікель є основним легувальним елементом, який підвищує жароміцність та жаростійкість сплавів. Тому на сьогоднішній день бажано зробити біметалеву заготовку, яка б з одного боку, з внутрішньої сторони була плакована хромо-нікелевою сталлю, або низковуглецевою легованою сталлю, а для зовнішнього шару застосовувалася високолегована нікелева сталь з підвищеною жароміцністю та жаростійкістю.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Вибір технологій (методу) виготовлення біметалевої заготовки для реакторів магнітотермічного виробництва губчастого титану

Сучасне виробництво титану прагне до того, щоб отримувати високоякісний титан з найменшим вмістом губчастого титану.

Титан це хімічний елемент з атомним номером 22, належить до четвертої групи періодичної таблиці хімічних елементів, знаходиться в четвертому періоді таблиці. Атомна маса елемента 47,867 а.о.м. Позначається символом Ti. Проста речовина титан – легкий міцний метал сріблясто-білого кольору. Має високу корозійну стійкість. Титан поєднує в собі легкість, міцність, низький коефіцієнт теплового розширення, можливість роботи в широкому діапазоні температур [5].

Губчастий титан або титанова губка [titanium sponge] — сировина для виготовлення металічного титану, яку отримують магніетермічним (СНД, США, Японія, Китай) і частково натріетермічним (США, Велика Британія) відновленням тетрахлориду титану $TiCl_4$ при високих температурах, являє спеєнні досконалі та недосконалі дендритовідні утворення, які пронизані великою кількістю пор.

Існує шість марок губчастого титану: ТГ–90, ТГ–100, ТГ–110, ТГ–120, ТГ–130, ТГ–140, ТГ–150, ТГ– Тв (див. табл. 1.1), де ТГ – титан губчастий; Тв – твердий; букви означають – титан губчастий, цифри – значення твердісті по Брінеллю [2].

Титан – губка легка, міцна, корозійно стійка у багатьох агресивних середовищах і в морській воді, має високу температуру плавління, тому являє собою практично універсальний конструкційний матеріал для роботи в екстремальних умовах [3]. Губка використовується також для отримання сплавів на основі титану, широко застосовується в авіакосмічній, хімічній промисловості, медицині та інших галузях.

Титан, який отримують магнієтермічним способом, є вихідним матеріалом для титанових сплавів.

Таблиця 1.1. – Марки губчастого титану, де ТГ – титан губчастий; Тв – твердий; букви означають – титан губчастий, цифри – значення твердості по Брінеллю [2]

Марка	Хімічний склад титану губчастого								Твердість по Брінеллю, НВ, 10/1500/30
	Ті, %	Масова частка домішок, %							
		Fe	Si	Ni	C	Cl	N	O	
ТГ-90	99,74	0,05	0,01	0,04	0,02	0,08	0,02	0,04	90
ТГ-100	99,72	0,06	0,01	0,04	0,03	0,08	0,02	0,04	100
ТГ-110	99,67	0,09	0,02	0,04	0,03	0,08	0,02	0,05	110
ТГ-120	99,64	0,11	0,02	0,04	0,03	0,08	0,02	0,06	120
ТГ-130	99,56	0,13	0,03	0,04	0,03	0,10	0,03	0,08	130
ТГ-150	99,45	0,2	0,03	0,04	0,03	0,12	0,03	0,10	150
ТГ-Тв	97,75	1,9	-	-	0,10	0,15	0,10	-	-

Титан губчастий є вихідним матеріалом для виробництва напівфабрикатів з титану і його сплавів. Титан губчастий використовується, як каталізатор в процесах хімічного синтезу, як легуючий домішок у виробництві феросплавів і сталей.

Губчастий титан містить в залежності від марки від 0,2 до 0,5% суми домішок, є полупродуктом і призначений для переплавки в злитки.

Метод випробування на твердість був запропонований у 1900 році шведським інженером Юханом Брінеллем.

Цей метод являє собою спосіб визначення твердості матеріалів на спеціальному приладі, коли загартована, полірована сталева кулька (індентор) діаметром 10; 5 або 2,5 мм вдавлюється в досліджуваний зразок під дією заданого навантаження протягом 10—30 секунд.

При випробуванні спочатку дається невелике попереднє навантаження щоб встановити початкове положення індентора на зразку [4].

Потім додається основне навантаження і зразок витримують під дією цього навантаження протягом 10-30с.

Таким чином вимірюється глибина вдавлювання, після чого основне навантаження знімається.

При визначенні твердості за методом Брінелля виміри проводять до пружного відновлення матеріалу. Індентор вдавлюють в поверхню зразка, який випробують, завтовшки не менше 4 мм з регламентованим зусиллям.

Найпоширеніші діаметри кульки — 10, 5, 2,5 та 1 мм відповідно до навантажень у 187,5 кгс, 250 кгс, 500 кгс, 1 000 кгс та 3 000 кгс. Для вибору діаметра кульки користуються таким правилом: діаметр відбитку повинен лежати в межах 0,2-0,7 діаметра кульки. Твердість за шкалою Брінелля виражається в кгс/мм² [6,7].

Для визначення твердості по методу Брінелля використовують твердоміри, як автоматичні, так і ручні.

Береться губка з блоку і переплавляється в маленький брикет і стає блашечкою. Ця блашечка шліфується з двох сторін і методом Брінелля сталева кулька діаметром 10 мм під зусиллям 14715Н і тривалістю витримки 30с вдавлюється в продукт. Відбитків робимо велику кількість. На тому участку, де твердість 90 і менше, твердість стає ТГ-90.

Після твердості 90 існують ТГ-100, ТГ-110, ТГ-120, ТГ-130, ТГ-140, ТГ-150. Далі йде ТГ- Тв – це означає, що титан губчастий твердий, тобто твердість з 90 до 150. Досягнувши цієї твердості далі твердість не регламентується, тому що містить дуже багато домішок таких як, наприклад, хлор, кисень та інші [6,7].

Для того щоб весь час отримувати ТГ-90 потрібно, щоб вміст нікелю в сплаві титану знизити з 0,04% до 0,004% або зовсім позбутися його. Зарубіжні партнери використовують по нікелю високочистий титан ТГ-90 для відповідальних вузлів ракетного двигуна.

З цією метою необхідно виготовляти реактори з біметалів і захищати металом, який ні грама не містить нікелю. І цю проблему можна вирішити шляхом отримання потрібної кількості слябів, які в подальшому зварюються між собою, а потім пакетом розкатуються в листи. Ці листи загортаються гибочними вальцями, а потім зварюються.

Пристрій для отримання губчастого титану включає апарат відновлення, що складається з реторти із зливним пристроєм, герметичної кришки, на якій розміщені патрубки для подачі тетрахлориду титану, аргону, патрубків для заливки магнію, на якому встановлено компенсуючий пристрій, вакуум-ківш, забезпечений штуцером для подачі аргону, зливною трубою і встановлений на компенсуючому пристрої. При цьому пристрій виконано у вигляді сильфона і пружини, всередині яких співвісно розміщена труба, що проходить через сильфон і встановлена знизу в патрубок для заливки магнію. До труби жорстко приєднаний фланець, який впирається на пружину, у верхній частині труба виконана з конусом, в якому встановлена зливна труба вакуум-ковша, а патрубок для подачі аргону в апарат з'єднаний зі штуцером для подачі аргону в вакуум-ківш. Це дозволяє поліпшити якість губчастого титану.

Таблиця 1.2 – Нормативні посилання на стандарти титану губчастого [6,7]

Номер ГОСТ	Титан губчастий	Метод визначення
1	2	3
9853.1 - 96	титан губчастий	азоту
9853.2 - 96	титан губчастий	заліза
9853.3 - 96	титан губчастий	вуглецю
9853.4 - 96	титан губчастий	хлору
9853.5 - 96	титан губчастий	кисню
9853.7 - 96	титан губчастий	алюмінію
9853.9 - 96	титан губчастий	кремнію
9853.10 - 96	титан губчастий	ніобію і танталу
9853.11 - 96	титан губчастий	міді
9853.12 - 96	титан губчастий	цирконію
9853.13 - 96	титан губчастий	олова

1	2	3
9853.14 - 96	титан губчастий	магнію
9853.15 - 96	титан губчастий	молібдену
9853.16 - 96	титан губчастий	вольфраму
9853.17 - 96	титан губчастий	паладію
9853.18 - 96	титан губчастий	марганцю
9853.19 - 96	титан губчастий	хрому
9853.20 - 96	титан губчастий	ванадію
9853.21 - 96	титан губчастий	водню
9853.22 - 96	титан губчастий	нікелю
9853.23 - 96	титан губчастий	спектральний метод визначення кремнію, заліза, нікелю
9853.24 - 96	титан губчастий	спектральний метод визначення ванадію, марганцю, хрому, міді, цирконію, алюмінію, молібдену, олова, магнію і вольфраму
23780 - 96	титан губчастий	методи відбору та підготовки проб
23782 - 96	титан губчастий	метод визначення фракційного складу
30311 - 96	титан губчастий	метод визначення твердості по Брінеллю

Пристрій для магнієтермічного отримання губчастого титану працює наступним чином. Змонтований апарат відновлення 5 встановлюють в шахтну електропіч 1. Через штуцер 10 апарат 5 вакуумують, через штуцер 11 в апарат задають аргон [8].

Електропіч 1 нагрівають до 800°C і через патрубок 8 в апарат 5 заливають розплавлений магній в кількості 11 т. Після чого патрубок 8 заглушають. Магній прогрівають до 800°C і через патрубок 9 в апарат 5 подають тетрахлорид титану. Взаємодія тетрахлориду титану з магнієм відбувається з виділенням великої кількості тепла [9].

Температура в зоні реакції піднімається до 1100°C . Щоб не пропалити стінку апарату 5 її в період проведення процесу періодично охолоджують повітрям, який на початку процесу подають через верхній ряд каналів 2, а в

другій половині процесів подають через нижній ряд каналів 2, так як рівень реакції знижується. В обох випадках гаряче повітря виходить через канали 3 (див. рис. 1.1) [10].

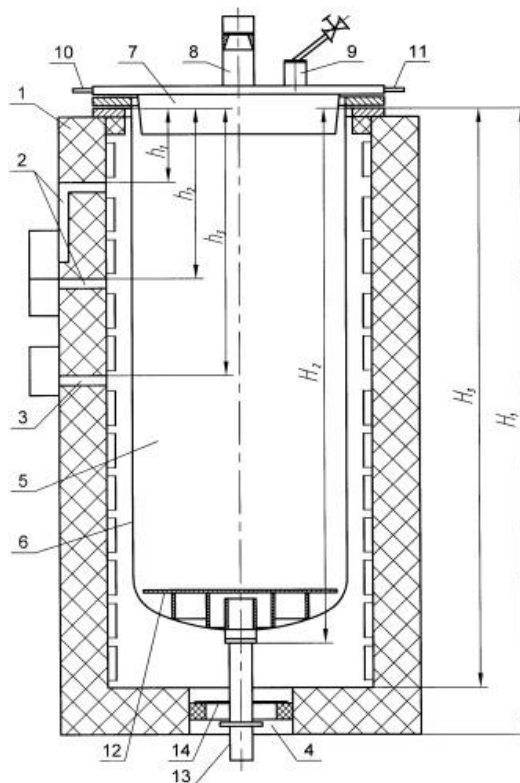


Рисунок 1.1 – Пристрій для магнієтермічного отримання губчастого титану [10]

1.2 Вибір хімічного складу сталі вісі шару біметалу

Основною продукцією чорної металургії є сталь, причому приблизно 90% виплавляється вуглецевої сталі та 10% легованої. Сталь залишається основним матеріалом у всіх галузях виробництва [11].

Вуглецева сталь – складний за хімічним складом сплав. Крім основного компонента – заліза, зміст якого може коливатися в межах 97,0–99,5%, і вуглецю в ній є багато елементів, наявність яких обумовлено технологічними особливостями виробництва (Mn, Si), або неможливістю повного видалення їх з металу (S, P, O, N, H), а також випадковими домішками (Cr, Ni, Cu і ін.).

В умовах досліджу користуємося двома сплавами сталей з маркою інструментальної сталі 10ХФТч та жароміцною сталлю марки 12Х16Н13МБч.

В сталі 10ХФТч дві цифри, які стоять на самому початку марки легованої сталі, а саме 10 означає, що це конструкційна сталь та в середньому в сплаві міститься 0,10% вуглецю, а інші домішки незначні. Маркування Х – наявність хрому, вміст складає до 0,15%. Наявність хрому (Cr) в сплаві підвищує твердість і міцність, незначно зменшує пластичність, збільшує корозійну стійкість. Вміст великих кількостей хрому робить сталь нержавіючою та забезпечує стійкість магнітних сил.

Наступне маркування Ф – ванадій (V) в кількості 1% підвищує твердість і міцність, подрібнює зерно, збільшує щільність стали, так як є хорошим розкислювачем [12].

Далі Т – титан (Ti) без будь-яких цифр. Це означає, що вміст елемента занадто малий. Як правило, близько 1% (іноді – до 1,5%).

Виходить, в даній марці легованої сталі кількість титану не перевищує 1,5%. Титан застосовується для підвищення жароміцності, підвищує міцність і щільність сталі, сприяє подрібненню зерна, є гарним розкислювачем, покращує оброблюваність і опір корозії.

Маркування ч, повідомляє, що в складі сплаву є рідкоземельні метали, такі як: церій, лантан, неодим і інші.

Сталь марки 12Х16Н13МБч містить 0,12% вуглецю, хрому – 16%, нікель – 13%, М – молібден вміст 0,2–0,3 %, один з небагатьох легуючих елементів, здатних одночасно підвищити міцність, в'язкі властивості сталі і корозійну стійкість. Зазвичай при легуванні одночасно зі збільшенням твердості зростає і крихкість металу.

Маркування Б – Ніобій (Nb) покращує кислотостійкість і сприяє зменшенню корозії в зварних конструкціях, вміст в сплаві 1%.

Маркування ч, повідомляє, що в складі сплаву є рідкоземельні метали, такі як: церій, лантан, неодим і інші.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад досліджуваних сталей [12]

Марка сталі	Вміст легувальних елементів в % мас.										
	C	C _r	S _i	M _n	N _i	W	M _o	V	S	P	F _e
10ХФТч	0,10	1,0	0,15-0,35	0,60	0,40	0,8-1,0	-	1,0	0,03	0,80-1,00	Основні
08Х18Н10Т	0,08	18,0	0,15-0,35	2,00	9,00-10,00	-	-	-	0,02	0,03-5	Основні
12Х16Н13МБч	0,12	16,0	0,80	2,00	13,00	-	0,2-0,3	-	0,02	0,03-0	Основний
AISI 304 (США)	0,08	18,0-20,0	-	2,00	8-10,5	0,8-1,0	-	-	0,03	0,04-5	Основні
AISI 321 (США)	0,08	17,0-19,0	1,0	2,00	9,0-12,0	-	-	-	0,03	0,045	Основні

Таблиця 1.4 – Механічні властивості досліджуваних сталей [12]

Марка сталі	$\sigma_{в}$, МПа	σ_{02} , МПа	δ , %	НВ
10ХФТч	330	205	31	75
08Х18Н10Т	505	215	70	123
12Х16Н13МБч	510	196	35	90
AISI 304 (США)	505	215	70	123
AISI 321 (США)	510	196	35	90

Розглянуті в роботі сплави сталей з маркою інструментальної сталі 10ХФТч та жароміцною сталлю марки 12Х16Н13МБч необхідні для виконання поставленої задачі, а саме розробити двошаровий біметалічний матеріал, у якому внутрішня робоча частина повинна складатися з максимально чистого заліза, або отримати сталь низколіговану та низьковуглецеву.

Для цього необхідно обрати таку сталь, яка б добре зварювалася.

1.3 Вибір хімічного складу сталі плакувального шару біметалу

Плавка металів і сплавів характеризується складними фізико-хімічними процесами, які протікають при високих температурах. У нашому дослідженні температура складає від 800°C до 850°C . Процес плавки складається з фізичних перетворень вихідних матеріалів і хімічних реакцій, в яких беруть участь складові сплаву сталі 10ХФТБч та сталі 12Х16Н13МБч.

При з'єднанні феритної сталі 12Х16Н13МБч з аустенітною сталлю 10ХФТБч утворюється мартенсит сталь 11Х8Н7МБч. Ці марки сталі не можна використовувати тільки при високих температурах. Їх температурна межа не перевищує 200°C , коли зчеплення ще достатньо. Якщо ці сталі нагрівати до температури 850°C , то починається відновлювальний процес [13]. Тобто, в сплав сталі проникають неметалеві частки H_2 , CO , C . Ці елементи сприяють викненню напруги в сталях, а також утворенню закалочної структури.

В місті з'єднання двох сталей отримуємо місце зварки з такими характеристиками: 11Х8Н7МФТБч. Де вуглецю 0,11%; хрому 8%; нікелю 7%; молібдену 1%; ванадію 1%; титану 1%; ніобію 1% та інші домішки.

Основними технологічними прийомами отримання необхідних виділень надлишкових фаз в плакуючому шарі биметаллу є забезпечення певного хімічного складу сталі плакуючого шару. В першу чергу повинно бути забезпечено оптимальний вміст вуглецю, хрому, вольфраму і ванадію - елементів, які входять до складу виділень карбідів, присутність яких в сталі плакуючого шару готового виробу з біметалу є обов'язковою умовою

забезпечення найбільш високих показників твердості, міцності, зносостійкості. Це досягається при вмісті в сталі вуглецю на рівні 1,0%, вольфраму - на рівні 0,1%, ванадію до 0,04% і хрому на рівні 1,5%. Межі варіювання хімічного складу сталі плакуючого шару можуть бути забезпечені за рахунок додаткового легування в процесі наплавлення.

1.4 Обґрунтування вибраного методу виготовлення двошарової листової заготовки

Правильний та вдалий вибір заготовок безпосередньо впливає на можливість побудови раціонального технологічного процесу виготовлення деталей, сприяє зниженню питомої металоємності і зменшенню відходів [14].

Найбільш поширені способи отримання заготовок можуть бути реалізовані різними способами, вибір яких вимагає техніко-економічного обґрунтування.

Відцентровий метод лиття використовується при отриманні виливків, які мають форму тіл обертання. Подібні виливки відливають з чавуну, сталі, бронзи і алюмінію. Розплав заливають у металеву форму, яка швидко обертається [14].

Суть лиття полягає в тому, що розплав заливають у форму, яка обертається. Під дією відцентрової сили форма заповнюється розплавом, з якого видаляються різноманітні неметалеві включення (бульбашки, повітря, шлак тощо), котрі зосереджуються біля внутрішньої поверхні виливка і потім видаляються при обробці різанням.

Форма може обертатися навколо вертикальної, горизонтальної, похилої вісі. Вісь обертання вибирають залежно від співвідношення висоти і діаметра виливка. Деталі, які мають висоту в декілька разів більшу за діаметр (втулки, гільзи, труби тощо), отримують на машинах з горизонтальною віссю обертання (рис. 1.2, б). Виливки більшого діаметра і малої висоти одержують на машинах з вертикальною віссю обертання (рис. 1.2, а).

Відцентровий спосіб лиття застосовують також для виготовлення фасонних виливків, коли рідкотекучість сплаву невисока.

В цьому випадку метал, який заливається в центральний ливник, при обертанні відкидається в периферійній зоні форми, які з'єднуються з центральним ливником живильниками (рис. 1.2, в).

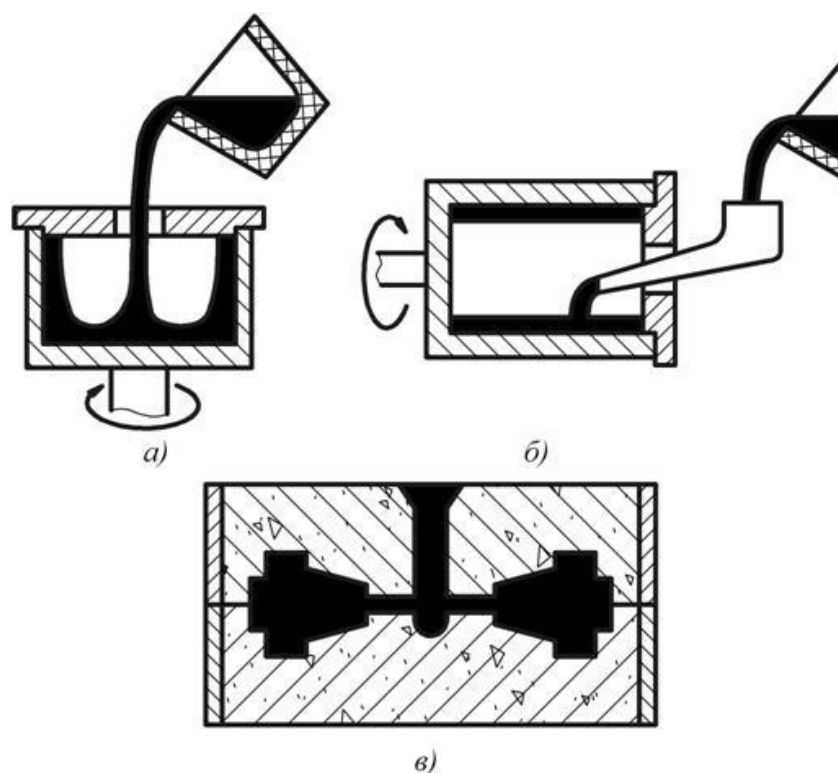


Рисунок 1.2 – Відцентрові установки: а) вертикальна вісь; б) горизонтальна вісь; в) вісь зворотнього обертання [15]

Відцентровий спосіб лиття має такі переваги: одержувані виливки не мають усадкових раковин, виливки не засмічені шлаком, оксидами і іншими неметалевими домішками; висока продуктивність праці; відсутність стержнів і робіт, пов'язаних з їх виготовленням.

Відцентрове лиття, виконують у чавунних або сталевих формах: лиття без облицювання, лиття з облицюванням, лиття футерованих формовою сумішшю, лиття футерованих сухим піском, лиття фосфоритною мукою.

Відцентрове лиття недоліки:

- важко виготовити виливки із сплавів, які схильні до ліквідації;
- неточність діаметра порожнини виливка;
- забруднення вільної внутрішньої поверхні виливків ліквідами та неметалевими включеннями;
- для виготовлення виливків потрібні спеціальні машини;
- ливарні форми дорогі, форми повинні мати високу міцність і герметичність у зв'язку з підвищеним тиском металу.

Прокатка методом асиметричних пакетів. Асиметричним процесом прокатки називається такий процес, при якому відсутня повна симетрія відносно горизонтальної площини, тобто різні діаметри робочих валків, різний стан їх поверхні, або один з валків є неприводним, можливі також варіанти, при яких валки мають різну швидкість та інше.

Цей метод прокатки дозволяє керувати формою розкату, знизити силу прокатки, отримати більш високі механічні властивості. Що в свою чергу призводить до зниження собівартості прокатної продукції [16].

Найважливішими якостями даного виду обробки вдосконалення прокатного виробництва являється можливість його впровадження на сучасних агрегатах без їх повної реконструкції.

Для прокатки листів великої товщини застосовуються несиметричні пакети з кришкою, виготовленою з тієї ж сталі, що і основний шар. Вихідна товщина кришки вибирається з таким розрахунком, щоб після прокатки пакета вона становила 8 – 10 мм. При складанні несиметричного плакуючого пакету пластина якою плакують укладається на кришку розділовим шаром всередину, притискається струбцинами і приварюється по периметру суцільним швом ручної зварки в середовищі вуглекислого газу.

Внутрішню поверхню кришки готують аналогічно поверхні заготовок основного шару.

Перетин планок для рамки в несиметричному пакеті прямокутне. Для обварки пакета між кромками рамки і згину (кришки) залишають полку шириною 25 – 30 мм. При зварці пакета паз, який утворений кришкою, рамкою

і заготівлею основного шару, повністю заплавляються, для чого проводиться понад 10 проходів зварювальною голівкою автомата.

Для прокатки особливо товстих листів проводять попереднє плакування листів із нержавіючої сталі шаром вуглецевої сталі. З цією метою збирають чотирьохшарові симетричні пакети товщиною близько 350 мм, в яких співвідношення шарів вуглецевої і нержавіючої сталі складає 1:1. Такий пакет прокочують з п'яти – семикратною сумарною витяжкою [29]. Отримані після прокатки двошарові листи, товщиною близько 24 мм (12 мм – нержавіюча сталь, 12 мм – вуглецева), закладають в несиметричний пакет, який прокочують з сумарною витяжкою, яка дорівнює 3,5 – 4,0 мм. При цьому виходять якісні двошарові листи товщиною 80 – 120 мм.

З інших комбінованих способів одержання особливо товстих плакованих листів з високим опором зрізу між основним і плакуючим шарами слід зазначити наступний. Сляб корозійно тривкої сталі товщиною 95 – 100 мм плакують шаром низьковуглецевої сталі, що містить титан, способом зварювання вибухом. Товщина пластини яка приварюється становить 4 – 6 мм. Отримані після прокатки такого сляба листи товщиною 45 мм (шар низьковуглецевої сталі складає близько 1 мм) після шліфування укладаються в несиметричний пакет і піддаються прокатці на задану товщину.

Підготовлені пакети нагріваються і прокочуються до заданих товщин. Біметалічні пакети зазвичай нагріваються в печах, призначених для нагріву під прокатку монометалевих злитків або заготовок, наприклад, в камерних печах з висувним подом.

В цілях підвищення якості продукції, що випускається для нагріву пакетів перед прокаткою доцільно встановлювати кілька нагрівальних пристроїв або агрегатів, що дозволяють здійснювати підігрів пакетів перед зварюванням, після зварювання і перед прокаткою [17].

Величина обтиску на початку деформації пакетів для листів товщиною 6 – 20 мм не перевищує 15%, а пакетів для товстих листів (понад 24 мм) – 8%.

Недоліками такого методу є необхідність дуже великого обсягу спочатку фізичних, а потім й чисельних експериментів

Метод горячої деформації [14]. У практичній діяльності термін «металевий» використовується для характеристики цілком певних предметів (злиток, прокат або інший виріб), тобто застосуються при розгляді масового скупчення атомів, об'єднаних металевим зв'язком.

Груповий комплекс атомів металу в твердому стані має кристалічну будову з закономірним розташуванням атомів в трьох вимірах, тобто складові метал атоми розташовуються в певному порядку відносно один до одного [18].

Розташування атомів в кристалі зображують у вигляді просторових схем – елементарних кристалічних осередків. Елементарна комірка – це найменша кількість атомів, яке при багаторазовому повторенні в просторі утворює кристалічну ґратку.

Кожному металу при певних температурі і тиску властиво характерну будову кристалічної ґратки (див. рис. 1.3, а; 1.3, б; 1.3,в).

Об'ємно-центровану кубічну ґратку мають хром, молібден, вольфрам, тантал, літій, α -залізо. Гранецентрированну ґратку мають алюміній, γ -залізо, нікель, свинець, мідь, срібло, золото, платина. Гексагональну щільно упаковану ґратку мають цинк, магній, титан, берилій. Всі властивості кристалів визначаються взаємодією атомів між собою. Але так як відстані в кристалі між атомами і їх взаємне розташування в різних кристалографічних напрямках різні, то і властивості його в різних напрямках будуть неоднакові. Відмінність властивостей за різними напрямками називають анізотропією.

Анізотропія є характерною особливістю кристалічної будови і найбільш різко виражена в монокристалі.

Однак реальні метали і сплави - полікристали, які складаються з великої кількості по-різному орієнтованих зерен. При безладному, випадковому розташуванні зерен в металі його механічні та інші властивості в усіх напрямках однакові і визначаються деякими середніми значеннями.

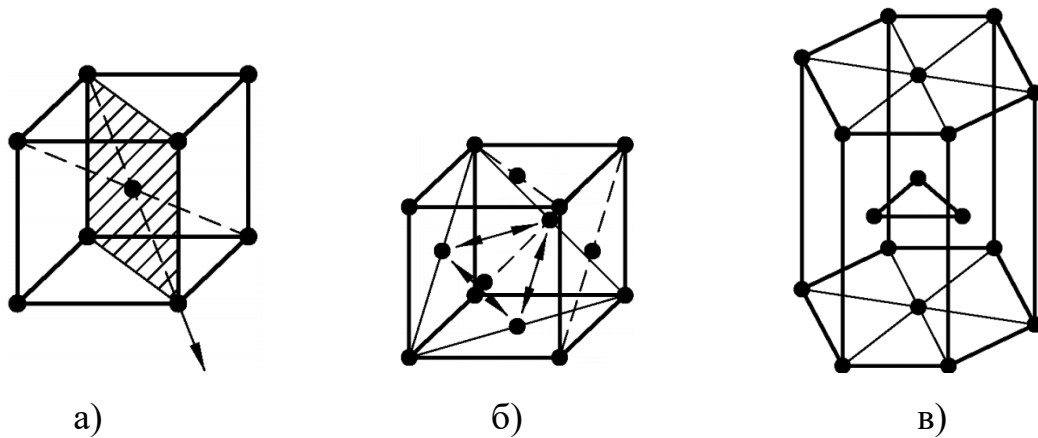


Рисунок 1.3 – Види ґраток: а) Об'ємно-центрована кубічна (ОЦК) ґратка; б) Гранецентрована (ГЦК) ґратка; в) Гексагональна щільно упакована (ГЩУ) ґратка [19].

При деформації металів підвищується щільність дефектів кристалічної будови. З підвищенням ступеня деформації границі міцності й текучості, а також твердість зростають, а пластичність зменшується, зростають залишкові напруження. Зміцнення металів при пластичній деформації називається наклепом. При зміцненні метал переходить до термодинамічного несталого стану, рівень внутрішньої енергії підвищується, тому він намагається самочинно перейти до більш сталого стану. При нагріванні зміцненого металу до температури, що становить $0,2 \dots 0,3$ від температури плавлення $T_{пл}$, частково зменшуються спотворення кристалічної ґратки та внутрішні напруження без істотної зміни мікроструктури та властивостей деформованого металу.

При нагріванні деформованих металів вище ніж $0,4 T_{пл}$ утворюються нові рівноважні зерна, і властивості металу відновлюються до значень перед деформацією. Такий процес утворення нових центрів кристалізації та нових рівноважних зерен у деформованому металі, який супроводжується зменшенням міцності, зростанням пластичності, називається рекристалізацією.

Розмір зерна після рекристалізації залежить від швидкості протікання деформації, від температури та тривалості нагрівання.

При обробці металів тиском одним із видів деформації є гаряча деформація.

Гаряча деформація металів виконується при температурах і швидкостях, при яких кристалізація ($T = 0.7 T_{пл}$) в повній мірі завершується під час процесу або після нього [28]. Розрізняють рекристалізацію: первинну – формування зародків нових зерен; збиральну – вибіркового ріст нових зерен; вторинну – інтенсивний нерівномірний ріст зерен.

При гарячій обробці деформовані зерна металу внаслідок швидкоплинних процесів рекристалізації майже миттєво набувають знову рівноважну форму і матеріал зберігає високу пластичність і невисоку твердість протягом всього процесу деформації.

Пластичну деформацію металів називають гарячою, якщо вона здійснюється при температурі, яка дорівнює або вище температури початку рекристалізації. Рекристалізація ($T_{рекр} = 0,4 \times T_{пл}$), тобто процес зростання нових недеформованих зерен, що викликає відновлення всіх первинних фізико-механічних характеристик металу, встигає пройти повністю, спотворення кристалічної ґратки відсутні.

При пластичній деформації металу вище температури початку рекристалізації протікають одночасно процеси зміцнення і динамічного знеміцнення металу. Наклеп виникає миттєво і визначається ступенем деформації.

Основними механізмами пластичної деформації є ковзання, відносно переміщення самих зерен. У процесі пластичної деформації металів і сплавів відбувається їх деформаційне зміцнення, або підвищення опору деформації, яке спостерігається як загасання руху дислокацій і їх взаємодією, і продовження деформації можливо лише при збільшенні прикладеної напруги

Структурні зміни при нагріванні металу відбуваються в певній послідовності: статичні повернення, полігонізації і рекристалізація. При нагріванні гарячедеформованого металу структурні зміни визначаються

температурою попередньої гарячої деформації. Якщо температура нагріву перевищує цю температуру, то в металі починається статична рекристалізація.

Статична рекристалізація в металі при нагріванні проходить по такими етапами: первинна рекристалізація, збірна рекристалізація і вторинна рекристалізація. Всі ці процеси є багатостадійними, супроводжуються зменшенням вільної енергії. Після нагріву заготовок і витримки при заданій температурі метал отрапляє в умови, при яких в ньому одночасно проходять процеси деформаційного зміцнення і динамічного знеміцнення. Зміцнення викликається збільшенням щільності дислокацій під впливом зовнішніх сил, взаємодією дислокацій між собою і іншими видами зміцнення.

Для більшості металів динамічне повернення і полігонізація проходять до початку динамічної рекристалізації або разом. Інтенсивність розвитку процесів динамічного повернення і полігонізації залежать від здатності дислокацій покинути свою площину ковзання, оскільки в основі цих процесів лежить їх переповзання і поперечне ковзання.

Чим вище температура деформації, тим менше коефіцієнт деформаційного зміцнення і коротша ділянка гарячого наклепу, швидше відбувається вихід опору деформації на сталу стадію течії. Наявність стадії після ділянки деформаційного зміцнення вважається ознакою проходження у металі динамічного повернення (полігонізації). При деформації утворюється осередкова структура. Ступінь деформації, при якій починає формуватися осередкова структура, тим менша, чим вище температура і менша швидкість деформації.

1.5 Зварювальність сталі

Зварюваністю називається здатність металів утворювати при встановленій технології зварювання зварне з'єднання. При цьому метал шва мав би механічні властивості, східні з основним металом.

Таблиця 1.5 - Зварюваність конструкційних вуглецевих сталей [5]

Добре зварюються	Ст1; Ст2; Ст3; Ст4	Сталь 08; 10; 15; 20; 25
Задовільно зварюються	Ст5	Сталь 30; 35
Обмежено зварюються	Ст6	Сталь 40; 45
Погано зварюються		Сталь 50; 55; 60; 70; 75 80; 85

1.5.1 Зварювання вуглецевої сталі

До вуглецевої сталі відносяться ті види сталей, до складу яких входить вуглець в процентному вмісті від 0,25 до 0,45%. При цьому сталь може бути середньо- і низьковуглецевою – в залежності від вуглецю в складі [20].

Різний вміст вуглецю змінює зварюваність сталі. Саме цей факт і обумовлює використання різних видів сталей.

Підвищений вміст вуглецю знижує зварюваність, що пов'язано з передумовами до утворення тріщин і гартівних структур, зниженню стійкості до кристалізаційних тріщин і труднощами в забезпеченні міцності зварного шва, порівняно до міцності самого металу.

Для отримання такого шва потрібне попереднє або супутнє підігрівання. В процесі зварювання середньовуглецевої сталі підігрівання може бути до 300 градусів за Цельсієм. Це запобіжить виникненню гартівних структур в області шва. В той же час у такої технології існують недоліки:

- велике нагрівання призводить до тріщин, причиною яких є наявність вуглецю в металі;

- гартівні структури знижують міцність металу.

Для зменшення складу металу в зварному шві використовують дугове зварювання з обробленням на кромках. Це мінімально сплаває основний метал, досягаючи одночасно високого коефіцієнта шва.

При зварюванні краще всього включати постійний струм, забезпечивши пряму полярність.

Для однакової міцності зварного шва слід заздалегідь провести легування стали кремнієм і марганцем. Велика в'язкість шва забезпечується нормалізацією.

Після зварювання сталь обробляється термообробкою для досягнення хорошої нормалізації і відпустки. Це дозволяє забезпечити однакову міцність усього виробу і зварного з'єднання.

1.5.2 Зварювання нержавіючої сталі

Технологія варіння нержавіючої сталі схожа із зварюванням інших типів сталі в першу чергу тим, що усі підготовчі роботи можуть виконуватися як з холодною, так і з гарячою обробкою.

Кромки виробів готуються тільки механічним способом. При цьому ділянки металу поблизу шва необхідно накривати захисними покриттями.

В процесі варіння можна застосовувати будь-яку технологію. Спосіб зварювання вибирається залежно від товщини матеріалу, його розмірів і форми виробів [21].

Якщо застосовується ручне зварювання, необхідно добитися необхідного хімічного складу зварного шва. Це вимагає корекції складу покриття, попереджає тріщини в шві і підвищує стійкість швів до корозії.

Слід також ретельно обирати електроди для зварювання. Наприклад, робота з простими вуглецьми повинна проводитися валиками невеликого перерізу. Використання електродів діаметром прутка 3мм підвищує стійкість до утворення тріщин.

1.6 Деформівність сталі

Деформівність сталі це такий процес зміни стану металу, коли він піддається обробленню, тобто відбуваються формозміни структури сталі в процесі оброблення тиском як в холодному так і в гарячому стані. Якщо метал має високі показники до деформівнівсті, то цю властивість враховують при вальцюванні, куванні, волочинні, штампуванні та інших видах обробки матеріалів.

Відомо що при тривалій експлуатації різних деталей, в тому числі і виготовлених зі сталі, які піддаються навантаженню, деформуються [22]. Тобто змінюють свою форму й розміри, а іноді навіть руйнуються. Тому метал перевіряється на міцність, жорсткість і стійкість.

Міцністю називають здатність матеріалу деталей та конструкції чинити опір дії зовнішніх сил не руйнуючись. Випробування на міцність дають змогу визначити розміри й форму деталей, які витримують задане навантаження при найменших витратах матеріалу.

Жорсткість – це здатність тіла або конструкції протидіяти деформації. Випробування на жорсткість дозволяють визначити, що зміна форми й розмірів конструкцій і їхніх елементів не перевищать припустимих норм.

Здатність конструкції та її елементів зберігати початкову форму пружної рівноваги представляють собою стійкість. Всі методи визначення стійкості дозволяють запобігти можливості раптової втрати стійкості, тобто викривлення довгих або тонких деталей.

Для використання виробів зі сталі, металу тощо, та виготовлені з них деталі повинні цілком відповідати вимогам міцності, жорсткості й стійкості, тобто бути надійними та довговічними в експлуатації, потрібно надати їх елементам найраціональніші форми. Необхідно знати властивості матеріалів, з яких вони виготовлятимуться, визначити відповідні розміри залежно від навантаження.

Унаслідок деформації під дією зовнішніх сил усередині тіла виникають власні внутрішні сили пружності, які протидіють деформації, і намагаються повернути частинки тіла в їх початкове положення [22].

При багаторазовій дії змінних напружень відбувається руйнування металу, такий процес називають втомленістю металу. Виникають мікротріщини або навіть і тріщини що є результатом неоднорідності структури матеріалів, проявів наслідків механічної обробки й пошкоджень поверхні деталі (волосовини, раковини, газові та шлакові включення, подряпини тощо), а також результатом концентрації напружень. Здатність матеріалів протистояти

втомленості називають опором втомленості. Проведення роботи за напрямком вивчення опору матеріалів та питань втомленості має дуже велике значення.

Твердість за Роквеллом позначається HR та виражається в умовних одиницях. М'які матеріали (мідь, латунь, незагартована сталь) випробовуються сталевою кулькою під дією повного навантаження 980Н (100кг). Відлік показів твердості ведеться за червоною шкалою, і твердість у цьому випадку позначається HRB. Тверді матеріали (загартовані сталі) випробовуються алмазним конусом під навантаженням 1 470Н (150 кг). Відлік твердості ведеться за чорною шкалою. У цьому випадку число твердості позначається HRC. Для випробування дуже твердих матеріалів, з незначною товщиною, застосовується алмазний конус при навантаженні 588Н (60 кг). Відлік показань твердості ведеться за чорною шкалою, а твердість позначається HRA.

Випробування металевих матеріалів проводять на спеціальних пресах Роквелла. Метод Роквелла завдяки високій продуктивності, універсальності, простоті, невеликому розміру відбитка, який залишається на випробуваному матеріалі, набув великого поширення. Число твердості за Роквеллом можна наближено перевести в числа твердості за Брінеллем з допомогою спеціальної таблиці перекладу твердості [23].

Твердість за Віккерсом визначається втисненням у випробуваний матеріал алмазної піраміди з кутом між протилежними гранями, рівним 136° . Піраміда втискається у випробовуваний матеріал перпендикулярно до його поверхні. Твердість металів за Віккерсом позначається HV і визначається відношенням навантаження, що діє на алмазну пірамідку, до площі відбитка. Таким чином, твердість за Віккерсом виражається в тих же одиницях, що і твердість за Брінеллем. Поверхня відбитка має площу – середнє арифметичне обох діагоналей відбитка, мм, α - кут між протилежними гранями піраміди. Довжина діагоналі відбитка вимірюється за допомогою мікроскопа, змонтованого на самому приладі Віккерса. Величина навантаження на піраміду (5,10,20,30,50,100 або 120кг) вибирається залежн від товщини випробуваного матеріалу: чим тонший випробовуваний матеріал, тим навантаження береться

менше. Завдяки малим навантаженням втиснення метод Віккерса широко застосовується для визначення твердості тонких зразків і тонких поверхонь шарів металу після хіміко-термічної обробки. Важливо також і те, що, на відміну від методу Брінелля, методом Віккерса, внаслідок малої величини відбитка, можна визначити твердість дрібних деталей, не псуючи їх.

1.7 Жароміцність, жаростійкість сталі основи

Під жароміцністю розуміють здатність сплавів зберігати міцність за високих температур та опір металу повзучості.

Під жаростійкістю – здатність сплавів чинити опір впливу хімічних речовин та газового середовища за високих температур [24].

При високих температурах міжатомні зв'язки слабшають, тому метали при цих температурах руйнуються при нарузі. Руйнування відбувається в результаті повзучості. Повзучість - це деформація матеріалу в часі під дією постійної напруги. Вона розвивається при високих температурах (вище температури рекристалізації) і напругеннях, які перевищують межу текучості, шляхом чергування актів наклепу внаслідок пластичної деформації і рекристалізації. Одне, одним з основних факторів, що визначає жароміцність, є температура рекристалізації: чим вона вища, тим більшою жароміцністю володіє метал або сплав.

Сплавам, які призначені для короткострокової експлуатації при високих температурах, необхідно забезпечити високу межу повзучості. Оптимальною для цих умов є структура, яка забезпечує найбільшу міцність. Це структура твердого розчину і дисперсних частинок другої фази (карбідів, інтерметалідів), які виявляються бар'єром в переміщенні дислокацій і тому ускладнюють пластичну деформацію сплаву. При недовготривалій експлуатації коагуляція дисперсної фази не встигне відбутися і метал збереже високу міцність, тобто межу повзучості. Чим вище температура коагуляції дисперсних частинок, тим більшою жароміцністю буде володіти сплав.

Інші вимоги пред'являються до структури сплавів, призначених для тривалої експлуатації при високій температурі: це тривала міцність. Вона досягається, якщо сплав зберігає свою структуру при високих температурах протягом тривалого часу. Більш висока стабільність сплаву відзначається при однофазній структурі, що не зазнає фазових або структурних перетворень, які призводять до зниження жароміцності. Тому наявність другої фази щонайменше марно, тому що при тривалій експлуатації відбуватиметься коагуляція часток цієї фази.

Жароміцні сталі. Застосовують сталі перлітного, мартенситного та аустенітного класу.

Перлітні сталі – це низьковуглецеві сталі, леговані в невеликих кількостях (до 1%) хромом, молібденом і ванадієм. Сталі піддають нормалізації і подальшому стабілізуючому відпустку при температурі 600–750°C, отримуючи структуру пластинчастого сорбіту, що забезпечує високу тривалу міцність. Сталі застосовують для деталей, які працюють тривалий час (10 000–100 000 год) при температурах не вище 500–580°C.

Мартенситні сталі. До їх складу входять сильні карбідоутворюючі компоненти (Cr, W, V, Mo та ін.). Ці елементи підвищують температуру рекристалізації, а також утворюють складні карбіди, які забезпечують підвищення жароміцності. Зміцнююча обробка цих сталей полягає в загартуванні від високих температур (з метою розчинення карбідів в аустеніте) і подальшому відпустці (при температурі вищій, ніж температура експлуатації) на сорбіт або троостіт [24].

Мартенситні жароміцні сталі застосовуються для деталей і вузлів газових турбін і паросилових установок, робоча температура яких не перевищує 600°C.

Аустенітні сталі застосовують для деталей, що працюють при температурах до 850°C. Сталі на основі α -заліза (перлітні, мартенситні) для роботи при таких температурах непридатні, оскільки температура рекристалізації $Fe\alpha$ нижче, ніж $Fe\gamma$.

Аустенітна структура сталей досягається легуванням нікелем і марганцем - компонентами, які розширюють область існування аустеніту і знижують температуру до негативної. Крім того, такі сталі містять у великій кількості хром для забезпечення високої окислостійкості – опору металу окисленню при високих температурах. Додаткове легування молібденом, а також бором і рідкоземельними елементами дозволяє підвищити жароміцність і технологічні властивості.

1.8 Корозійна стійкість сталі плакувального шару

Корозійна стійкість – здатність матеріалу чинити опір корозійній дії середовища, що визначається швидкістю корозії в даних умовах.

Швидкість корозії – кількість металу, що перетворюється в продукти корозії з одиниці поверхні за одиницю часу [25].

Для оцінки швидкості корозії використовуються як якісні, так і кількісні характеристики. Зміна зовнішнього вигляду поверхні металу, зміна його мікроструктури є прикладами якісної оцінки швидкості корозії. Для кількісної оцінки можна використовувати:

- час, що минув до появи першого осередку корозії;
- число осередків корозії, що утворилися за певний проміжок часу;
- зменшення товщини матеріалу в одиницю часу;
- зміна маси металу, віднесена до одиниці поверхні за одиницю часу;
- об'єм газу, що виділився (або поглинувся) в ході корозії віднесений до одиниці поверхні за одиницю часу;
- густина електричного струму, що відповідає інтенсивності даного корозійного процесу;
- зміна якоїсь властивості за певний час корозії .

Корозією називають самовільне руйнування металів внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії з навколишнім середовищем. Під металами розуміють прості метали і їх сплави, а також металічні конструкції і вироби.

Середовище, у якому відбувається корозія, зветься корозійним, або агресивним, зазвичай це різноманітні рідини або газу.

В результаті взаємодії металу і корозійного середовища утворюються хімічні сполуки, які зветься продуктами корозії. Спроможність металу протистояти корозійному впливу корозійного середовища зветься корозійною стійкістю.

Основною причиною корозії металів є їх термодинамічна не стійкість, в наслідок чого вони знаходяться у природі у окисленому стані у вигляді руді мінералів(оксидів, гідроксидів, солей). При отриманні металів їх відновляють з руд. Корозія знов повертає метал у іонний стан – метал окислюється.

2 ВИБІР МАТЕРІАЛІВ І ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріали та методи досліджень вибрані на основі вивчених наукових робіт співробітників кафедри прикладної фізики і наноматеріалів Запорізького національного університету [26, 27] та літературних джерел [рис.2.1].



Рисунок 2.1 – Мікрошліф біметалевої заготовки 10ХФТч + 12Х16Н13МБч

Для роботи із біметалевою структурою (див. рис. 2.1) вибрали інструментальну сталь 10ХФТч та жароміцну сталь 12Х16Н13МБч, які повині добре зварюватися і при зварці в них утворюється мілке дисперсне зерно. В даній марці легованої сталі кількість титану не перевищує 0,15%. Титан застосовується для підвищення жароміцності, підвищує міцність і щільність сталі, сприяє подрібненню зерна, є гарним розкислювачем, покращує оброблюваність і опір корозії.

Застосування цього методу повинно надати біметалу наступних властивостей:

- міцність шва рівномірно розподілена по всей довжині зразка;
- шов не повинен мати різних тріщин, тобто відсутні зварні дефекти;

- електроди використовуються зі зниженим вмістом вуглецю та водню. Такі умови необхідні для зменшення негативного впливу на якість зварного шва;

- біметал наділяється такими якостями як міцність та жорсткість.

2.1 Матеріали досліджень, технологія виплаву та металургійного переділу

Значна кількість виконаних та викладених в загальний доступ наукових робіт, які так чи інакше присвячені вибору матеріалу, не дали позитивного результату, а саме, істотного підвищення терміну служби високопродуктивних реакторів. Автори цих робіт не враховували повною мірою негативного впливу деформації і пов'язаного з цим руйнування у момент стоншування стінок реакторів при дії інших компонентів сплавів.

В роботі розглянуто сплави з маркою інструментальної сталі 10ХФТч та жароміцною сталлю марки 12Х16Н13МБч. Результатом обробки повинно було отримання двошарового біметалічного матеріалу, у якому внутрішня робоча частина повинна складатися з максимально чистого заліза, або отримати сталь низьколігвану та низьковуглецеву.

При теоритичному виборі методу технологічного виплаву обрано оптимальний метод горячої деформації.

Для з'єднання металевих заготовок спочаку на металлоріжучих станках їх нагрівали, а потім стискали.

Методи відбору зразків. Вирізку заготівель для зразків проводять на металорізальних верстатах, ножицях, штампах шляхом застосування кислородної або анодно – механічного різання і іншими способами, прелусматривая припуски на зону метала зі зміненими властивостями при наереве і наклепанні [31].

Місця вирізки заготівель для зразків, кількість їх, напрям подовжньої осі зразків по відношенню до заготівлі, величини припусков при вирізці мають

бути вказані в нормативно – технічній документації на правила відбору проб, заготівель і зразків на металопродукцію.

Таблиця 2.1 – Вміст легувальних елементів

Марка сталі	Вміст легувальних елементів в % мас.										
	C	Cr	Si	Mn	Ni	W	Mo	V	S	P	Fe
10ХФТч	0.10	1.0	0.15- 0.35	0.60	0.40	0.8- 1.0	-	1.0	0.80- 1.0	0.8- 1.0	Основний
12Х16Н13МБч	0.12	16.0	0.80	1.0	13.0	-	0.2- 0.3	-	0.02	0.03	Основний

2.2 Дослідження мікро- та макро- структури сталей основи та плакувального шару

Метод виміру твердості по Брінеллю біметалевого зразка проводився згідно ГОСТу 9012–59 [32].

Згідно порядку, суть виміру полягає в тому, що при втискуванні кульки (сталевого або з твердого сплаву) в біметалевий зразок прикладаємо перпендикулярно до поверхні зразка зусилля, впродовж певного часу, і вимірюємо діаметр відбитку після зняття зусилля.

Наступним кроком є вибір зразків. Згідно цьому товщина зразка повинна бути не менше чим в 8 разів перевищувати глибину відбитку. А поверхня зразка має бути плоскою і гладкою. Перевіряємо на шорсткість, вона має дорівнювати 2,5 мкм.

В результаті механічної обробки, нагріву або наклепанню зразок підготовлюється таким чином, щоб властивості металу не змінювалися.

Для виміру твердості металів користуємося приладом за ГОСТ 23677 [6].

Біметалевій зразок встановлюється на столику або підставці стійко щоб уникнути його зміщення і прогину під час вимірювання, опорні поверхні столика і підставки, а також опорні і робочі поверхні зразка повинні бути очищені від сторонніх речовин (окалини, мастила та ін.). При вимірі твердості прилад повинен бути захищений від ударів і вібрації.

Вимірювання твердості проводять при температурі 20°C. При розбіжності в оцінці якості металопродукції вимір твердості проводять при температурі (23 + 5)°C.

До прилада відноситься сталева кулька діаметром 10,0; 5,0; 2,5; 2,0; 1,0 мм твердістю не менше 850 HVI. Діаметр кульки та прикладене зусилля до зразка обирають в залежності від металу і його твердості. При вимірюванні твердості наконечник плавно призводять до зіткнення з поверхністю зразка і плавно прикладають задане зусилля до тих пір, поки воно не досягне необхідної величини.

Відстань між центром відбитка і краєм зразка має бути не менше 2,5 діаметрів відбитка; відстань між центрами двох суміжних відбитків повинно бути не менше чотирьох діаметрів відбитка.

Після вимірювання твердості на зворотньому боці зразка не повинно спостерігатися пластичної деформації від відбитка.

За допомогою мікроскопа вимірюємо діаметр відбитку, погрішність може складати +0,5 % (при застосуванні кульок діаметром 1,0; 2,0 або 2,5 мм) або +0,25 % (при застосуванні кульок діаметром 5,0 і 10,0 мм) від діаметру кульки.

Діаметри відбитків вимірюються в двох взаємно перпендикулярних напрямках. За діаметр відбитка приймається середньоарифметичне значення результатів вимірювань. При цьому різниця вимірів діаметрів одного відбитка не повинна перевищувати 2% меншого з них.

Кількість відбитків при вимірюванні твердості і спосіб обробки результатів вимірювань задається в процесі роботи.

Випробування виконують шляхом вдавлювання у поверхню випробуваного металу сталевий кульки.

Про вимір твердості за методом Брінелля можна зробити висновок щодо величини відбитка на металі. Число твердості за Брінеллем позначається літерами HB та визначається за формулою

$$HB = P/F \quad (2.1)$$

де P – навантаження; F – площа сферичної поверхні відбитка.

Вибір діаметра кульки, навантаження і витримки під навантаженням залежить від випробуваного виробу.

Твердість біметалевого зразка проводилася по Роквеллу (ГОСТ 9013–59) [33]. Суть цього методу вимірювання твердості полягає в тому, що алмазний конусний або сталевий сферичний накінецьник під дією зусилля попереднього і основного зусиль, які послідовно докладаються, впроваджується в поверхню зразка, а також у визначенні глибини впровадження накінецьника після зняття основного зусилля.

Зразки відбирають таким чином щоб товщина зразка була не менше ніж в 10 разів більшою за глибину впровадження накінецьника після зняття основного зусилля.

При цьому шорсткість поверхні зразка (або ділянки для вимірювання твердості виробу) повинна бути не більше 2,5 мкм.

Підготовка зразка повинна бути проведена таким чином, щоб не змінювалися його властивості в результаті механічної або іншої обробки.

Для виміру твердості металів та сплавів по Роквеллу також користуємося приладом за ГОСТ 23677 [6].

Алмазний конусний накінецьник типу НК кут при вершині – 120°, радіус сферичної частини 0,2 мм або накінецьник кульковий сталевий з номінальним діаметром кульок становить 1,588 мм (шкали В, F, G) і 3,175 мм (шкали Е, Н, К). Шорсткість поверхні кульки - не більше 0,040 мкм за ГОСТ 2789 [34] з граничними відхиленнями діаметрів кульки +0,003 мм - для кульки діаметром 1,588 мм та +0,004 мм - для кульки діаметром 3,175 мм.

Процес вимірювання твердості проводять при температурі $20 \pm 5^{\circ} \text{C}$.

Столик або підставка поверхні повинні бути твердими. Опорні поверхні столика і підставки, а також опорні і робочі поверхні зразка (або вироби) повинні бути очищені від сторонніх речовин (окалини, мастила та ін.).

Сам зразок встановлюється на столику або підставці стійко, щоб уникнути його зміщення і прогину під час вимірювання твердості.

При вимірюванні твердості прилад повинен бути захищений від вібрації і ударів. Вимір проводиться при дотримуванні таких умов як:

- плавне приведення наконечника в контакт з робочою поверхнею зразка (або вироби);
- плавне додавання попереднього та основного зусиль;
- плавне зняття основного зусилля через 1–3 с після різкого уповільнення або зупинки стрілки індикатора (або зміни показань цифрового відлікового пристрою).

Для металів, при вимірюванні твердості яких, різкого уповільнення або зупинки стрілки індикатора (або зміни показань цифрового відлікового пристрою) не спостерігається час витримки під загальним зусиллям має становити від 10 до 15 с.

При необхідності час витримки може бути збільшено до 60с.

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

Число твердості по Роквеллу визначається за шкалою індикатора або показника цифрового звітного пристрою з округленням до 0,5 одиниці твердості. При вимірі твердості на опуклих циліндричних і сферичних поверхнях за шкалами А, В, С, D, F, G в результаті вимірювання твердості повинні бути введені поправки. Поправки додаються за отриманими значеннями твердості. [34].

Після зміни накінецьника робочого столика або підставки перші три виміри не враховуються. Кількість відбитків при вимірюванні твердості, спосіб обробки і результати вимірів вказуються в нормативно-технічній документації на металопродукцію.

Метод Роквелла відрізняється від методу Брінелля тим, що вимірюється не діаметром відбитка, а горбиною занурення алмазного конуса. Чим більше глибина вдавлювання, тим менше твердість випробуваного зразка. Алмазний конус із кутом при вершині 120° вдавлюється у випробуваний зразок під дією двох послідовно застосовуваних навантажень 100 Н, а далі навантажень 600 Н або 1500 Н.

Твердість за Роквеллом позначається літерами С, А, В залежно від шкал випробування.

Метод виміру твердості біметалевого зразка проводився згідно ГОСТ 9012–59 [32] по Віккерсу. Цей порядок встановлює метод вимірювання твердості по Віккерсу чорних і кольорових металів і сплавів при навантаженнях від 9,807 Н (1 кгс) до 980,7 Н (100 кгс).

Алмазний накінецьник у формі правильної чотиригранної піраміди втискується в зразок під дією навантаження, яке прикладено протягом певного часу, а також вимірі діагоналей відбитку, що залишилися на поверхні зразка після зняття навантаження.

При застосуванні виміру твердості по Віккерсу необхідно вживати заходи, щодо запобігання можливості змін властивостей металу із-за нагріву або наклепу. Мінімальна товщина зразка повинна бути для сталевих виробів більше діагоналі відбитка в 1,2 рази; для виробів з кольорових металів – в 1,5 рази.

При проведенні підготовки до випробувань перед вимірюванням твердості необхідно провести огляд зразків. Поверхня зразка повинна мати шорсткість не більше 0,16 мкм по ГОСТ 2789–73 і бути вільною від окисної плівки і сторонніх речовин.

При вимірюванні твердості повинна бути забезпечена перпендикулярність до випробуваної поверхні. Опорна поверхня столика повинна бути чистою.

Зразок повинен лежати на підставці жорстко і стійко. При вимірюванні твердості алмазною пірамідою застосовуються такі навантаження: 9,807 (1); 19,61 (2); 24,52 (2,5); 29,42 (3); 49,03 (5); 98,07 (10); 196,1 (20); 294,2 (30); 490,3 (50); 980,7 (100) Н (кгс) [35].

Для отримання більш точного результату вимір твердості навантаження повинен бути щонайбільшим, причому на зворотній стороні зразка не повинно бути помітно слідів деформації.

При випробуваннях дотримуються таких умов, щоб навантаження плавно зростало до необхідного значення, а також щоб прикладене навантаження протягом встановленого часу було сталим.

Тривалість витримки під навантаженням повинна складати 10–15 с.

Відстань між центром відбитка і краєм зразка або краєм сусіднього відбитка має бути не менше 2,5 довжини діагоналі відбитка. Якщо товщина випробуваного шару невідома, то слід зробити кілька вимірів при різних навантаженнях. Якщо при цьому твердість буде змінюватися, то слід зменшити навантаження до тих пір, поки при двох суміжних навантаженнях твердість буде близька за своїми значеннями або збігається. Випробування проводять при температурі 20⁰С.

Кількість відбитків при вимірюванні твердості і спосіб обробки результатів вимірювань задається в процесі роботи.

Цей метод застосовують до металів будь – якої твердості. Перевагою методу Віккерса є можливість випробування тонкого шару поверхні металу після різних видів обробки.

2.3 Механічні властивості

Механічні властивості сталей, як і інших металевих матеріалів, найчастіше визначаються за допомогою випробування на розтягування. Випробування на розтягування полягає в додатку розтягуючого зусилля до зразка - найчастіше, у вигляді стержня – і вимірі зміни довжини зразка при збільшенні зусилля, що

докладається. Зразок вирізають з матеріалу, який цікавить, або виробу. Результат випробування являє собою діаграма розтягування - графік, на якому по вертикалі відкладається напруга (зусилля на одиницю площі зразка), а по горизонталі - деформація (відносна зміна довжини зразка), згідно ГОСТ 1497-84 [31].

Суть методи полягають у тому, що метал на розтягування поступає у вигляді злиwkів або прокатних профілів. Потім метал обробляють на мірні заготівлі, для цього використовуючи спеціальне устаткування:

- відрізок прутів на пресс-ножницях;
- відрізок в штампах на кривошипних пресах;
- ломка на хладноломах;
- різання на механічних пилах;
- відрізний верстат з дисковою пилою;
- різання на токарно-відрізних верстатах.

Місця вирізки заготівель для зразків, кількість їх, напрям подовжньої вісі зразків по відношенню до заготівлі, величини припусків при вирізці мають бути вказані в нормативно-технічній документації та правила відбору проб, заготівель і зразків на металопродукцію.

Зразки рекомендовано виготовляти на металорізальних верстатах.

При виготовленні зразків вживають заходи (охолодження, відповідні режими обробки), які унеможливають зміну властивостей металу при нагріві або наклепанні, котрі можуть виникнути в результаті механічної обробки. Глибина різання при останньому проході не повинна перевищувати 0,3 мм.

Для плоских зразків стріла прогину на довжині 200 мм не повинна перевищувати 10 % від товщини зразка, але не більше 4 мм.

Задирки на гранях плоских зразків мають бути видалені механічним способом без ушкодження поверхні зразка. Кромки в робочій частині зразків шліфуються та зачищаються на шліфувальному крузі або шліфувальною шкіркою. Шорсткість оброблених поверхонь має бути не більше 1,25 мкм – для поверхні робочої частини циліндричного зразка і не більше 20 мкм - для бічних

поверхонь в робочій частині плоского зразка. Вимогами до шорсткості поверхні литих зразків і готових виробів повинні відповідати вимогам до шорсткості поверхні литих заготівель і металопродукції, що випробовуються без попередньої механічної обробки.

Згідно заготівель і зразків або на металопродукцію допускається випробовувати сортовий прокат, литі зразки і готові вироби без попередньої механічної обробки.

Випробування проводять на двох зразках. Для випробування на розтягування застосовують пропорційні циліндричні або плоскі зразки діаметром або завтовшки в робочій частині 3,0 мм і більше. Застосування коротких зразків використовується частіше.

Стандарт ГОСТ 25.503-97 [36] – метод випробування на стиск, який встановлює методику випробування зразків на стискування для побудови кривої зміцнення, визначення математичної залежності між напругою течії і мірою деформації.

Число зразків для оцінки середнього значення механічних характеристик повинно бути не менше п'яти, якщо в нормативному документі на поставку матеріалів не обумовлено інша кількість.

Для побудови кривої зміцнення на зразках III, IV типів з подальшою обробкою результатів випробувань методами кореляційного аналізу число зразків вибирають в залежності від передбачуваного виду кривої зміцнення і її ділянок

Випробування зразків на стиск проводять в умовах, що забезпечують мінімальний ексцентриситет прикладання навантаження і безпеку проведення експериментів.

Твердість деформируючих плит повинна перевищувати твердість зміцнених під час випробування зразків не менше ніж на 5 HRCэ.

Товщину деформируючих плит встановлюють залежно від створюваних зусиль в зразку і приймають рівною 20-50 мм. Необхідно контролювати

дотримання рівномірності деформування при випробуванні зразків на стиск (відсутність бочкоутворення і угнутості).

При визначенні модуля пружності E^c , межа пропорціональності при стискуванні $\sigma_{\text{пц}}^c$ і межа пружності при стискуванні $\sigma_{0,05}^c$ контролюються за допомогою приладів, які встановлюються на протилежних сторонах призматичного і циліндричного зразків, при цьому нормована різниця показань двох приладів не повинна перевищувати 10 (15)%.

Механічні характеристики модуля пружності такі як межа пропорціональності при стискуванні, $\sigma_{\text{пц}}^c$ межа пружності при стискуванні межа плинності при стискуванні визначаються за допомогою:

- тензометрів з ручним і автоматизованим зніманням інформації (аналітичний і розрахунковий спосіб обробки):
- по записаній випробувальною машиною автодіаграмі в координатах «зусилля - абсолютна деформація (P - Δh)» з урахуванням масштабу записи.

Запис діаграм виконується при ступінчастому навантаженні з циклами розвантаження і безперервного ном додатку зростаючого зусилля в діапазонах зазначених швидкостей навантаження і деформування. Масштаб запису:

- по осі деформації - не менше 100:1;
- по вісі навантаження 1 мм діаграми повинен відповідати не більше 10 МПа (1,0 кгс / мм²). Поле записи зусиль і деформацій має бути, як правило, не менше 250 x 350 мм.

Модуль пружності при стисненні визначають на зразках I типу.

Межа пропорційності при стисненні визначається на зразках I і II типів.

Зразок навантажують до напруги, яка відповідає очікуваному значенню межі пропорціональності.

При нарузі σ_0 на зразок встановлюють тензометр і навантажують ступінчасто—зростаючою напругою.

Для визначення модуля пружності при стискуванні по діаграмі F (Δh), записаній на самописному приладі зразок навантажують безперервно до певної

напруги течії. Напруга відповідає очікуваному значенню межі пропорційності [36].

При нарузі σ_0 на зразок встановлюють тензометр і навантажують ступінчасто-зростаючою напругою. Далі зразок навантажують різними ступенями напруги. Коли значення абсолютної деформації (вкорочення) зразка Δh на ступені напруження досягає значенню абсолютної деформації (вкорочення) зразка Δh (при тій же ступені напруги) на початковій лінійній пружній ділянці в 2, 3 рази, випробування припиняють.

За результатами випробувань будують діаграму і визначають межу пропорційності при стисканні.

Зразок безперервно навантажують до напруги, що перевищує очікуване значення умовної межі текучості $\sigma_2^{с.ож}$ і записують діаграму на самопишучому приладі.

Масштаб по вісі деформації не менше 100:1, а по вісі навантаження - 1 мм діаграми повинен відповідати не більше 10 МПа (1,0 кгс / мм²).

Допускається визначення умовної межі плинності при стискуванні по діаграмах записаних з масштабом по вісі подовжень 50: 1 і 10:1, якщо вихідна висота зразка більше або дорівнює 25 і 50 мм відповідно. Отриману діаграму перебудовують з урахуванням жорсткості випробувальної машини [36]. За діаграмою визначають навантаження, відповідну умовну межу текучості (фізичній) при стисненні та проводять розрахунки.

За результатами випробувань будують діаграму h (Δh) і визначають навантаження, відповідні до умовної межі текучості при стисненні.

Межу міцності при стисненні $\sigma_B^с$ визначають на зразках III типу. Зразок безперервно навантажують до руйнування. Найбільше навантаження, що передуює руйнуванню зразка, приймають за навантаження F_{max} .

Криву зміцнення будують в координатах: ордината - напруга течії, абсциса- логарифмічна деформація.

Навантажують зразок до заданого навантаження. Розвантажують зразок до нульового навантаження і вимірюють кінцевий діаметр зразка d_K в двох взаємно

перпендикулярних напрямках, а для зразків III типу також кінцеву висоту зразка h_k . Кінцевий діаметр d_k для зразків IV типу вимірюють посередині осадженого зразка (на відстані 0,5 від торців).

Для визначення d_k зразків III типу вимірюють діаметри осаджених зразків на обох торцях в двох взаємно перпендикулярних напрямках і встановлюють середнє арифметичне значення кінцевого діаметра торців d_T , а посередині зразка вимірюють максимальне значення кінцевого діаметра осаджених заготовок.

Результати вимірювань d_k та h_k усереднюють. Кінцеву площу поперечного перерізу зразка A_k округлюють. Для зразків IV типу одноразове випробування проводять до моменту зникнення буртиків.

При проведенні випробувань зразків всіх типів дотримуються всіх правил технічної безпеки, передбачених при роботі на устаткуванні.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА МАКРОСТРУКТУРИ СТАЛЕЙ БІМЕТАЛІВ

3.1 Дослідження полів деформацій сталі основи біметалу після гарячої деформації

Відповідно для виготовлення біметалу зі сталі 12Х16Н13МБч та 10ХФТч виконували такі операції: осадку та прокатку асиметричних пакетів. Після осадки біметалу матеріал має форму деформованого циліндру збільшеною частиною зі сталі 10ХФТч. З основного матеріалу було взято на вивчення з краю структури біметалу зразок розмірами 50x42 (див. рис. 3.1, 3.2). Осадку здійснювали при температурі 850⁰С - 900⁰С. Після осадки спостерігаємо чотири зони деформації:

I зона гальмування - 12Х16Н13МБч; 10ХФТч, (див. рис. 3.3 (а,б) ;

II зона ускладненої деформації – 12Х16Н13МБч; 10ХФТч, (див. рис. 3.4 (а,б);

III зона інтенсивної деформації - 12Х16Н13МБч; 10ХФТч, (див. рис. 3.5 (а,б);

IV зона термічного впливу - 12Х16Н13МБч; 10ХФТч, (див. рис. 3.6 (а,б).

Структура основного шару біметалу 12Х16Н13МБч є аустеніт. В зоні інтенсивної деформації (див. рис. 3.5) та в зоні термічного впливу (див. рис. 3.6) спостерігаємо дрібні зерна аустеніт. В інших зонах гальмування (див. рис. 3.3) та ускладнення (див. рис. 3.4) після термічного впливу спостерігаємо збільшення зерен, твердість яких зменшується і становить:

- у зоні ускладненої деформації - HV 438;
- у зоні гальмування – HV 449.

Мікротвердість у зоні зварного шва (зона інтенсивної деформації) (див.рис. 3.4) становить HV 525.

Маловуглецева сталь 10ХФТч з ферито-перлітною структурою, зі змінням градієнта температури. В зоні термічного впливу (див. рис. 3.6) спостерігаємо чітко виражені стовпчасті кристали. Мікротвердість в данній зоні становить HV 261.

В зоні гальмування (див. рис. 3.3) HV 261 та зоні ускладненої деформації (див. рис. 3.4) зерна збільшені, немає виражених стовпчастих кристалів, мікротвердість становить HV 287.

Зниження твердості в області інтенсивної деформації (див. рис. 3.4) пов'язана з тим, що під час деформації утворюється велика кількість фериту, що свідчить про невисоку міцність.



Рисунок 3.1 – Розподіл твердості по перерізу біметалевої заготовки (сталь 10ХФТч + 12Х16Н13МБч) після деформації $\epsilon=50\%$ при 1100°C , I – зона гальмування деформації; II – зона ускладненої деформації; III - Зона інтенсивної деформації; IV - зона термічного впливу

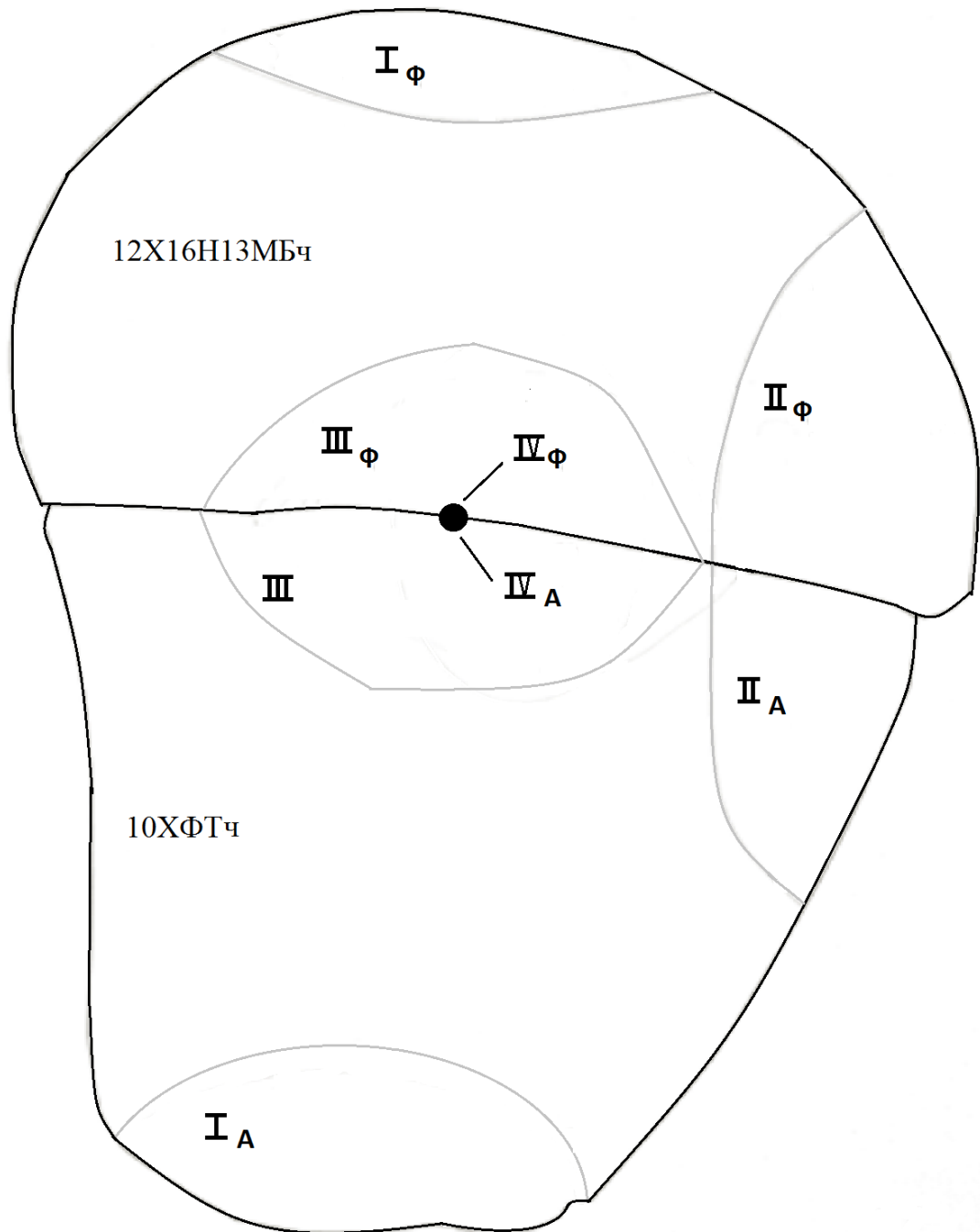
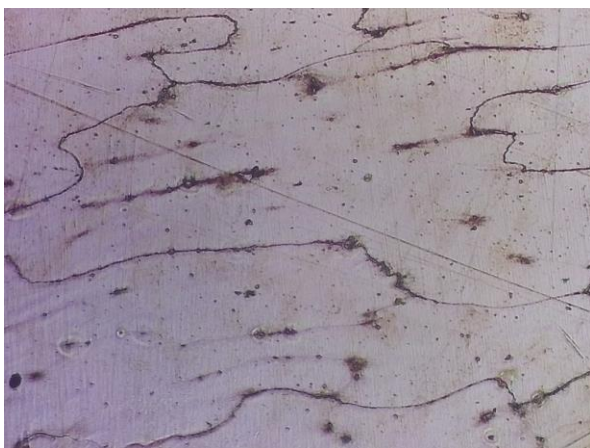
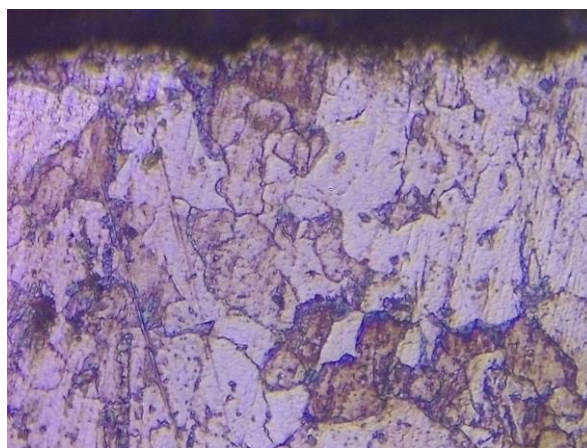


Рисунок 3.2 – Розподіл зон деформації по перерізу біметалевої заготовки (сталь 10XФТч + 12X16H13MBч) після деформації $\epsilon=50\%$ при 1100°C , I_A – зона гальмування деформації аустеніту; II_A – зона ускладненої деформації аустеніту; III_A - Зона інтенсивної деформації аустеніту; IV_A - зона термічного впливу аустеніту; I_φ – зона гальмування деформації ферит; II_φ – зона ускладненої деформації ферит; III_φ - Зона інтенсивної деформації ферит; IV_φ - зона термічного впливу ферит



а)

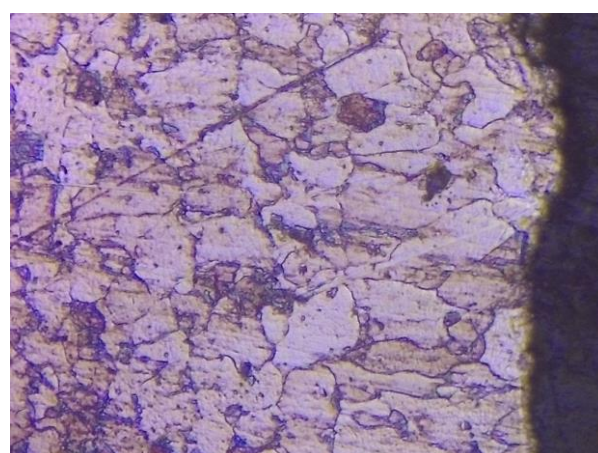


б)

Рисунок 3.3 – Мікроструктура зони I гальмування: а) сталь 12X16N13MBч x 180; б) сталь 10XF7ч x 280

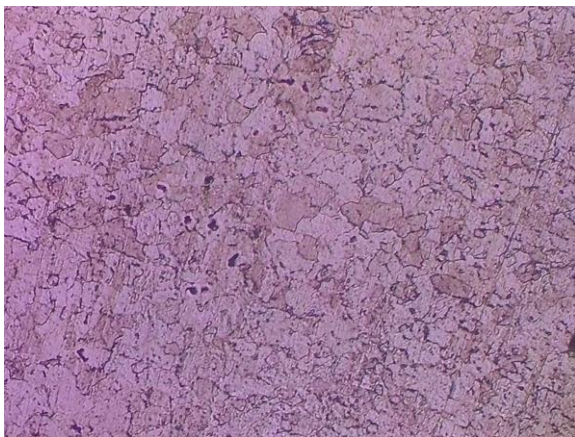


а)

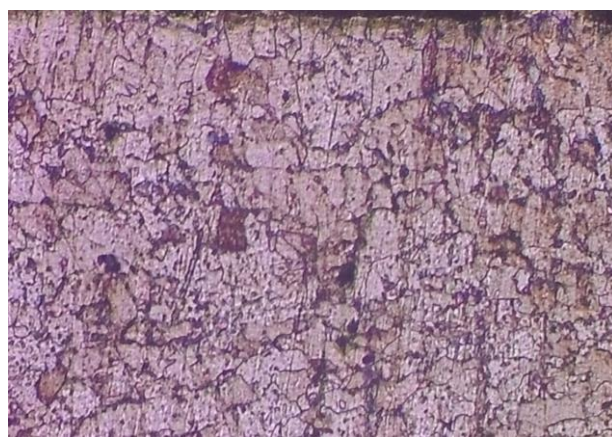


б)

Рисунок 3.4 – Мікроструктура зони II ускладненої деформації: а) сталь 12X16N13MBч x 180; б) сталь 10XF7ч x 280

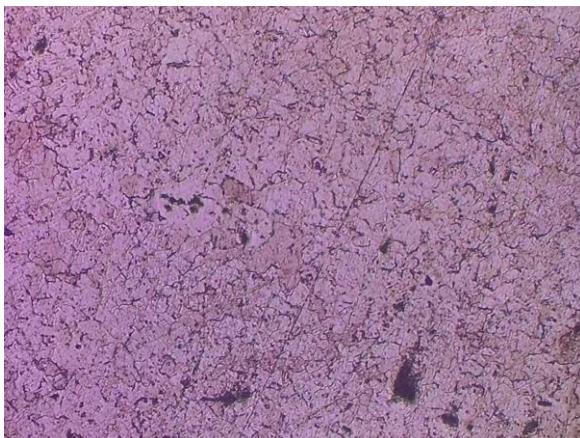


а)

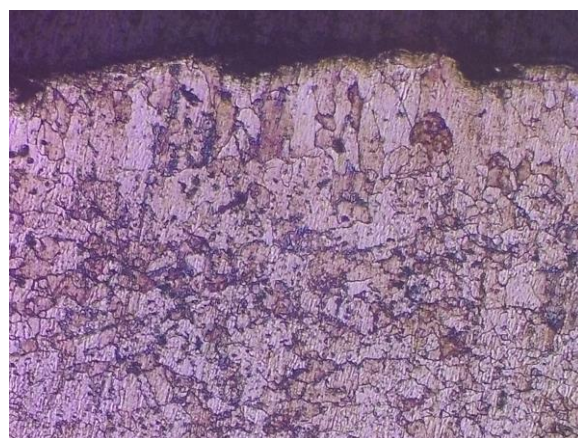


б)

Рисунок 3.5 – Мікроструктура зони III інтенсивної деформації: а) сталь 12X16N13МБч x 180; б) сталь 10ХФТч x 280



а)



б)

Рисунок 3.6 – Мікроструктура зони IV термічного впливу: а) сталь 12X16N13МБч x 180; б) сталь 10ХФТч x 280

3.2 Дослідження полів деформацій сталі основи плакувального шару біметалу

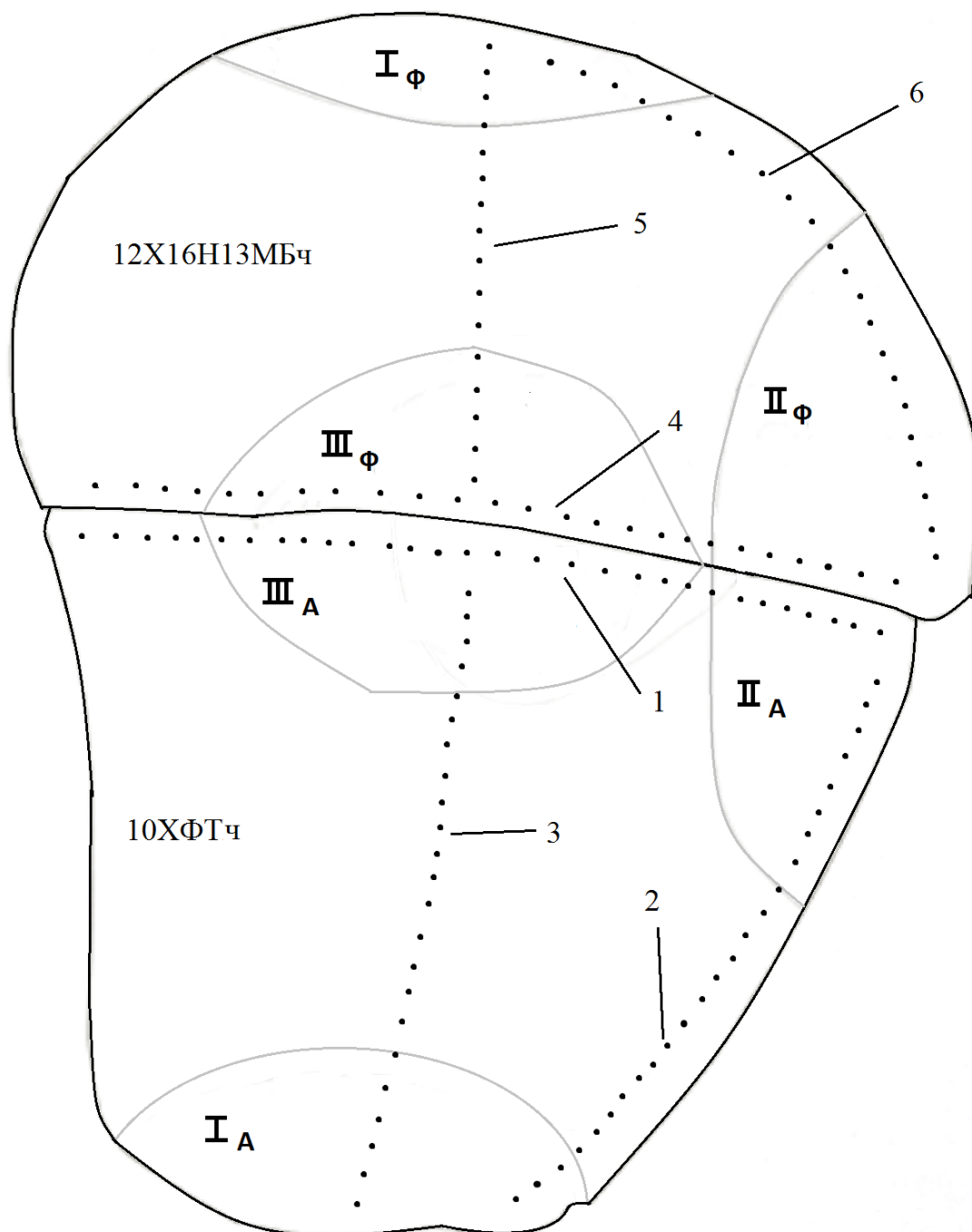


Рисунок 3.7 – Зони деформації: I_A - зона гальмування; II_A- зона ускладненої деформації; III_A - зона інтенсивної деформації; I_Ф - зона гальмування; II_Ф - зона ускладненої деформації; III_Ф - зона інтенсивної деформації; IV - зона термічного впливу

В області зварного шва (див. рис. 3.7), в результаті дифузії і вирівнювання хімічного складу ми маємо по мікротвердості в окремих видах від 500 до 600 (див. рис. 3.8, 3.9). Це, приблизно, структура назько вуглецевого легованого мартенситу. З цього маємо охрупчиваємість зварного шву та зони термічного впливу сталі [38 - 40].

Саме для такої сталі деформаційна обробка є перспективною в порівнянні зі сталлю яка не піддавалась обробці [41].

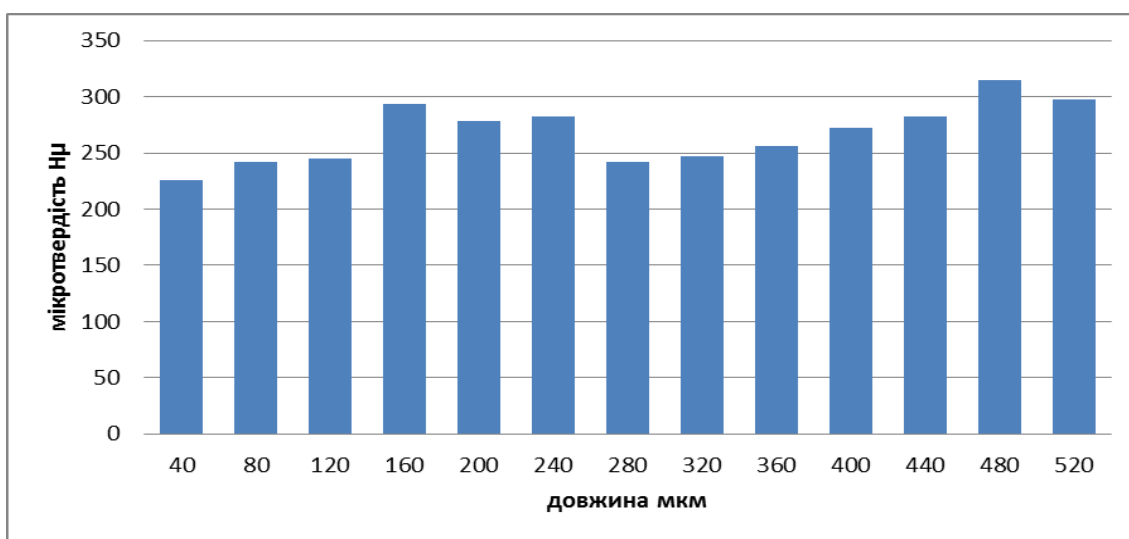


Рисунок 3.8 – Розподіл мікротвердості вздовж звареного шву сталі 12Х16Н13МБч

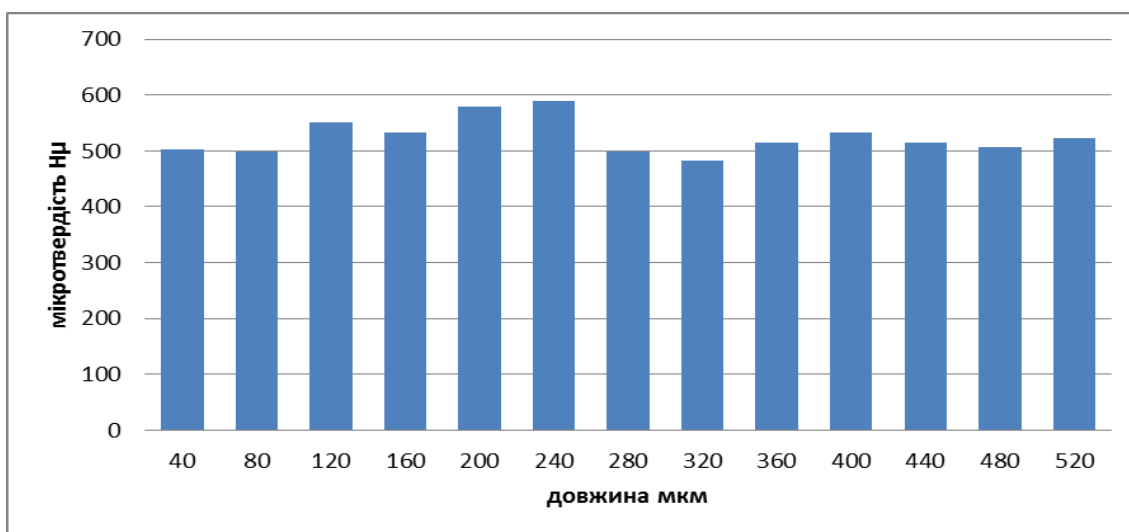


Рисунок 3.9 – Розподіл мікротвердості вздовж звареного шву сталі 10ХФТч

4 ТЕХНОЛОГІЯ ПРОМИСЛОВОГО ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛЕВИХ ЗАГОТОВОК

4.1 Розміри біметалевих заготовок

Технічні вимоги та загальні вимоги:

1. Листи повинні відповідати вимогам справжніх технічних умов і комплекту робочої документації, розробленого на підставі креслень деталей і розкрою.

2. Листи основного металу виготовляються плющенням із злиwkів кованих або литих слябів із сталі марки 12Х16Н3МБч.

За погодженням сторін допускається виготовлення основного шару з інших марок сталей, при цьому хімічний склад і рівень механічних властивостей повинні відповідати нормативно технічній документації вибраної марки сталі, а інші вимоги - справжнім технічним умовам:

- в якості плакуючого шару застосовується сталь марки 10ХФТч;
- двошарові листи виготовляють методом пакетного плющення.

Основні розміри: розміри листів, що поставляються :

- товщина – від 16 до 27 мм;
- довжина – від 5000 до 9000 мм;
- максимальна маса листа –10т.

Допускається постачання листів кратними розмірами. За згодою з виготівником допускається постачання листів інших розмірів.

Товщина листів і плакуючого шару, а також бокові відхилення листів по товщині, ширині, довжині і неплосцинність на 1 м довжини повинні відповідати таблиці 4.1 [43].

Примітка - За погодженням сторін товщина плакуючого шару може бути змінена.

3. Листи поставляють правленими, нетруєними з кромкою обріза.

Вимог до виготовлення;

Таблиця 4.1 – Бокові відхилення листів по товщині, ширині, довжині і неплщинність на 1м довжини [43]

Товщина листа	Граничні відхилення				Товщина плакуючого шару	Неплщинність, мм/пог.м
	по товщи но	по шири ні	по довжині, мм			
			при довжин і до 6000	при довжин і зверху		
від 16 до 25	±1,2	±15	±20	±35	2,0-4,0	20
від 25 до 27 вкл.	±1,5	±25	±25	±40	2,5-4,5	15

Умови постачання вказують в замовленні. Листи можуть поставлятися в гарячекатаному стані без вказівки результатів механічних випробувань; у гарячекатаному стані з вказівкою результатів механічних випробувань листів або термічно оброблених проб, після основної термічної обробки або після основної термічної обробки із застосуванням термічних відпусток.

Плавачний хімічний склад марок 10ХФТч та 12Х16НЗМБч повинен відповідати вимогам таблиці 4.1.

Виплавку сталі для основного і плакуючого верств виробляють за технологією виробника.

Термічну обробку листів, а також проб проводять за технологічною документацією виробника [42].

На вимогу замовника виробляють суцільну абразивну зачистку поверхні плакирування (для листів товщиною більше 20 мм).

Основний шар повинен бути стійкий проти міжкристалітної. Плакують шар зі сталі марки 10 ХФТч на стійкість міжкристалітної корозії не перевіряють.

Усі листи піддають УЗК сплошності зони зчеплення шарів. УЗК сплошності основного шару перевіряють на вимогу замовника. Показники сплошності мають бути не нижчі класу 2 при автоматичному контролі основного шару на чутливості А8Т і зони зчеплення шарів на чутливості А20Т, при ручному контролі на чутливості D8Э. Контроль УЗК може робитися до термічної обробки, після термічної обробки, а також на проміжних переділах (підкатах). За узгодженням з виготівником можуть бути прийняті інші норми.

З боку основного металу і плакуючого шару листів усі поверхневі дефекти у вигляді прокатних полон, грубих залишків окалини, раскатаных пухирів і тріщин, заходів мають бути видалені пологим вирубуванням або зачисткою.

При глибині залягання дефектів в межах відхилень по товщині листа площа зачистки не обмежується.

Допускається без видалення: тонкий шар залишків окалини, що не перешкоджає виявленню поверхневих дефектів, рябізна, риси, відбитки від валків у вигляді суцільних смуг і ділянок, які не змінюють розміри листів вище за граничні відхилення по товщині.

Допускається видалення дефектів в основному металі, як з боку плакуючого шару так і із зворотного боку з подальшою заваркою відновлених місць, Сумарна площа дефектних місць, відновлених заваркою, не повинна перевищувати 5% від площі однієї сторони чисто обрізаного листа. Допустима глибина видалення дефектів не повинна перевищувати 20% від мінімальної товщини основного шару понад негативного відхилення допуску.

З боку плакуючого шару листи піддають вибірковій абразивній зачистці, При цьому вони повинні мати чисту поверхню без пухирів, що розкотили, рябізни і залишків окалини. Допускаються залишки окалини на поверхні плакуючого шару, якщо вони не перешкоджають виявленню поверхневих дефектів, рябізни, відбитків валків і не знижують товщину плакуючого шару та його товщину, а також дрібну риску, подряпину і слід від наждачного круга (якщо висота їх не перевищує 0,5 мм). Допускається зачистка по поверхневим

дефектам плакуючого шару на глибину, яка забезпечує мінімальну товщину плакуючого шару без подальшого відновлення.

Допускається виправлення і глибших дефектів, при збереженні в місці зачистки не менше 2 мм плакуючого шару. За наявності глибших дефектів дозволяється вирубування-сторожка плакуючого шару до основного металу з подальшою заваркою відновлених місць, Сумарна площа дефектних місць, відновлених заваркою, не повинна перевищувати 5% від площі чисто обрізаного листа.

Заварку відновлених місць повинні робити по інструкції заготівника, у тому числі для основного шару з дотриманням "Правил облаштування безпечної експлуатації посудин, працюючих під тиском".

Матеріал листів перевіряють на вигін в холодному стані. При перевірці на вигін (кут 90^0) в холодному стані наявність відшаровування плакуючого шару від основного металу не допускається.

Ребра випробовуваних зразків мають бути закруглені.

При випробуванні плакуючий шар зразків повинен розташовуватися з внутрішньої сторони.

Здавальна платіжна маса листів визначається по номінальним вимірам і з урахуванням 50% плюсового відхилення по ширині і довжині.

Для перевірки якості листів відбирають:

- для хімічного аналізу основного шару – одну пробу від плавки-ковша хімічний аналіз плакуючого шару приймається за сертифікатними даними на заготівлю для плакировки;

- для випробування на розтягування – по два зразки для кожної температури випробувань від проби (температура випробувань вказується в замовленні);

- для випробування на вигін в холодному стані двошарових листів завтовшки по 25 мм включно – один зразок від проби (спочатку зразок згинається на кут 90^0 для визначення міцності зчеплення шарів, потім на кут 180^0);

- листи завтовшки більше 25 мм – два зразки від проби (один зразок з боку плакуючого шару для випробування на вигин на кут 90^0 для визначення міцності зчеплення шарів; один зразок з боку основного шару для випробування на вигин на кут 180^0 для визначення пластичності основного шару). Зразки від листів завтовшки більше 25 мм для випробування на вигин доводять до необхідної товщини механічною обробкою;

- для випробування на зріз - один зразок від проби для вухслонных листів;
- для перевірки основного шару на стійкість проти межкристаллитной корозії - два зразки;
- для ультразвукового контролю - кожен лист.

Для випробування механічних властивостей і випробування на вигин в холодному стані від кожного контрольного листа відбирається одна проба з боку, відповідній прибутковій частині зливка, відповідно до ГОСТ 7564 [44] уперек напрямку прокату.

При виготовленні листів з безперервно-литих слябів випробування механічних властивостей повинне здійснюватися з будь-якого кінця листа.

3.5. У разі отримання незадовільних результатів після основних або повторних випробувань хоч би на одному зразку, допускається повторна термічна обробка або відпустка, і листи пред'являються до здачі знову, як при першому пред'явленні.

Методи випробувань проводяться згідно стандартів.

Хімічний аналіз сталі повинен проводитися за ГОСТ 12346, ГОСТ 12347, ГОСТ 12348, ГОСТ 12350, ГОСТ 12352, ГОСТ 12356, ГОСТ 28473, ГОСТ 18895 або іншими методами, що забезпечують точність аналізу відповідно до вказаних державних стандартів [45 - 51].

Якість поверхні і кромки листів повинні перевірятися візуальним контролем без зачистки. Виміри товщини плакуючого шару проводиться на пробах розміром $30 \times 50 \times s$ мм, де S - товщина листа. Проби відбираються від донного і прибуткового кінців кожного листа (одна від середини листа по ширині і одна від кромки).

Допускається проводити контроль товщини плакуючого шару безпосередньо на листах шляхом місцевої зачистки (в міру необхідності) на протилежних торцях в трьох точках.

Схема відбору проб (чистовий габарит плюс проби) характеризується відповідно до рисунка 4.1



Рисунок 4.1 – Схема відбору проб

Випробування на розтягування здійснюється на коротких зразках типу Ш №4 або № 6 по ГОСТ 1497 [52] при нормальній температурі і підвищеній температурі.

Випробування на вигін в холодному стані повинно здійснюватися на зразках $a \times 30 \times 300$ плакуванням усередину, де a - товщина зразка, для листів завтовшки 25 мм і менше дорівнює товщині листа. Для листів завтовшки більше 25 мм доводиться механічною обробкою до 25 мм. Діаметр оправляння має дорівнювати 2,5 товщини зразка.

Випробування на стійкість проти межкристалитної корозії основного шару здійснюється за ГОСТ 6032 [53] по методу АМУ з провокувальним нагрівом. Виготовлення зразків відповідно до ГОСТ 6032 [53].

УЗК сплошності листів повинен робитися по РД 5.9332 на одній з установок УЗУП, УЗУЛ, ДУЭТ або ручним методом.

На листи, прийняті працівником технічного контролю виготівника, оформляють сертифікат, в якому вказується :

- найменування виготівника;

- зміст маркіровки;
- марка сталі і спосіб виплавки;
- хімічний склад холодної плавки основного шару;
- хімічний склад плакуючого шару;
- вид термічної обробки, а на вимогу конструкторської документації або замовлення і режим термічної обробки (температуру термічної обробки, фактичну середню швидкість нагріву, час витримки і середовище охолодження);
- результати усіх видів випробувань і контролю;
- кількість, маса листів і габаритні розміри листів;
- позначення технічних умов.

Сертифікат підписується працівником технічного контролю.

Маркіровка. Маркіровка повинна наноситися тавруванням на кожен лист з боку основного шару.

На листи маркіровка наноситься на відстані 100-150 мм від кромки листа уперек напрямку прокату.

Маркіровка повинна містити: марку сталі основного шару, марку сталі плакировки, номер плавки основного шару, номер прокату, номер заготівлі, позначення креслення.

Транспортна маркіровка вантажу наноситься відповідно до вимог ГОСТ 14192 [54].

Варіант маркіровки вибирає виробник. Правильність маркіровки і відповідність якості листів вимоги справжніх технічних умов повинні завірятися клеймом технічного контролю виготівника.

Упаковка. Листи відвантажуються без упаковки.

ВИСНОВКИ

Таким чином, на початковому етапі роботи, в результаті теоретичних та експериментальних досліджень із металевих сплавів сталі 10ХФТч та жароміцної сталі марки 12Х16Н13МБч отримали біметалеву заготовку.

1. До пакету із сталей 12Х16Н13МБч + 10ХФТч застосовували гарячу деформацію при $T = 1100^{\circ}\text{C}$ і отримали біметалеву заготовку.

2. На основі металографічного дослідження встановили, що для біметалевої заготовки необхідно застосовувати температурний режим з більш високими показниками ніж 1100°C , наприклад 1150°C - 1200°C .

3. Встановлено, що отримана біметалева заготовка не в повній мірі має властивості, на які розраховували в результаті експерименту. Тому розроблений біметал можливо застосовувати при його використанні до 200°C .

4. Запропоновано в подальшій роботі із сплавом біметалу застосувати пару сталей зі однаковим, або близьким коефіцієнтом термічного розширення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія : підручник. Дніпропетровськ : РВА "Дніпро-ВАЛ", 2004. 454 с.
2. ГОСТ 17746-96. Титан губчатый. Технические условия. [Действующий от 01.07.00]. Изд. офиц. Москва : Издательство стандартов, 2001. 104 с.
3. Бобирь С.В. Низьковуглецеві сталі для інструменту гарячої деформації металу. *Металознавство та обробка металів*. 2019. № 1. С. 39–47.
4. Гогаєв К.О. Інструментальні штампові сталі для гарячого деформування. *Металознавство та обробка металів*. 2016. С. 18–24.
5. Иванов В.Н. Словарь-справочник по литейному производству. Москва : Машиностроение, 1992. 384 с.
6. ГОСТ 23677-79. Твердомеры для металлов. Общие технические требования. [Действующий от 01.01.1981] Изд. офиц. Москва : Издательство Стандартов, 1991. 31 с.
7. ГОСТ 17746-96. Титан губчатый. Технические условия. [Действующий от 01.07.00]. Изд. офиц. Москва : Издательство стандартов, 2001. 26 с.
8. Путин А.А. Преимущество установок совмещенного типа магнитермического производства губчатого титана с верхним сливом соли и боковым конденсатором перед полусовмещенными установками с верхним конденсатором. *Наука, производство и применение титана в условиях конверсии* : труды 1-й межд. конф. по титану стран СНГ (г. Москва, 14-16 сентября 1994 г.). г. Москва Ч. 1. С. 203-207.
9. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Обичайки та днища : навч. посіб. / укл. О.І. Барвін та ін. Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2005. 310 с.

10. Путин А.А. Исследования по улучшению производства губчатого титана. Цветная металлургия. 2006. № 6. С. 20-23.
11. Головаенко С.А. Производство биметаллов. Москва : Металлургия, 1966. 153 с.
12. Общая классификация и обозначение металлов и сплавов: методические указания для самостоятельной работы / сост. Т.Ю. Малеткина. Томск : Изд-во Том. гос. ун-та, 2015. 40 с.
13. Король В.К., Гильденгорн М.С. Основы технологии производства многослойных металлов. Москва : Металлургия, 1970. 232 с.
14. Центробежное литье на машинах с вертикальной осью вращения. URL: <https://onv.com.ua/novosti/tehnologii-i-nauka/centrobezhnoe-lityo-na-mashinax-s-verti>.
15. Килов А.С., Попов А.В., Недыхалов В.А. Производство заготовок. Литье : уч. пособ. : книга 3. Проектирование и производство отливок (литых заготовок). Оренбург : ГОУ ОГУ, 2004. 171 с.
16. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка. Харьков: Металлургиздат, 1961. 421 с.
17. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник / за ред. Д.Ф. Чернеги, Ю.Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.
18. Шаскольская М.П. Кристаллография. Москва : Высшая школа, 1976. 391 с.
19. Гуляев А.П. Металловедение : учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. Москва : Металлургия, 1986. 544 с.
20. Голованенко С.А. Сварка прокаткой биметаллов. Москва : Металлургия, 1977. 160 с.
21. Каховский Н.И. Сварка нержавеющей сталей. Киев: Техника, 1968. 312 с.
22. Мальцева Л.А., Гервасьев М.А., Кутьин А.Б. Материаловедение : уч. пособ. Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. 339 с.

23. Колмаков А.Г., Терентьев В.Ф., Бакиров М.Б. Методы измерения твердости : справ. изд. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Интернет Инжиниринг, 2005. 150 с.
24. Материаловедение и технология материалов : в 2 ч. / под ред.: Фетисов Г.П. 8-е изд., перераб. и доп. Москва : Издательство Юрайт, 2018. Ч. 1 386 с.
25. Хімічна корозія та захист металів : навч. Посіб. / П. І. Стоєв, та ін. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. 216 с.
26. Евсеева Н. А Изменение фазового состояния коррозионностойкой стали 03X17H3Г9МБДЮЧ при нагреве и охлаждении. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Стародубовские чтения.* 2017. Вып. 95. С. 79-81. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmssc_2017_95_16
27. Мищенко В. Г. Анализ физико-химического взаимодействия компонентов стали со средой восстановительного процесса получения титана. *Вісник двигунобудування.* 2009. № 2. С. 120–122.
28. Булига Ю.В., Слабкий А.В. Основы інструментального виробництва : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2018. 149 с.
29. Прохоренко В.М., Прохоренко О.В. Напруження та деформації у зварних з'єднаннях і конструкціях : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2009. 268 с.
30. Клименко П.Л. Упрочнение стали при горячей деформации. Днепропетровск : Пороги, 2009. 103 с.
31. ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84). Металлы. Методы испытаний на растяжение. [Действующий от 16.07.84]. Изд. офиц. Москва : Стандартиформ, 2008. 26 с.
32. ГОСТ 9012-59 (ИСО 410-82, ИСО 6506-81). Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. [Действующий от 01.01.60]. Изд. офиц. Москва : Стандартиформ, 2007. 40 с.

33. ГОСТ 9013-59 (ИСО 6508-86) Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. [Действующий от 01.01.69]. Изд. офиц. Москва : Издательство Стандартов, 2001. 9 с.
34. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики (с изменениями № 1, 2) [Действующий от 01.01.75]. Изд. офиц. Москва : Стандартиформ, 2018. 6 с.
35. ГОСТ 2999-75 (СТ СЭВ 470-771. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу. [Действующий от 28.07.75] Изд. офиц. Москва : Издательство стандартов, 1985. 31 с.
36. ГОСТ 25.503-97. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытания на сжатие. [Действующий от 01.07.99]. Изд. офиц. Москва : Стандартиформ, 2005. 27 с.
37. Работнов Ю.Н. Сопротивление материалов. Москва : Физматгиз, 1962. 265 с.
38. Епифанов Г.И. Физика твердого тела : учеб. пособ. 4-е изд., СПб. : Издательство «Лань», 2011. 288 с .
39. Центробежное литье на машинах с вертикальной осью вращения : <https://onv.com.ua/novosti/tehnologii-i-nauka/centrobezhnoe-lityo-na-mashinax-s-verti>.
40. Бачин В.А. Теория, технология и оборудование диффузионной сварки. Москва : Машиностроение, 1991. 352 с.
41. Матеріалознавство та технологія матеріалів : конспект лекцій / уклад. Т.М. Курська, Г.О. Чернобай, С.Б. Єрьоменко. Харків : УЦЗУ, 2008, 136 с.
42. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин : підручник / за заг. ред. В.М. Плескача. Запоріжжя : Просвіта, 2013. 372 с.
43. ДСТУ 2834-94 (ГОСТ 16523-97). Прокат тонколистовий з вуглецевої сталі якісної та звичайної якості загального призначення. Технічні умови. [Чинний від 01.01.99]. Вид. офиц. Київ : Держстандарт України, 1999. 28 с.

44. ГОСТ 7564. Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний. [Действующий от 01.01.99]. Изд. офиц. Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. 15 с.

45. ГОСТ 12346-78. Стали легированные и высоколегированные. Методы определения кремния. [Действующий от 01.07.99]. Изд. офиц. Москва : Стандартиформ, 2009. 10 с.

46. ГОСТ 12347-77. Стали легированные и высоколегированные. Методы определения фосфора. [Действующий от 01.03.89]. Изд. офиц. Москва : Издательство стандартов, 1989. 30 с.

47. ГОСТ 12350-78. Стали легированные и высоколегированные. Методы определения хрома. [Действующий от 01.01.80]. Изд. офиц. Москва : Издательство стандартов, 1987. 6 с.

48. ГОСТ 12352-81. Стали легированные и высоколегированные. Методы определения никеля. [Действующий от 01.01.82]. Изд. офиц. Москва : Издательство стандартов, 1999. 15 с.

49. ГОСТ 12356-81. Стали легированные и высоколегированные. Методы определения титана (с изменениями № 1, 2). [Действующий от 01.01.82]. Изд. офиц. Москва : Стандартиформ, 2005. 14 с.

50. ГОСТ 28473-90. Чугун, сталь, ферросплавы, хром, марганец металлические. Общие требования к методам анализа. [Действующий от 01.07.94]. Изд. офиц. Москва : Стандартиформ, 2004. 13 с.

51. ГОСТ 18895-97. Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа. [Действующий от 01.01.98]. Изд. офиц. Москва : Стандартиформ, 2002. 17 с.

52. ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84). Металлы. Методы испытания на растяжение (с изменениями № 1, 2, 3). [Действующий от 01.01.86]. Изд. офиц. Москва : Стандартиформ, 2008. 39 с.

53. ГОСТ 6032-89 (ИСО 3651-1-76, ИСО 3651-2-76). Стали и сплавы коррозионно-стойкие. Методы испытания на стойкость против

межкристаллитной коррозии. [Действующий от 01.07.90]. Изд. офиц. Москва : Издательство стандартов, 1993. 31 с.

54. ГОСТ 14192-96. Маркировка грузов (с изменениями № 1, 2, 3). [Действующий от 01.01.98]. Изд. офиц. Москва : Стандартинформ, 2008. 29 с.