

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний
(повне найменування інституту, факультету)
фізичного матеріалознавства
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

машин
(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження та оптимізація
технології виробництва сталі АХТ-1
з метою підвищення її здатності витримувати
ванни

Виконав: студент(ка) II курсу, групи ІР-218М

Спеціальності 132, матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

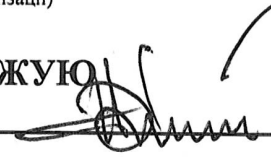
«Прикладне матеріалознав-
ство» Рукка К.Г.
(прізвище та ініціали)

Керівник Віниченко В.С. Мур
(прізвище та ініціали)

Рецензент Войков В.П. В.П.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет інженерно-фізичний
 Кафедра фізичного матеріалознавства
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність з прикладного матеріалознавства
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) 132 матеріалознавство
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри 

« 16 » 12 20 19 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Лука Катерина Іванівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження та оптимізація
технології виробництва сталі арматури з метою
підвищення її якості за допомогою
 керівник проекту (роботи) Вітченко Валерій Степанович
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 14 » листопада 20 19 року № 388

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 18 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Проект і об'єкт дослідження,
випробувальний склад сталі арматури та технологія
її виробництва.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вступ. Опис літературних джерел.
2. Матеріали та шпекли дослідження.
3. Вплив технологічних параметрів на
коefficient нормального анізотропії. 4. Охорона
праці та безпека у навчальних ситуаціях.
5. Економічна частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Мікроструктура шпекли сталі арматури; Схема техноло-
гічного процесу вироблення холоднокатаного шпекли;
Залежність температури зразка від часу перебування
шпекли в печі; Зміна ширини зразка при розгріванні.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1.	Виниченко В.С.	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>
2.	Виниченко В.С.	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>
3.	Виниченко В.С.	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>
4.	Нестеров О.В.	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>
5.	Крушкова В.В.	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>
	Нормоконтроль Ткач Д.В.	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i> 13.12.19

7. Дата видачі завдання « 15 » вересня 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Вступ. Опис літературних джерел.	10. 10. 19.	Виконано
2.	Матеріали та методика дослідження.	21. 10. 19.	Виконано
3.	Вивив технологічних параметрів на коефіцієнт нормальної анізотропії.	01. 11. 19.	Виконано
4.	Охорона праці та безпека у навчальних ситуаціях.	18. 11. 19.	Виконано
5.	Економічна частина.	13. 12. 19.	Виконано

Студент(ка)

[підпис]
(підпис)

[підпис]
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

[підпис]
(підпис)

Виниченко В.С.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 87 с., 7 рис., 17 табл., 36 джерел

Об'єкт дослідження – сталі 10X18H10T та 08X18T1.

Предмет дослідження – залежність властивостей від режимів термообробки.

Мета – дослідження впливу режиму термічної обробки сталі 08X18T1 та 10X18H10T для підвищення технологічних властивостей листових феритних корозійностійких сталей.

Метод дослідження – визначаємо коефіцієнт анізотропії за розробленою методикою.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: Розроблено математичну модель, яка пов'язує параметри термічної обробки холоднокатаного листа і коефіцієнт нормальної анізотропії, що визначає здатність листової сталі 08X18T1 до глибокої витяжки.

В роботі досліджено можливість підвищення здатності до штампування феритної нержавіючої сталі 08X18T1, шляхом оптимізації режиму термічної обробки гарячекатаного підкату і холоднокатаного металу.

ШТАМПУВАННЯ, СТАЛІ 10X18H10T та 08X18T1, СТУПІНЬ
ДЕФОРМУВАННЯ, РУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1.Огляд літературних джерел.....	8
1.1 Порівняльна характеристика феритних та аустенітних сталей.....	9
1.2 Властивості тонколистової корозійностійкої сталі в залежності від ступеня деформації.....	11
1.3 Критерії оцінки штампуємості	14
1.4 Оцінка штампуємості методом гідростатичного випучування.....	17
1.5 Оцінка штампуємості по методу Еріксона.....	18
1.6 Оцінка штампуємості по методу Свіфта.....	19
1.7 Оцінка штампуємості за допомогою F - критерія	19
1.8 Оцінка штампуємості за допомогою коефіцієнта нормальної анізотропії.....	21
1.9 Оцінка штампуємості за допомогою коефіцієнта зміцнення.....	23
2. Матеріал та методика досліджень.....	28
2.1 Дослідження матеріалів	28
2.2 Дослідження методик	33
2.2.1 Дослідження мікроструктури.....	38
2.3 Вибір типу плану для проведення експериментів.....	40
3. Результати дослідження та їх обговорення.....	45
4.Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	55
5. Економічна частина.....	64
Висновки.....	76
Список літератури.....	77
Додаток А.....	81
Додаток Б.....	82
Додаток В.....	83
Додаток Г.....	84

Додаток Д.....	85
Додаток Е.....	86

ВСТУП

Корозійностійкі сталі 10X18H10T та 08X18T1 широко використовуються в хімічній, харчовій, легкій промисловості і для теплообмінного обладнання в енергомашинобудуванні.

В даному дипломі розглянуті критерії для оцінки штампуємості, що дозволяють значно з економити матеріал. Проаналізований вплив технологічних параметрів, а саме коефіцієнта анізотропії, на здатність до штампування. Об'єктами дослідження є сталі 10X18H10T та 08X18T1, а предметом дослідження їх структура та властивості, які визначають їх здатність до пластичного деформування при виготовленні виробів.

Проаналізований вплив термічної обробки на структуру і властивості, які вона визначає. Приведений аналіз сучасного стану методів руйнівного контролю штампуємості листового прокату сталей. Побудована та проаналізована діаграма розтягування зразків зі сталі 08X18T1. З'ясована можливість використання певних параметрів цих діаграм, як критеріїв оцінки здатності листових сталей до холодної пластичної формозміни.

Одним із методів, що використовується в дипломній роботі є математичне моделювання.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Для розвитку виробництва в умовах ринкових відносин впливає підхід до використання високої вартості матеріалів і технологічних процесів.

Сталь 10X18H10T являється більш кошовною, тому застосовується феритна - корозійностійка сталь 08X18T1.

Альтернативою може бути впровадження в загальну технологічну схему виготовлення холоднокатаного (х/к) листа додаткової термічної обробки, яка б сприяла очищенню твердого розчину від надлишкових атомів вуглецю і азоту при утворенні карбонітридів.

В даний час проведення досліджень по оптимізації режимів обробки і технологічних властивостей листових феритних корозійностійких сталей є актуальною проблемою.

Аустенітна та феритна сталі застосовується для виготовлення виробів, які працюють в окисних середовищах, в харчовій, легкій промисловості, для побутових приладів і для теплообмінного обладнання в енергомашинобудуванні.

Феритні хромисті сталі мають високу корозійну стійкість в азотній кислоті, водних розчинах аміаку, в азотній суміші, фосфорної та фтористоводородної кислоти, а також в інших агресивних середовищах [1].

Однак феритні хромисті сталі мають ряд недоліків: схильність до росту зерна при нагріванні; крихкість при 475⁰ С; невисокі характеристики міцності та жаростійкості.

Отже, необхідно проводити дослідження, які спрямовані на покращення технологічності листових феритних корозійностійкої сталі 08X18T1, для того, щоб можна було розширити її використання в ряді випадків замість аустенітної сталі 10X18H10T.

Задачі дослідження. Дослідження впливу режиму термічної обробки сталей 08X18T1 та 10X18H10T для підвищення технологічних властивостей

листових феритних корозійностійких сталей при виготовленні із них виробів штампуванням.

Для досягнення вказаної мети були поставлені наступні задачі:

1. Проаналізований вплив технологічних параметрів виготовлення холоднокатаного листа на структурні зміни та властивості.

2. Розроблено рекомендації щодо вибору оптимальних режимів термічної обробки виготовлення х/к листа із феритних корозійностійких сталей типу 08X18T1.

1.1 Порівняльна характеристика феритних та аустенітних сталей

Розглянемо порівняльну характеристику хімічного складу (табл.1.1) та механічних властивостей (табл.1.2) феритних та аустенітних сталей [2].

Таблиця 1.1- Хімічний склад аустенітних сталей

Сталь	Хімічний склад, % мас.									
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al	Cu
12X21H5T	0,08-0,15	0,9	0,9	4,9-5,9	0,025	0,035	21-22	0,26-0,5	0,9	-
17X18H9	0,14-0,22	До 0,9	До 0,2	9-11	До 0,02	До 0,035	18-20	До 0,6	-	До 0,4
10X18H10T	До 0,2	До 0,8	1-3	11-12	До 0,02	До 0,035	18-19	До 1	-	-

В таблиці наведений хімічний склад аустенітних сталей. Як видно із таблиці дані сталі мають кількість вуглецю від 0,08 до 0,2%. Аустенітні сталі разом із хромом (на рівні 15...20%) містять нікель (5...15%), який збільшує деформацію та опір корозії [3]. З підвищенням вмісту хрому

(20%...25%) та нікелю (10%...20%) аустенітні сталі мають кращу стійкість до окиснення за високих температур.

Таблиця 1.2– Механічні властивості аустенітних сталей

Сталь	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	КСУ, Дж/см ²
12Х21Н5Т	844	490	16	45	590
17Х18Н9	726	363	55	-	-
10Х18Н10Т	628	304	40	-	-

В таблиці 1.2 приведені механічні властивості аустенітних нержавіючих сталей. Із таблиці можна зробити висновок, що найбільшу границю міцності та плинності має сталь 12Х21Н5Т, відповідно найменшу - 10Х18Н10Т. Із цього випливає, що сталь 12Х21Н5Т має бездоганні експлуатаційні характеристики, стійкою до механічних пошкоджень і утворенню іржі.

Таблиця 1.3 - Хімічний склад феритних сталей.

Сталь	Хімічний склад, % мас.							
	C	Si	Mn	Cr	S	P	Ti	V
08Х13	0,08	0,9	0,9	13-14	0,025	0,030	-	-
04Х14ТЗР1Ф	0,04- 0,06	0,7	0,5	14-16	0,020	0,025	2,4-3,6	1,1- 1,9
15Х25Т	0,15	0,9	0,9	25-30	0,025	0,035	0,6-1,0	-

В таблиці 1.3 приведений хімічний склад феритних нержавіючих сталей. Як видно із таблиці ці сталі мають концентрація вуглецю від 0,04 до 0,15%. Чим менший вміст вуглецю, тим менший вміст хрому. Наприклад, в сталі 04Х14ТЗР1Ф вміст вуглецю 0,04%, а кількість хрому 14%. З підвищенням кількості вуглецю до 0,15% хром вводять вже 25%. В даному випадку оцінюють вартість зниження вуглецю та вартість легування хромом.

Таблиця 1.4 – Механічні властивості феритних сталей

Сталь	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	КСУ, Дж/см ²
08X13	590	410	20	60	10
04X14T3P1Ф	500	320	15	20	10
15X25T	440	-	14	-	20

В таблиці 1.4 наведені механічні властивості феритних сталей. Можна зробити висновок, що найкращі механічні характеристики має сталь 08X13, тому її застосовують як корозійностійкий матеріал для виробів, до яких висуваються вимоги по пластичності та ударної в'язкості.

1.2 Властивості тонколистової корозійностійкої сталі в залежності від ступеня деформації

На прикладі в таблиці 1.5 розглянемо детально властивості тонколистових корозійних сталей зі ступенем деформації 70% та оберемо сталь, що буде мати кращі показники нормальної анізотропії та зміцнення [4].

Таблиця 1.5 – Властивості тонколистових корозійностійких сталей із ступенем деформації $\varepsilon = 70\%$.

Сталь	σ_B , МПа	σ_T , МПа	σ_T / σ_B	R	n	$\delta_{рівн.}$, %
12X21H5T	844	490	0,58	0,80	0,14	15,0
17X18H9	726	363	0,51	1,79	0,28	32,0
08X18T1	510	255	0,50	1,22	0,20	20,0

Продовження таблиці 1.5

08X18Ф2Т1	539	270	0,50	1,51	0,22	25,0
10X18Н10Т	628	304	0,49	1,93	0,30	36,0

Найкращими показниками механічних властивостей, нормальної анізотропії та зміцнення володіє тонколистова сталь 10X18Н10Т зі ступіню деформації 70%. Структура цієї сталі має однорідне зерно аустеніту номера 8-9 та дрібні включення карбїду титану [4].

Для виявлення оптимального ступеня деформації при холодній прокатці корозійностійкої сталі 10X18Н10Т (з хімічним складом: 0,09% С, 1,31% Мп, 0,52% Si, 0,025% Р, 0,009% S, 17,95% Cr, 10,60% Ni, 0,55% Ti, 0,20% Cu) полоси прокатали з товщини 1,12-4,10 мм до товщини 1,0 мм з різними ступіннями деформації від 10,5 до 75%.

Для даного металу була проведена термообробка - гартування у воді від температур 1090-1100⁰С з витримкою 1 хв на 1 мм товщини полоси, шавлення металу з різним ступенем деформації.

В таблиці 1.6 наведено властивості тонколистової корозійностійкої сталі 10X18Н10Т з різним ступенем деформації при холодній прокатці [4].

Таблиця 1.6 - Властивості сталі 10X18Н10Т з різним ступенем деформації

$\varepsilon, \%$	$\sigma_B, \text{МПа}$	$\sigma_T, \text{МПа}$	R	n	$\delta_{\text{рівн.}}, \%$
10,5	618	304	1,85	0,29	35,4
20,0	598	294	1,81	0,28	35,1
35,0	647	324	1,77	0,27	32,8
43,0	647	333	1,75	0,27	32,3
52,5	647	324	1,71	0,26	32,9
60,0	647	311	1,82	0,28	34,1
65,0	628	294	1,91	0,31	35,9

Продовження таблиці 1.6

68,0	628	294	1,98	0,32	36,8
70,0	628	304	1,93	0,30	36,0
75,0	647	324	1,86	0,29	33,5

В листах, що прокатані зі ступінню деформації 30-60%, спостерігалась різнозернистість структури аустеніту [4]. Листи, що прокатані зі ступінню деформації 30% в структурі мають невелику кількість зерен аустеніту (номер 8-9) та великі зерна (4-6) аустеніту с великими включеннями карбідів. Листи, що мають ступінь деформації 60% мають дрібні зерна аустеніту (9-10) та великі зерна (5-7) і дуже дрібні включення карбідів. Прокатані листи зі ступінню деформації 70% мають найбільш однорідну структуру, яка складається із дрібних зерен аустеніту (9-10), зерен фериту (1,0-1,5) та дрібних включень карбідів, що в свою чергу знижує пластичність листової сталі.

Однорідну структуру з великими зернами (8-9) в листах зі ступенем деформації 65-70% можна пояснити тим, що рекристалізація в процесі термічної обробки протікає з більш високою внутрішньою енергією та високою нестійкістю системи ніж у листів, що мають меншу ступінь деформації [4]. Окрім цього, при значній ступіні деформації зерна фериту, що утворювались, негативно впливали на пластичність та властивості листової сталі, із-за присутності двохфазної системи.

Також непогані властивості мають листи, що прокатані зі ступінню деформації 10-20%, оскільки ця ступінь деформації для розглянутої сталі являється критичною (з огляду отримання різнозернистої структури), вона на практиці не використовується.

Таким чином, можна зробити висновок, що оптимальна ступінь деформації при холодній прокатці тонколистової корозійностійкої сталі становить 65-70%. При цій деформації забезпечується отримання листової сталі в стані постачання з оптимальними механічними властивостями та

високими показниками пластичності, а також із сприятливою структурою, що зумовлює більш високі показники штампуємості.

Таким чином, змінювати режим пластичної деформації, як правило, складно в діючому виробництві. Це призводить до значних капітальних вкладень.

1.3 Критерії оцінки штампуємості

Деформація при холодній прокатці тонколистової корозійностійкої сталі сильно впливає на пластичні та механічні властивості та структуру.

Штампкування - це властивість матеріалу витримувати пластичну деформацію [5]. Штампкування залежить від початкового стану металу, а відповідно і від його властивостей. Механічні властивості, такі як: видовження (δ), твердість, тимчасовий опір розриву (σ_B), межі плинності ($\sigma_{0,2}$) впливають на штампуємість матеріалу.

Але, крім механічних властивостей на результат проведення штампкування впливає також кристалографічна структура металу, що обумовлює анізотропію його властивостей.

Коефіцієнт нормальної анізотропії - це відношення логарифмічних деформацій по ширині і товщині зразка при випробуванні його на розтяг [5]. Розраховується за формулою:

$$R = \frac{\ln \frac{b}{b_0}}{\ln \frac{t}{t_0}} \quad (1.1)$$

де b – поточна ширина

b_0 - первісна ширина

t – поточна товщина зразка

t_0 – первісна товщина зразка

Для ізотропного матеріалу коефіцієнт анізотропії R дорівнює 1.

Розрізняють 2 види анізотропії: нормальну анізотропію R_n та площинну анізотропію R_p [2].

Нормальна анізотропія R_n – відношення деформації по товщині до ширини. Коефіцієнт нормальної анізотропії R_n - це усереднений коефіцієнт анізотропії, який виміряний вздовж, поперек під кутом 45° до напрямку прокатки.

$$R_n = 0,25(R_{n0} + 2R_{n45} + R_{n90}) \quad (1.2)$$

де R_{n0} – коефіцієнт анізотропії, який виміряний вздовж до напрямку прокатки

R_{n45} – коефіцієнт анізотропії, який виміряний під кутом 45° до напрямку прокатки

R_{n90} – коефіцієнт анізотропії, який виміряний поперек до напрямку прокатки

Якщо $R_n \geq 1$, то листовий прокат деформується по ширині більше, ніж по товщині, тобто він має більшу міцність і чинить більший опір до зменшення товщини, порівняно з опором до зменшення ширини, що позитивно позначається при глибокій витяжці [3].

Якщо $R_n \leq 1$ – деформування листового прокату більше проходить по товщині, ніж по ширині, і це проводить до зменшення товщини при штампуванні, і відповідно до розривів заготовки.

Показник зміцнення n характеризує властивість листової сталі протистояти локальній деформації. Якщо листову сталь буде мати низьке значення n , то вона буде піддаватися локальній деформації на ранніх стадіях процесу деформації, якщо ж значення n буде високим, то буде проходити рівномірне деформування навіть при умові змінного значення прикладеного зусилля.

Площинна анізотропія R_p – це різниця між коефіцієнтом нормальної анізотропії та коефіцієнтом у виміряному напрямку [4]. Коли метал ізотропний в площині листа, він найбільш придатний до глибокої витяжки та штамповки. В такому випадку площинна анізотропії $R_p = 0$.

Границя міцності σ_B і плинності σ_T – також основні характеристики, що визначають опір матеріалу до деформації. Зі збільшенням σ_B і σ_T підвищуються опір деформації, потужність потрібного обладнання, пружна дія матеріалу [4].

Відношення σ_B/σ_T або різниця $\sigma_B - \sigma_T$ - показники пластичного деформування матеріалу без його руйнування. Зі збільшенням σ_B/σ_T або збільшенням різниці $\sigma_B - \sigma_T$, як правило, підвищується рівномірне подовження і технологічна пластичність матеріалу зростає.

Відносне рівномірне видовження $\delta_{\text{рівн}}$ - це відносне видовження зразка при випробуванні на розтяг в момент початку утворення шийки, а відносне рівномірне звуження $\psi_{\text{рівн}}$ - це відносне зменшення площі поперечного перерізу зразка в цей же момент [5].

На штампування металу впливають хімічний склад металу, структурна форма вуглецю, розмір та форма зерна фериту, стан поверхні листа, схильність сталі до деформаційного старіння [6].

Вплив легувальних елементів. Кількість вуглецю в сталі впливає на характеристики міцності. Зі збільшенням кількості вуглецю зростає твердість та пружність металу. При цьому штампування погіршується. Кількість в сталі сірки, фосфору та кремнію приводить до погіршенню пластичності, що приводить до виникнення тріщин при витягуванні [7]. Сильно впливають на штампування металу такі хімічні елементи як марганець, азот, кисень, хром, нікель, ніобій.

Алюміній позитивно впливає на штампування металу, зменшуючи коефіцієнт нормальної анізотропії.

Сталь 08X18T1 має схильність до міжкристалічної корозії. Це пов'язано з тим, що в прикордонних зонах виділяються карбіди хрому $M_{23}C_6$

та відбувається збіднення цих зон фериту хромом. Міжкристалічна корозія виникає лише тоді, коли карбіди $M_{23}C_6$ утворюють суцільну сітку по границям зерен. Розрив сітки в результаті коагуляції карбідів знижує схильність сталі до такого виду корозії.

1.4 Оцінка штампуємості методом гідростатичного випучування

Дослідження листової сталі методом гідростатичного випучування дозволяє виключити вплив багатьох факторів, наприклад, контактного тертя та розмір інструменту, та отримати істинні показники пластичності при рівномірному розподіленні навантаження на зразок в умовах двохосового розтягнення [8]. В цьому випадку критерієм міцності є інтенсивність напружень в полюсі ямки, яка вимірюється при максимальному тиску в момент втрати стійкості деформації:

$$\sigma_K = \frac{P_K \cdot R_K}{2t_K}, \quad (1.3)$$

де P_K – максимальний тиск рідини.

R_K і t_K – значення радіуса кривизни і товщини в полюсі купола ямки при тиску P_K .

Радіус кривизни визначають за формулою:

$$R = \frac{b^2 + a^2}{2a} \quad (1.4)$$

де b – радіус сферичного сегменту ($b=10$ мм).

a – висота сферичного сегменту, мм.

Величину інтенсивності деформації в полюсі ямки ε_e приймають як основний критерій пластичності. При максимальному тиску ε_k визначають за формулою [8]:

$$\varepsilon_k = \ln \frac{t_0}{t_k}, \quad (1.5)$$

де t_0 і t_k – початкова і кінцева товщина зразка в полюсі купола.

Необхідно проводити оцінку механічних властивостей листа при деформаціях, які перевищують значення, що досягаються в умовах одноосового напруженого стану. Завдяки більшій стійкості процесу деформації в умовах двохосового розтягування, матеріал витримує набагато вищі деформації та напруження, ніж при одноосовому розтягуванні. Це дозволяє оцінити властивості листових сталей при таких значеннях інтенсивності деформації, які мають місце при штампуванні, і не досягаються при одноосовому розтягуванні [8].

Недоліком методу є відсутність наукового обґрунтування зв'язку критерія істинної пластичності матеріалу із структурою.

1.5 Оцінка штампуємості по методу Еріксона

Випробування на видавлювання сферичної лунки стандартизовані ГОСТ 10510-83 [9] і призначені для листового прокату та стрічки із чорних і кольорових металів товщиною 0,1-2,0 мм.

У затисненому між матрицею і прижимом тримачем зразку видавлюється лунка пуансоном зі сферичним наконечником до появи

тріщини. Показником закінчення випробування є встановлення моменту утворення тріщини на зразку.

Найбільші розтягуючі напруження в листі виникають у місці, де циліндрична поверхня зразка, що випробовується, переходить у сферичну поверхню, що відповідає головці пуансону. У цьому ослабленому місці зазвичай виникають тріщини.

Для зменшення тертя зразка об інструмент під час цього випробування використовуються змащувальні речовини, що забезпечують повне відокремлення поверхонь, що труться. Напружений стан в методі Еріксона відповідає двохосьовому розтягуванню лише на початку витяжки, із-за значного впливу на результати випробувань тертя на пуансоні, характеру витяжки з-під притискування та виду змащувальної рідини [10].

Цей метод видавлювання треба розглядати лише як порівняльну при недоступності інших методів випробувань.

1.6 Оцінка штампуємості по методу Свіфта

Принцип оцінки штампуємості за методом Свіфта схожа на випробування на витягування циліндричної лунки.

Результати випробувань за цим методом залежать від розмірів та форми інструменту, величини зусилля притискування та рівномірності його розподілення по фланцю, якості обробки зразка та якості змащувальної речовини, радіусів закруглення кромки пуансона та матриці [11].

1.7 Оцінка штампуємості за допомогою F - критерія

Умова штампуємості металу без руйнування полягає у тому, що величина найбільшої деформації розтягнення $\varepsilon_1^{\max}$ в небезпечній зоні деталі не повинна перевищувати граничної деформації розтягу $\varepsilon_1^{\text{гр}}$ даної схеми деформації, тобто: $\varepsilon_1^{\max} \leq \varepsilon_1^{\text{гр}}$.

Отже, чим більша рівномірна деформація при одноосьовому розтягненні ε_p , тим більше $\varepsilon_1^{\text{гр}}$:

$$\varepsilon_p = \ln(1 + \delta_p) \approx \delta_p, \quad (1.6)$$

де δ_p - відносне рівномірне подовження. Короткий запис: $\varepsilon_1^{\text{гр}} \approx \delta_p$.

Величина найбільшої деформації розтягнення $\varepsilon_1^{\max}$ залежить від рівномірності розподілення величини ε_1 в небезпечній зоні. Чим рівномірніше це розподілення ε_1 , тим менше $\varepsilon_1^{\max}$:

$$\varepsilon_1^{\max} \sim 1/p, \quad (1.7)$$

де p – рівномірність розподілення деформації.

Зона, яка являється найбільшою неоднорідністю деформацій розраховується за формулою (1.3) та вона залежить від середньої $\bar{\varepsilon}_1$ і мінімальної $\varepsilon_1^{\min}$ деформації розтягнення.

$$H = \frac{\varepsilon_1^{\max} - \varepsilon_1^{\min}}{\bar{\varepsilon}_1} \quad (1.8)$$

На границі деформуємої зони $\varepsilon_1^{\min} = 0$, тоді формула (1.3) буде мати такий вигляд:

$$H = \frac{\varepsilon_1^{\max}}{\bar{\varepsilon}_1} \quad (1.9)$$

Рівномірність розподілення деформацій у всій зоні визначається за таким співвідношенням :

$$p = \frac{\overline{\varepsilon_1}}{\varepsilon_1^{\max}} \quad (1.10)$$

Рівномірність розподілення деформацій p залежить від таких властивостей металу як границя міцності (σ_B), границя текучості (σ_T), різниці у розмірі зерен фериту та коефіцієнтів нормальної анізотропії (R) [12].

Із вище зазначеного випливає, що мікроструктурна рівномірність деформацій повинна бути пропорційна виразу:

$$P_M = \frac{Rn\sigma_B}{\sigma_T 2\mu}, \quad (1.11)$$

1.8 Оцінка штампуємості за допомогою коефіцієнта нормальної анізотропії

Від граничних можливостей матеріалу в процесі штампування залежить якість та цілісність деталі. Граничні можливості матеріалу оцінюються допустимою деформацією в характерних зонах деталі. Гранична формозміна залежить від стану матеріалу, яка пов'язана зі схемою напружено-деформованого стану, температурно-швидкісним режимом штампування та анізотропією листа.

Анізотропія властивостей являється однією з фундаментальних характеристик речовини, яка визначається типом його кристалічної ґратки. При хаотичному розташуванні кристалів, що формується в процесі

заготівельного литва, дозволяє отримати квазіізотропний зливоч. Далі, при подальшій обробці тиском, а саме, при штамповці в полікристалічному зливку відбувається поворот зерен і розташування їх кристалографічних осей вздовж напрямку максимальної деформації. Отже, виникає текстура, яка наближає в анізотропію властивостей металургійних виробів до вихідної анізотропії кристалічної ґратки. У зв'язку з цим для деформованих металів та сплавів анізотропія фізико-хімічних властивостей є більш правилом, ніж виключенням [13].

Коефіцієнт нормальної анізотропії – це відношення деформацій по ширині до деформацій по товщині листа, що викликано при розтягуванні. Коефіцієнт нормальної анізотропії визначає здатність листового металу чинити опір утоненню за рахунок більшої зміни розміру по ширині і залежить від умов прокатки та хімічного складу сталі.

Проаналізувавши дослідження закордонних та вітчизняних авторів [14], можна зробити висновок, що підвищення коефіцієнта нормальної анізотропії позитивно впливає на здатність матеріалу до витяжки. При цьому підвищення зазначеного параметра в більшій мірі підвищує значення граничного коефіцієнта витяжки, ніж підвищення пластичності матеріалу. При виробництві листового металу для глибокої й складної витяжки доцільно досліджувати можливість підвищення його нормальної анізотропії, не зважаючи на деяке зниження пластичності.

Приведенні результати в роботі [14], свідчать про те, що зазначені властивості формуються протягом всього технологічного процесу одержання листового матеріалу. Однак коректування технології в умовах великого промислового виробництва, як правило, пов'язане з перебудовою відпрацьованої типової технологічної схеми й часто приводить до значних і невиправданих капітальних витрат. Із цієї причини більш реальним шляхом одержання бажаних результатів є оптимізація режимів термообробки у всьому ланцюгу операцій існуючої технології.

В останні роки практика термічної обробки особливо великих успіхів досягла у зв'язку із використанням теорії дефектів, математичного моделювання процесів, використання законів фізики. У відповідності із задачами науково-технічного прогресу більш широке використання знаходить термічна обробка прокатних виробів, яка дозволяє суттєво підвищити міцність металу.

1.9 Оцінка штампуємості за допомогою коефіцієнта зміцнення

Крім металографічної структури, що спостерігається під оптичним мікроскопом не менш важливу роль відіграє структура дефектів кристалічної ґратки, яку можна спостерігати та використовувати більш тонкі фізичні методи дослідження: рентгенографію, електронну мікроскопію, внутрішнє тертя.

Деформуємість листового металу визначаються структурною будовою металу, тобто типом і ступенем досконалості кристалічної текстури, розміром і формою зерна, щільністю дислокацій, дисперсністю вторинної фази. Ці фактори впливають на механічні та пластичні властивості, тому можливі значні зміни структури, а також здатності до витягування листової сталі при відповідності механічних властивостей стандарту [15]. Звідси і більшість всіх невідповідностей якості металу і кількості браку на виробництві.

Зміцнення металів в процесі пластичної деформації зумовлено значним збільшенням густини дислокацій і їх перерозподілом в об'ємі з утворенням різних дислокаційних структур, кожна з яких відрізняється механізмом деформаційного зміцнення. Тобто дислокаційні структури відрізняються за ефектом деформаційного зміцнення і можна очікувати, що послідовне

формування їх в процесі деформації повинно призводити до зміни ходу кривої навантаження.

Деформаційне зміцнення описується рівнянням:

$$\sigma = \sigma_0 + \alpha_0 G \cdot b \sqrt{\rho}, \quad (1.12)$$

де σ_0 – границя текучості.

α_0 – постійна, яка залежить від конкретної фізичної моделі

G – модуль зсуву

b – вектор Бюргерса

ρ – сумарна густина дислокацій

Сутність виразу (1.12) полягає в наступному: деформаційне зміцнення являється наслідком накопичення в об'ємі матеріалу деякої густини дислокації, що необхідна для забезпечення заданого ступеня деформації. При цьому зміцнення, яке обумовлене взаємодією дислокації практично не розрізняється коефіцієнтами [15], що ускладнює критичний аналіз деформаційного зміцнення в кожному випадку і примушує обмежуватися формальним описом процесу.

Рівняння (12) не бажано застосовувати для аналізу кривих деформаційного зміцнення. Але, використовуючи уявлення про середню довжину вільного пробігу дислокацій рівняння (12) можна записати у вигляді:

$$\sigma = \sigma_0 + \alpha_1 G_1 \sqrt{b/\sqrt{L}\sqrt{e}}, \quad (1.13)$$

де $\alpha_1 = 1,41 \alpha_0$

$\bar{L}$ - середня довжина вільного пробігу дислокацій

e – істина деформація

Якщо $\bar{L} = \text{const}$ то можна отримати модель деформаційного зміцнення Тейлора, що приводиться до параболічної залежності між істинними напруженнями S та істиною деформацією e :

$$S_i = \sigma_y + k \sqrt{e}, \quad (1.14)$$

де σ_y – напруження початку макроскопічної плинності;

$k = 1,41 \cdot \alpha_0 \cdot \left(\frac{b}{L}\right)^{0,5}$ – коефіцієнт параболічного деформаційного зміцнення.

Рівняння (1.14) описує фізичну природу деформаційного зміцнення і його залежність від деформації. Справедливість цієї умови можна перевірити фактично. Вона полягає в перебудові кривих навантаження в координатах, $S - \sqrt{e}$ в результаті якої криві навантаження стають прямими лініями.

Перебудова кривих навантаження в координатах $S - \sqrt{e}$ дозволяє виявити в області однорідної деформації три прямолінійних ділянки, на границях яких відбувається зміна коефіцієнту деформаційного зміцнення. Як свідчать електронно-мікроскопічні дослідження, наявність трьох стадій [16, 17] обумовлено формуванням дислокаційних структур - відповідно з рівномірним розподілом дислокацій, дислокаційних сплетінь та дислокаційних комірок.

Крім трьох основних параболічних стадій зміцнення, можуть проявлятися в залежності від особливостей матеріалу та умов випробування дві додаткові стадії [18]. Перша обумовлена затримкою пластичної деформації в ОЦК - металах через недостатню кількість вільних дислокацій та низькою швидкістю їх розмноження при малих напруженнях. Із-за цього на кривій навантаження утворюються «зуб» та площадка плинності. Особливістю такої стадії є локальне протікання деформації.

Друга додаткова стадія, що знаходиться в координатах $S - \sqrt{\epsilon}$ виглядає ділянкою параболи, спостерігається чітко при низьких та середніх температурах у металів та сплавів з низькою енергією дефекту пакування [18]. Довжина стадії складає від 0,5 до 2—3 % деформації. Ця лінійна стадія має свою характерну дислокаційну структуру, що відрізняється тим, що дислокації переважно утримуються в площинах працюючих джерел, утворюючи плоскі скупчення.

Аналізуючи криві навантаження приходимо до висновку, що лінійна стадія представляє собою фактично січну, котра якби зрізає на кривій параболічного зміцнення область найбільш крутого підйому напруження. Відповідно, заміна на певному етапі деформації параболічного зміцнення на лінійне, а потім навпаки, є енергетично вигідним процесом. Це, вірогідно, пов'язано з тим [19], що для того ж ступеню деформації при лінійному зміцненні необхідна менша щільність дислокацій, чим при параболічному, і пружна енергія зразка при лінійному зміцненні буде менше.

Як показують результати проведення випробування, основними параметрами загальної схеми процесу деформаційного зміцнення є:

1. σ_y – границя пружності, яка за наявності початкової та лінійної стадій знаходиться екстраполяцією першої параболічної стадії на нульову деформацію;
2. k_1 , k_2 та k_3 – коефіцієнти параболічного зміцнення трьох параболічних стадій;
3. ϵ_1 , ϵ_2 – критичні деформації, які відповідають кінцю стадії відносно однорідного розподілення дислокацій та початку стадії повністю сформованої комірчастої структури.

Характерним явищем для матеріалів із структурою ОЦК є те, що кутовий коефіцієнт K_1 на першому етапі параболічної стадії визначає загальну схему деформаційного зміцнення на двох наступних стадіях. В свою чергу конкретна величина K_1 контролюється параметрами, які певним чином впливають на рухомість дислокацій [20].

Як бачимо, границя пружності σ_y займає перше місце серед вказаних параметрів. Вона є відправною точкою процесу деформаційного зміцнення. Величина σ_y є однією з найбільш фізично обґрунтованих характеристик міцності, які визначаються в механічних випробуваннях та використовується для описання механічної поведінки металічних матеріалів. Реальність величини σ_y підтверджується можливістю обмеження цієї величини безпосередньо на перебудованих в координатах $S - \sqrt{\epsilon}$ кривих навантаження. На прикладі кривих навантаження низьковуглецевої сталі показано [20], що можна повністю усунути «зуб» та площадку плинності, а також відновити, практично всю параболічну криву від моменту початку пластичного ходу. Досягається це за рахунок створення тонкого деформованого шару на поверхні зразка при попередніх циклічних навантаженнях згину з амплітудою порядку границі плинності.

Це все можна також спостерігати і у полікристалічних ГЦК - металів, які ще більш схильні до деформаційного зміцнення.

Підсумовучи все вищезазначене, можна зробити такі висновки:

- на сьогодні використовуються різні параметри оцінки здатності до штампування тонколистового металу. Вони всі використовуються для перевірки штампуємості металу в конкретних умовах, зокрема: витяжки, штампування з двоосьовою деформацією та інше. Як правило, вони не пов'язані напряму зі структурою. Тому в даній роботі однією із задач було порівняти такі параметри за достовірністю передбачення здатності металу до витяжки;

- здатність до штампування феритних нержавіючих сталей не завжди дозволяє замінити ними аустенітні сталі. Тому в даній роботі ще однією задачею було виявлення можливості підвищення здатності до штампування феритної сталі 08X18T1.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Дослідження матеріалів

В даній роботі використовували стандартну сталь 08X18T1 виробництва ПАТ «Запоріжсталь». Використовувались спеціальні та стандартні методики. Експерименти проводили в виробничих умовах ПАТ «Запоріжсталь».

Розглянемо хімічний склад сталі 08X18T1, який наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1- Хімічний склад сталі 08X18T1 (ГОСТ 5632-72) [22]

Марка сталі	Вміст легувальних елементів, % (мас.)							
	C	Cr	Si	Mn	Ni	Ti	P	S
08X18T1	0,08	18,11	0,77	0,6	0,22	0,56	0,035	0,025

Введення сильних карбідоутворюючих елементів в феритні корозійностійкі сталі таких, як Ti, вирішує комплексну задачу оптимізації механічних властивостей і корозійної стійкості [23].

Для кращого засвоєння, одну частину титану додають в піч, а другу - в струмінь під час випускання сталі із печі.

При відкритому способі виплавки, під час якого відбувається насичення залізо-хромистого розплаву киснем і азотом, присадки титану сприяють дегазації сталі внаслідок утворення оксидних і нітридних TiN неметалевих сполук. Частка титану, що розчиняється у твердому розчині зменшує термодинамічну активність вуглецю і в процесі розвитку дифузії відбувається реакція (15), що сприяє зменшенню частки вуглецю у ВХФ:



Зв'язування елементів впровадження в стійкі первинні сполуки повинно призводити до стабілізації феритної структури у всьому інтервалі температур і виключати можливість неповного гартування при охолодженні.

Виведення із складу твердого розчину атомів домішок супроводжується зменшенням рівня спотворень кристалічної ґратки, підвищенням рухомості дислокацій, що позитивно позначається на технологічних властивостях металу, зокрема на здатності листових заготовок до штампування [23].

На рисунку 2.1 наведена мікроструктура сталі, яка досліджується в рекристалізованому стані.

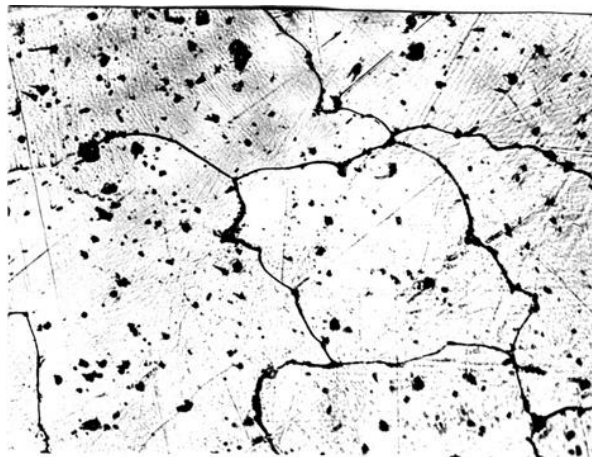


Рисунок 2.1– Мікроструктура литої сталі 08X18T1, $\times 200$

Мікроструктура являє собою твердий розчин з окремо розташованими карбідами.

На рисунку 2.2 наведена схема технологічного процесу виготовлення холоднокатаного листа.

Зливки масою 12,9 т передаються в цех слябінгу комбінату “Запоріжсталь”, за 8 годин після розливання, далі завантажувалися в нагрівальні колодязі гарячими. Температура комірки перед завантаженням

зливка була $970-1000^{\circ}\text{C}$, а після завантаження – $760-780^{\circ}\text{C}$. Тривалість томління при $920-970^{\circ}\text{C}$ – 7 годин.

Прокатку зливків на слябінгу на розмір $129 \times 1050 \times 4700$ виконано за 19 проходів. Після прокатки $830-860^{\circ}\text{C}$, сляби охолоджувались до температур $200-400^{\circ}\text{C}$, після чого проводилась рихтовка і зачищення поверхневих дефектів.

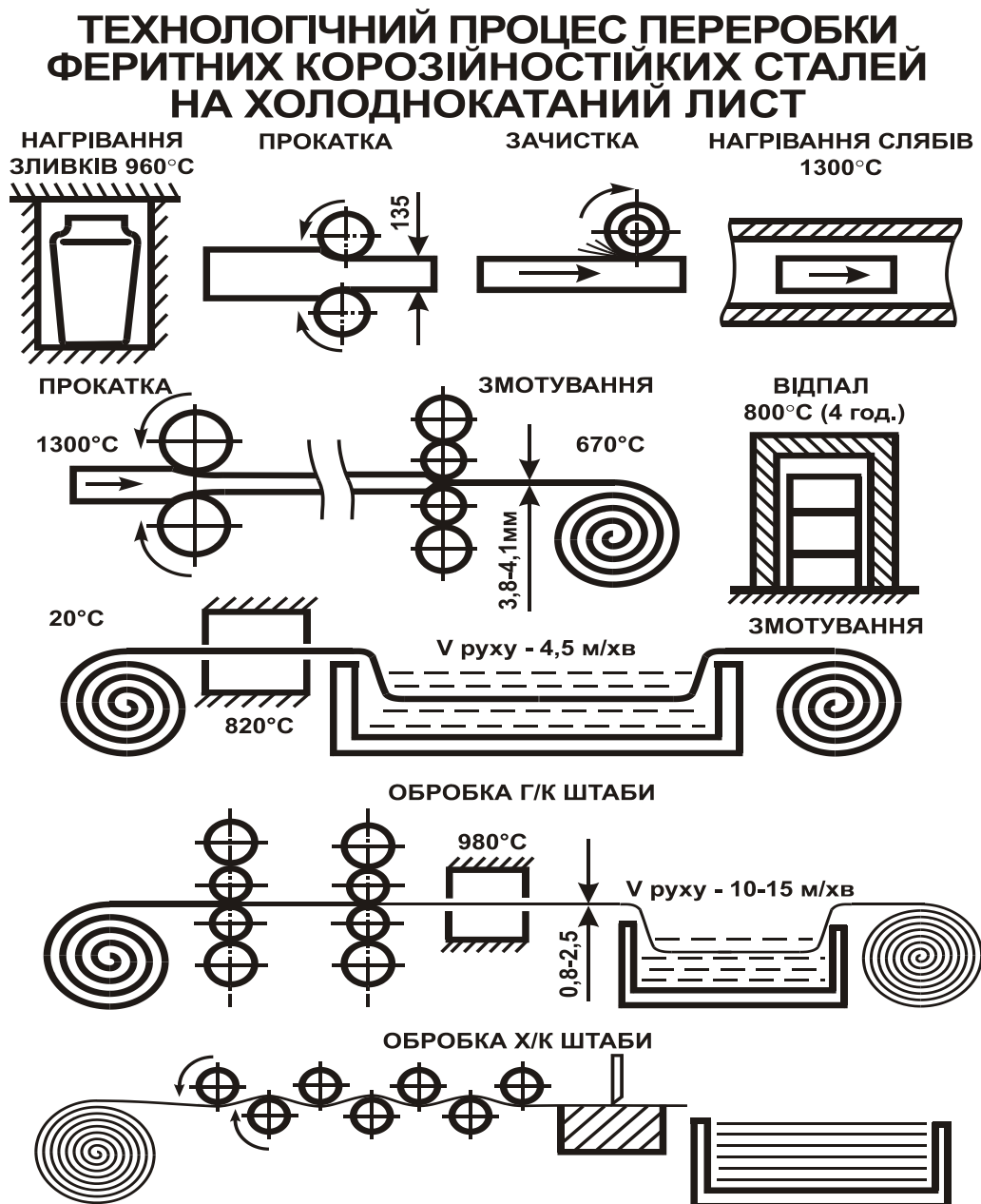


Рисунок 2.2 – Схема технологічного процесу виготовлення холоднокатаного листа [24].

Термодеформаційні режими цієї операції і є причиною інтенсивного пересичення твердого розчину атомами вуглецю і азоту. Температура в зоні методичної печі 1280-1300°C, загальна тривалість томління при температурі 1250-1270°C складала 1 годин 55 хвилин. Регламентовані температурні режими нагрівання слябів в більшій мірі визначаються технологічними аспектами виробництва, при цьому ніяк не враховуються зміни, які відбуваються в структурі феритних корозійностійких сталей. Процес гарячої прокатки слябів на листи товщиною 3,8-4,0 мм завершується при температурі 870-930°C. Змотування гарячекатаної штаби в рулон проводиться при температурі 670°C, загальна тривалість охолодження рулону до кімнатної температури складає 16 годин.

На даному етапі металургійної переробки г/к підкат знаходиться в нерівноважному стані із пересиченим твердим розчином і нерекристалізованою структурою.

Для подальшої операції обрізки кромek метал передається на лінію безперервного гартувального агрегату (БГА-1), температура в печі становить 820-850°C. Згідно із регламентованими на виробництві умовами, швидкість руху гарячекатаної штаби в агрегаті відповідає 4,5 м/хв ($\tau_{\text{витр.}}=0,67$ хв/мм). З метою зміни термодинамічного стану системи і виділення надлишкових фаз із ВХФ, було запропоновано зменшити швидкість руху г/к штаби до 2,0-2,2 м/хв. ($\tau_{\text{витр.}}=0,67$ хв/мм).

Для оцінки динаміки карбідних перетворень в матеріалі г/к підкату, в виробничих умовах проводили додаткову термічну обробку за відповідними режимами. Високотемпературну обробку, а саме гартування з температур 900, 1000, 1100°C виконували в прохідних роликівих печах. Швидкість руху штаби в робочому просторі печі підтримувалась такою, що час витримки складав 1 хв/мм.

Від обробленої таким чином г/к штаби відбирались картки, з яких потім виготовляли зразки для проведення досліджень мікроструктури і механічних випробувань.

Перед холодною прокаткою для відшаровування окалини з поверхні г/к штаби, проводили обробку на безперервній травильній лінії. При проходженні штаби крізь лужну ванну із температурою розплаву лугів 450-530°C, відбувається перетворення оксидів хрому з 3-х валентних в 6-ти валентні і розрихлення окалини. Безпосереднє стравлювання забезпечується в розчинах сірчаної кислоти. Швидкість руху штаби на травильній лінії 10-15 м/хв.

Холодна прокатка проводилась на реверсивному 20-ти волковому тонколистовому стані із ступенями деформації (37-75 %) на товщину 1,0 мм.

Для зняття нагартованого стану, холоднодеформований метал рекристалізувався в агрегаті БГА-2, температура в якому змінюється по зонам в інтервалі 860-1000°C. Швидкість руху штаби в агрегаті складала 9 м/хв. ($\tau_{\text{витр.}}=1,5-2,3$ хв/мм), при такій швидкості температура металу на виході становила 960-980°C. В подальшому рекристалізований холоднокатаний метал, також підлягає операціям стравлювання окалини лужно-кислотним способом.

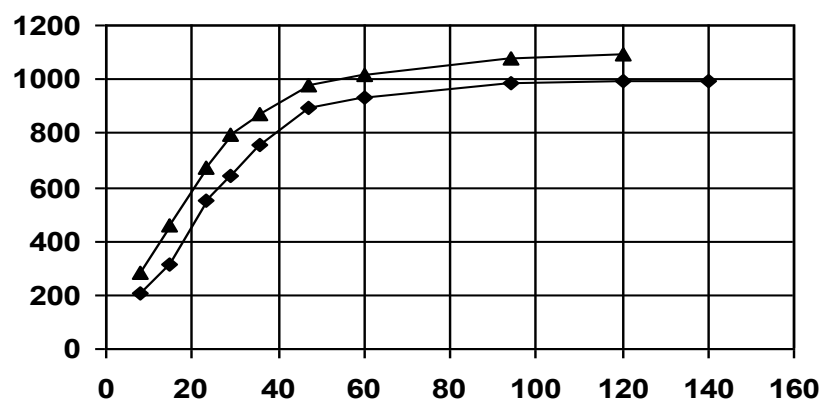
З метою правки штаби і запобігання появі ліній Людерса в процесі формозмінювання готової металопродукції, як кінцева технологічна операція, проводилося дресирування х/к штаби із ступенями деформації 2-3 %.

Змінними факторами служили: температура гартування підкату, температура нагрівання і час витримки при термообробці (рекристалізаційному відпалі з охолодженням у воді) холоднокатаного металу, а як вихідний параметр використали коефіцієнт нормальної анізотропії.

З холоднокатаного металу виготовляли плоскі розривні зразки (за ГОСТ 1497-61) [25]. Заготовки для зразків вирізали поперек прокатки, оскільки в цьому напрямку в заводському металі коефіцієнт анізотропії звичайно нижче, ніж в інших напрямках.

2.2 Методика дослідження

Холоднокатаний метал, поступає на термообробку неокисленим, то з метою більш точного вибору часу нагрівання зразків побудували експериментальні залежності температури неокисленого зразка товщиною 1 мм від часу знаходження в печі, нагрітої до температури рекристалізаційного відпалу (рис. 2.3). Температуру кожного зразка вимірювали за допомогою привареної до нього платинородівої-платинової термопари.



▲ – температура в печі 1100°C;

◆ – температура в печі 1000°C;

■ – температура в печі 800°C.

Рисунок 2.3 – Залежність температури зразка від часу перебування його в печі, що нагрітий до заданої температури

Найбільш розповсюджений метод випробувань - випробування на одноосьове розтягування [26]. Методика випробування на розтягування при кімнатній температурі регламентується ГОСТ 1497-61 [27]. Він

розповсюджується на чорні та кольорові метали і вироби, товщина яких більше 0,5 мм і встановлює методи статичних випробувань на розтяг для визначення наступних характеристик: границі пропорційності, границі плинності (фізичної), границі пружності, границі плинності (істинної), істинного опору розриву, тимчасового опору, відносного звуження після розриву, відносного видовження після розриву.

Щоб забезпечити на робочій частині зразка лінійного напруженого стану розтягу, зусилля необхідно прикладати в центрі перерізу зразка і спрямовувати чітко вздовж його повздовжньої осі.

На практиці для випробувань на розтяг листових матеріалів використовують плоскі зразки у вигляді стрижня з прямокутним перерізом. Крім основної робочої частини, більшість зразків має головки різної конфігурації для закріплення в захватах.

При випробуванні на розтягування тонких листів використовують такі позначення та визначення:

- робоча довжина зразка l мм – це частина зразка, яка має постійний поперечний переріз і розташована між головками зразка для захватів;
- початкова розрахункова довжина зразка l_0 , мм – це ділянка зразка, на якому визначається видовження;
- кінцева розрахункова довжина зразка l_k , мм - довжина розрахункової частини після розриву зразка;
- початкова ширина зразка в робочій частині b_0 , мм;
- початкова товщина зразка a_0 , мм;
- початкова площа поперечного перерізу в робочій частині зразка S_0 , мм²;
- осьове навантаження розтягу P , яке діє на зразок в момент випробування, Н;
- умовне нормальне напруження ϵ , МПа;
- абсолютне видовження розрахункової довжини зразка після розриву Δl , мм - різниця довжин l_k та l_0 .

Механічні властивості при розтягуванні визначали на пропорційних коротких зразках типу I із розрахунковою довжиною $5,65 \sqrt{F_0}$.

Вирізання заготовок виконується на ножицях або металорізальних станках. Були прийняті заходи попередження можливої зміни властивостей металу зразків внаслідок нагріву та наклепу. Зразки, що мали кривизну випробували без додаткової правки. Кривизна викликана змотуванням стрічки в рулон. На робочій частині довжини зразка за допомогою слабкого подряпування наносили риски-поділki через кожні 10 мм по всій розрахунковій довжині для визначення рівномірного відносного видовження до границі початку закруглень.

Ширину і товщину зразків до випробування визначали з точністю 0,01 мм та заміряли не менше ніж в трьох місцях: по середині і по краях робочої частини. За найменшим розміром розраховували площу поперечного перерізу зразка з округленням в межах 0,1. Клейма на зразках виставляли за робочою частиною.

Для різко виділяючихся значень, використовували вимоги по обмеженню відхилень, що наведені у ГОСТ 11.002-73 [28]. Загальна довжина заготовок, з яких виготовляли зразки 360 мм.

Для проведення механічних випробувань була використана розривна універсальна машина з механічним приводом типу УМЕ-10Т, яка відповідає вимогам ГОСТ 1497-61 [29]. При проведенні механічних випробувань необхідно дотримуватись таких вимог:

- надійне центрування зразка в захватах випробувальної машини;
- можливість призупинення навантаження з точністю до однієї найменшої поділки шкали сило вимірювача;
- повільне зростання навантаження.

Щоб відбувалося безперервне продовження деформування зразка необхідне постійне збільшення напружень, що на нього діють. Це явище називається деформаційним зміцненням. Воно з'являється при холодній пластичній деформації металу і зумовлено гальмуванням дислокацій. Чим

важче пересуватися дислокаціям в металі, тим більше коефіцієнт деформаційного зміцнення, що характеризує нахил кривої розтягування. В процесі випробування цей коефіцієнт може змінюватися і його зміна в результаті визначає геометрію діаграми розтягування.

Після руйнування зразків визначили границю міцності σ_B і повне відносне видовження δ_5 [30].

Щоб визначити здатність металу до пластичної деформації в площині підраховували коефіцієнт нормальної анізотропії на розривних зразках в місці розрахунку рівномірного видовження.

Коефіцієнт нормальної анізотропії розраховували за формулою:

$$R = \frac{\ln \frac{b_0}{b_k}}{\ln \frac{b_k \cdot l_k}{b_0 \cdot l_0}}, \quad (1.16)$$

де b_0 – початкова ширина зразка, мм;

b_k – кінцева ширина зразка, мм;

l_0 – початкова довжина розміченої ділянки, мм;

l_k – кінцева довжина розміченої ділянки зразка, мм.

Для визначення коефіцієнта нормальної анізотропії R ширину зразка вимірювали перед випробуванням і після руйнування зразка в середині розрахункової ділянки для визначення рівномірного подовження. При рівномірному розтягуванні коефіцієнти анізотропії залишаються постійними і тому їх можливо визначити і при максимальній рівномірній деформації [31].

Оскільки відомо, що точність виготовлення зразків для випробування на розтяг впливає на результати дослідили зміну деформації по довжині зразка від його ширини після декількох стадій розтягу (рис.2.4, 2.5). Видно,

що на довжині у 250 мм досить суттєва різниця у відносному видовженні зразка. Тому вимірювали цю величину на довжині у 10 мм, на кожній розміченій ділянці. На тих же ділянках вимірювали і ширину зразка. З тим, щоб не зменшилась точність вимірювання, застосували інструментальний мікроскоп замість штангенциркуля.

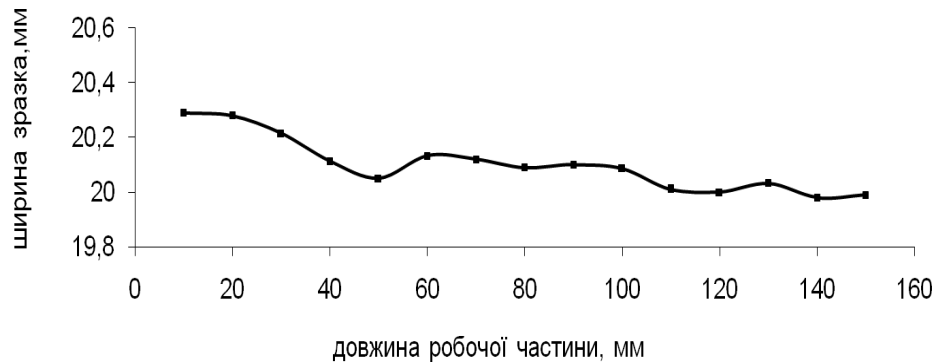


Рисунок 2.4 – Зміна ширини зразка при розтягуванні

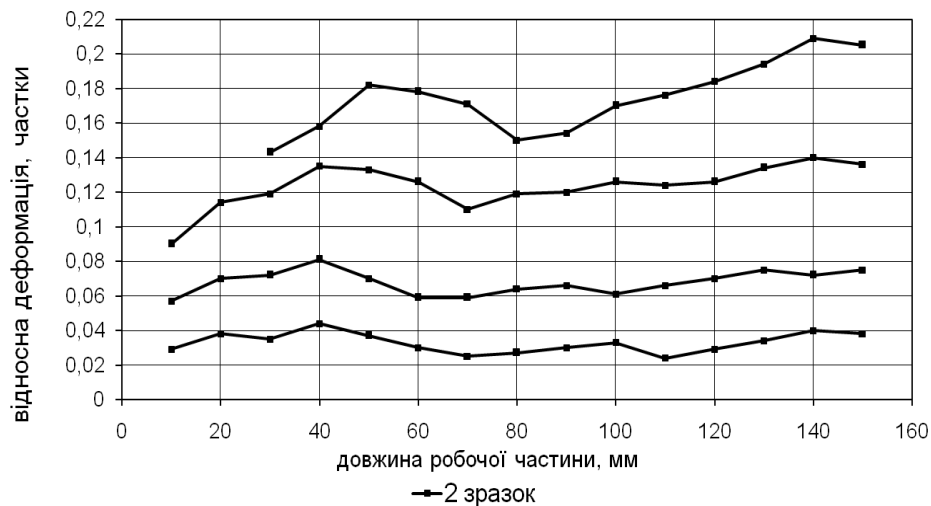


Рисунок 2.5 – Зміна деформації зразка при розтягуванні

На кожному зразку по довжині проводили по 10-ть вимірювань. Таким чином збільшили кількість вимірювань у 10-ть разів. Це дозволило зменшити випадкову похибку при визначенні коефіцієнта нормальної анізотропії.

2.2.1 Дослідження мікроструктури.

Мікроскопічний метод – найрозповсюджений метод дослідження структури металів. Вид полірованої поверхні металу не дає уявлення про його дійсну структуру, а лише створює уявлення про наявність неметалевих включень та їх розподіл. Щоб чітко побачити структуру металу необхідно піддати поверхню мікрошліфа короткочасному впливу слабкого розчину соляної або азотної кислоти. Дія кислоти полягає в тому, що вона по-різному розчиняє різні структурні елементи металу, якщо він неоднорідний за своєю будовою.

Сутність мікроскопічного методу полягає у вивченні структури металу під мікроскопом при збільшенні від 50 до 2000 разів. Також можна якісно оцінити ступінь рекристалізації металу під час відпалювання при різних режимах.

В нашому випадку, структура листової корозійностійкої сталі 08X18T1 досліджувалась металографічним методом за допомогою оптичного мікроскопу Неофот 21. Крім збільшення зображення до 2000 разів, він наділений фотоприладом, що дає змогу фотографувати отримані структури при різних збільшеннях.

Для аналізу структури вирізались зразки з гарячекатаної штаби розміром 35×45 мм. Для аналізу структурних змін в залежності від інтенсивності обтиснення в поверхневих і внутрішніх частинах металу зразки шліфували з бокової поверхні так, щоб перетин мікрошліфа відповідав 3,8×4,0 мм (вздовж напрямку прокатки).

В процесі дослідження вивчали вплив різних варіантів термічної обробки на зміну структурного стану твердого розчину по домішкам впровадження в інтервалі температур 650-1300°C. Вивчення характеру зміни розчинності вуглецю і азоту проводили шляхом фіксування структурного

стану в зразках, загартованих від температур вказаного інтервалу при еквівалентних режимах витримки впродовж 1 год.

Щоб дослідити зміни фазового складу, які відбуваються в процесі подальшого охолодження зразків від температури нагрівання, гарячекатані зразки нагрівали в температурному інтервалі 650-1300°C, витримували впродовж 1-3 год., після чого охолоджували із піччю до температури 600°C і охолоджувались на повітрі.

Аналіз мікроструктури проводили на шліфах, які хімічним способом травили в реактиві Вілела, що мали такий склад:

- соляна кислота 5,1 мл;
- пікринова кислота 1,2 гр;
- етиловий спирт 96 мл.

В залежності від режимів термічної обробки тривалість травлення шліфів складала 5-15 хв.

Відповідно до ГОСТ 5639-65 [32] розмір зерна визначали в балах. Оскільки штампуємість залежить від величини зерна фериту, рекомендується сталь, що має зерна номерами 6 - 8. Такий розмір зерна пояснюється тим, що при дрібному зерні виникає «пружний» ефект і штампи починають швидко зношуватися. При крупному зерні утворюється шорсткувата поверхня та розриви.

Слід зауважити, що при візуальному порівнянні об'ємна частка вторинних фаз в структурі загартованих зразків була значно меншою ніж після відпалювання з цієї ж температури. В процесі охолодження з температури відпалу, відбувається додаткове виділення низькотемпературних модифікацій вторинної фази.

2.3 Вибір типу плану для проведення експериментів

З метою дослідження є отримання математичного опису досліджуваного процесу. Часто через складність процесу або малого обсягу інформації невідому залежність величини ξ від k незалежних факторів представляють поліномом виду [33]:

$$\xi = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < l \leq k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2 + \dots \quad (1.17)$$

В цьому випадку необхідно визначити коефіцієнти рівняння і оцінити їх значимість. За результатами дослідів можна визначити тільки вибіркові коефіцієнти регресії: b_0 , b_i , b_{il} , b_{ii} ..., які є лише оцінками теоретичних коефіцієнтів b_0 , b_i , b_{il} , b_{ii} ... поліному. Рівняння регресії, що отримане за результатами дослідів, має вигляд:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < l \leq k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2 + \dots \quad (1.18)$$

де y – вибірка оцінка функції відгуку ξ .

Якщо апріорна інформація про порядок полінома відсутня, то модель досліджуваного процесу підбирають, починаючи з простого лінійного рівняння, послідовно збільшуючи ступінь поліному до отримання адекватної моделі. Процес отримання моделі в таких випадках здійснюється наступним чином. Спочатку реалізується повний факторний експеримент 2^k або експеримент, що представлений дробовою реплікою 2^{k-p} , де p - число ефектів взаємодії, замінених новими змінними. За результатами дослідів, виконаних відповідно до цих планів, знаходять коефіцієнти лінійного рівняння регресії.

Якщо це рівняння виявляється неадекватним, знаходять коефіцієнти регресії при ефектах взаємодії факторів. Якщо рівняння регресії з урахуванням взаємодії факторів виявиться також неадекватним, то виконані раніше досліді доповнюють дослідями в «зіркових» точках з плечем α , та дослідями в центрі плану, число яких дорівнює n_0 . Число дослідів в «зіркових» точках дорівнює $2k$. За результатами дослідів, що виконані згідно з плану $2k$ або 2^{k-p} та додаткові досліді в «зіркових» точках і в центрі плану, оцінюють коефіцієнти поліному другого порядку. Досліджуваний процес часто вдається описати поліномом другого порядку. У випадку неадекватності полінома другого порядку переходять до планування третього порядку та описують досліджуєми процес поліномом третьої ступені [33].

При дослідженні процесів та систем з двома факторами, раціональним являється план типу правильного шестикутника (18), на якому вказані номери дослідів, а в дужках – рівні факторів в цих дослідях. Зазвичай n_0 приймають рівним 4. У цьому випадку розглянутий план передбачає проведення 10 дослідів, з яких шість виконуються при рівнях факторів, які вказані на вершинах шестикутника, і чотири досліді - при рівнях чинників, відповідних до центру плану. Цей план є рототабельним і по числу дослідів більш економічним, ніж відповідний рототабельний план другого порядку, що вимагає для своєї реалізації 13 дослідів: повний факторний експеримент типу 2^2 містить 4 досліді, в «зіркових» точках необхідно провести $2k = 2 \cdot 2 = 4$ досліді і 5 дослідів в центрі плану.

Інша позитивна сторона цього плану в тому, що для фактора x_1 , він вимагає використання п'яти рівнів (+1; +0,5; 0; -0,5; -1), а для фактора x_2 - всього трьох рівнів (+0,866; 0; -0,866).

Центральний композиційний рототабельний план другого порядку передбачає використання обох факторів на п'яти рівнях (+1,414; +1; 0; -1; -1,414). На практиці число рівнів часто виявляється обмеженим, тому зменшення числа рівнів факторів є великою перевагою плану. Зміна рівнів факторів в процесі дослідження ускладнює і здорожує експеримент.

Для числа факторів від трьох до семи розглянуто цінний, в практичному відношенні клас не композиційних планів другого порядку. Ці плани являють собою певні вибірки рядків з повного факторного експерименту типу 3^k [33]. У цих планах кожна змінна варіюється всього на трьох рівнях: +1, 0, -1, в той час, як центральні композиційні рототабельні плани другого порядку передбачають використання кожного фактора на п'яти рівнях. Зміна рівнів в процесі експериментування ускладнює експеримент і збільшує його вартість. Використання не композиційних планів, що передбачають всього три рівня варіювання факторів, спрощує і здешевлює проведення експерименту. Не композиційні плани характеризуються наявністю в рядках матриці планування великого числа нулів, в результаті чого істотно спрощується обчислення коефіцієнтів моделі. Крім того, не композиційні плани для 3, 4, 6 і 7 факторів вимагають постановки меншого числа дослідів в порівнянні з відповідними рототабельними центральними композиційними планами другого порядку.

В результаті виконання плану другого порядку отримуємо поліном другого ступеня, описує область оптимуму:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < l \leq k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1 \leq i \leq k} x_i^2$$

В такому вигляді рівняння аналізувати складно, тому завдяки перетворенням його приводять до канонічної форми. Канонічне перетворення рівняння другого ступеня заключається в виборі нової системи координат, в якому рівняння приймає більш простий вигляд [33]. Нову систему координат отримують шляхом паралельного перенесення старої системи в новий початок і повороту координатних осей щодо цього початку. В результаті перетворення канонічного рівняння одержують стандартне канонічне рівняння:

$$Y - Y_s = B_{11}x_1^2 + B_{22}x_2^2 + \dots + B_{kk}x_k^2 \quad (1.19)$$

де Y - значення параметра оптимізації;

Y_s - значення параметру оптимізації в новому початку координат;

x_1, x_2, x_k – канонічні змінні, які є лінійними функціями чинників;

B_{11}, B_{22}, B_{kk} - коефіцієнти рівняння регресії в канонічній формі.

Першим етапом канонічного перетворення є перенесення початку координат в особливу точку - центр поверхні відгуку. Для визначення координат цієї точки рівняння (19) диференціюють по кожній незалежній змінній і прирівнюючи похідні нулю, отримують систему рівнянь. При апроксимації функції відгуку поліномом другого степені і диференціюванні його по кожній незалежній змінній отримують систему k лінійних рівнянь. Якщо визначник цієї системи рівнянь дорівнює нулю, то поверхня відгуку не має центру. У цьому випадку початок координат не переносять або переносять в точку з найкращим значенням параметра оптимізації. Якщо поверхня має центр, то визначник системи відрізняється від нуля, тоді початок координат переносять в центр. Вирішуючи зазначену вище систему рівнянь, знаходять координати центру s поверхні в старій системі координат [33]. При паралельному переносі системи координат в центр s поверхні у вихідному рівнянні зникають члени, що містять лінійні ефекти, і змінюється вільний член. Коефіцієнти при других ступенях та взаємодіях інваріантні щодо перенесення. Знайдені значення координат центру s підставляють у вихідне рівняння, визначаючи значення параметра оптимізації Y_s в центрі. Після паралельного перенесення координатних осей рівняння (19) приймає вигляд:

$$Y = Y_s + \sum_{1 < i < l < k} b_{il} \tilde{x}_i \tilde{x}_l + \sum_{1 < i < k} b_{ii} \tilde{x}_i^2 \quad (1.20)$$

де Y_s - значення параметру оптимізації в новому початку координат;

$\tilde{x}_i$ та $\tilde{x}_l$ — нові координати.

Другим етапом канонічного перетворення є поворот координатних осей в новому початку координат до суміщення їх з головними осями геометричної поверхні, відповідної функції відгуку, яка вивчається. При повороті координатних осей зникають члени з ефектами взаємодії і змінюються коефіцієнтами при других ступенях. Вільний член інваріантний щодо повороту координатних осей. В результаті повороту осей отримують рівняння:

$$Y - Y_s = B_{11}x_1^2 + B_{22}x_2^2 + \dots + B_{kk}x_k^2$$

Для визначення коефіцієнтів B_{11} , B_{22} та B_{kk} необхідно розв'язати рівняння:

$$f(B) = \begin{vmatrix} b_{11} - B & \frac{1}{2}b_{12} & \frac{1}{2}b_{1k} \\ \frac{1}{2}b_{21} & b_{22} - B & \frac{1}{2}b_{2k} \\ \frac{1}{2}b_{k1} & \frac{1}{2}b_{k2} & b_{kk} - B \end{vmatrix} = 0 \quad (1.21)$$

Корені цього рівняння будуть шуканими коефіцієнтами регресії B_{ii} .

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Механічні властивості листової сталі в площині листа відрізняються від механічних властивостей в напрямку його товщини. Така площинна анізотропія є наслідком утворення текстури при прокатці. Її ступінь характеризують коефіцієнтом нормальної анізотропії (R). Існує істотна кореляція між здатністю до штампуємості та коефіцієнтом нормальної анізотропії [34]. Чим більше коефіцієнт нормальної анізотропії за 1,0, тим вища здатність металу до стійкої деформації в площині листа і тим вище опір потоншенню в процесі витяжки, відповідно, тим менше розривів при штампуванні деталей.

Крім того, листова сталь має не однакові механічні властивості в різних напрямках щодо напрямку прокатки в площині листа. При цьому треба враховувати, що значення коефіцієнта нормальної анізотропії не завжди є достатніми в різних напрямках, в яких відбуваються деформації певної величини. З метою встановлення розподілу деформацій заготовки напівкорпусу глушника була проведена штамповка трьох заготовок зі сталі 08X18T1 з нанесеними електрохімічним методом на їх поверхню колами діаметром 6 мм. При аналізі форми та розмірів даних кіл на відштампованих заготовках було встановлено, що найбільшу деформацію має місце розташоване в кутах заготовки і в напрямку під кутом у 45° до повздовжньої вісі заготовки. Так, було з'ясовано, що саме властивості даної сталі під вказаним кутом визначають можливість штампування даної деталі, а саме напівкорпусів глушника без утворення неприпустимих дефектів, зокрема розривів.

Для встановлення конкретних значень різних параметрів властивостей сталі 08X18T1 які використовують для оцінки штампуємості, дослідили їх зміну під кутами у 0° ; 30° ; 45° ; 60° і 90° до напрямку прокатки в площині листа. Для цього під вказаними кутами між віссю заготовки зразка і

напрямком прокатки були виготовленні зразки для випробувань на розтягування.

Далі з метою встановлення значень властивостей сталі 08X18T1, достатніх для штампування даної деталі вирізали заготовки для штампування напівкорпусу глушника таким чином, щоб у першому експерименті напрямок під кутом 45° до осі вказаної заготовки з напрямком прокатки утворював кут (α) у 0° . Тобто, щоб напрямок найбільших деформацій у заготовці напівкорпусу глушника співпадав з напрямком прокатки. У другому експерименті напрямок найбільших деформацій у заготовці напівкорпусу глушника з напрямком прокатки утворював кут α у 30° . Аналогічно для інших значень кутів були вирізані заготовки 3-го, 4-го і 5-го експериментів. Таким чином змінювали властивості даної сталі в напрямку найбільших деформацій, які мають місце при штампуванні вказаної деталі. Результати випробування зразків на розтяг і штампування заготовок напівкорпусу глушника наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Залежність механічних властивостей сталі 08X18T1 від кутів вирізки зразків

№ експерименту	Кут α , град	Механічні властивості					Результат штампування
		$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2} / \sigma_B$, МПа	δ_5 , %	R	
1	90	316	466,8	0,68	41,78	1,2	з розривом
2	60	336,1	473,4	0,71	42,5	1,24	з розривом
3	45	334,5	476,9	0,7	41,13	1,45	без розриву
4	30	347,4	483,3	0,72	44,49	2,19	без розриву
5	0	329,6	476,9	0,69	44,32	1,83	без розриву

Примітка: $\sigma_{0,2}$ визначали з похибкою ± 5 МПа; σ_B визначали з похибкою ± 8 МПа; δ_5 визначали з похибкою $\pm 1\%$; R визначали з похибкою $\pm 0,15$.

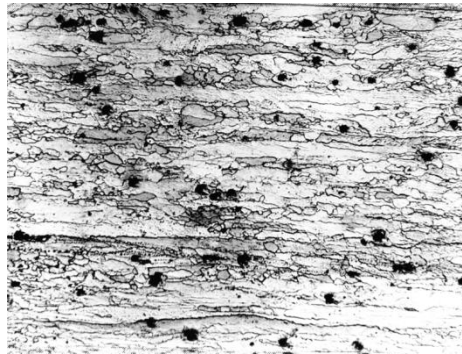
Аналіз наведених результатів показав, що спостерігається задовільна кореляція тільки між коефіцієнтом нормальної анізотропії і штампуванням даної деталі без розривів. Зокрема, заготовки напівкорпусу глушника штамнуються без розриву, коли R досягає значення 1,45 і розриваються при $R \leq 1,24$. Оскільки, з точки зору економії листової сталі, найбільш раціонально заготовки вирубати так, щоб їх повздожня вісь складала з напрямком прокатки кут у 90° то для задовільних результатів штампування даних деталей сталь 08X18T1 під кутом до напрямку прокатки у 45° повинна мати значення R вище 1,45, а з урахуванням умов реального виробництва бажано мати ще й деякий запас.

Аналіз залежностей результатів штампування без розривів від інших характеристик показує не однозначний зв'язок. Наприклад, при пластичності δ_5 у 42,5 % заготовки при штампуванні розірвалися, а при нижчій пластичності в 41.1 % отримали відштамповані деталі годні. Також не спостерігається однозначного зв'язку і в залежності результатів штампування та співвідношення $\sigma_{0,2} / \sigma_B$. У випадку коли вказане співвідношення має значення 0,69 деталі штампуються без розривів (дослід 5%), а при збільшенні цього співвідношення до 0,71 (дослід 2) заготовки при штампуванні розірвалися, що не збігається з теоретичними передбаченнями [35].

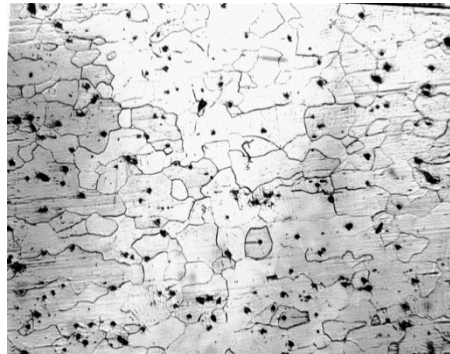
Встановлення характеру зв'язків варіацій режимів термічної обробки із властивостями, за якими можна оцінити схильність листового матеріалу до формозмінювання, проведено на основі результатів механічних випробувань зразків на розтяг. Ці дослідження дали змогу одночасно отримати ряд важливих характеристик, а саме, коефіцієнта нормальної анізотропії (R). При цьому виключається вплив таких технологічних факторів, які впливають на результати оцінки штампуємості при застосуванні інших методів випробувань, зокрема, методів Еріксена і Свіфта та можуть вносити похибку в результати, а саме: шорсткості поверхні, типу змащувального матеріалу.

Для того, щоб обґрунтовано обрати умови проведення експерименту були проведені попередні дослідження впливу температури рекристалізації

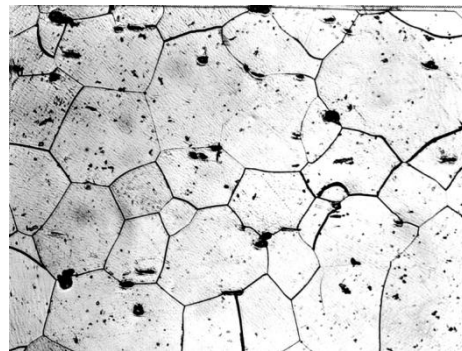
х/к листа на структуру сталі 08Х18Т1. Результати дослідження наведені на рисунку 3.1.



а



б



в

а - після гартування $900^{\circ}\text{C} - 170 \text{ с.}$; б - після гартування $1000^{\circ}\text{C} - 90 \text{ с.}$;

в- після гартування $1100^{\circ}\text{C} - 50 \text{ с.}$

Рисунок 3.1 – Мікроструктура х/к листа $\times 200$ [5]

За результатами цих дослідів вибрали умови проведення експерименту з оптимізації технології обробки прокату з даної сталі (табл. 3.2).

Як фактори вибрали параметри термічної обробки підкату (гарячекатаний метал товщиною 4 мм), а саме: температуру гартування. Як фактори також вибрали температуру гартування (рекристалізації) холоднокатаного металу і тривалість витримки при даній операції. Нульові рівні цих факторів вибрали у відповідності з результатами попередніх досліджень та виробничим досвідом. Вважали, що готовий холоднокатаний метал повинен мати рекристалізовану структуру. При цьому його властивості повинні відповідати умовам ДСТУ. Це пов'язано з тим, що до матеріалів, які входять до ДСТУ більш довіри, ніж до матеріалів, які випускаються за технічними умовами (ТУ).

Інтервали варіювання вибрали виходячи із можливостей встановленого обладнання, в даному випадку, печей, що використовуються для термообробки. Тому, верхні рівні факторів, а саме: температури гартування підкату і холоднокатаного листа встановили 1100°C. Нижні рівні цих факторів вибрали такими, щоб забезпечити рекристалізацію металу після прокатки (табл.3.2). Час витримки встановили у відповідності з результатами експерименту, що описаний у розділі 2 (рис. 2.3). Таким чином, щоб при температурі нижнього рівня метал нагрівався до температури необхідної для рекристалізації.

Таблиця 3.2 – Умови проведення дослідів

Рівні факторів	Фактори		
	X ₁ - температура гартування підкату, °C	X ₂ – температура нагріву х/к металу, °C	X ₃ – тривалість витримки, с
Нульовий	1000	1000	120
Нижній	900	900	80
Верхній	1100	1100	160
Інтервал	100	100	40

варіювання			
------------	--	--	--

Метою роботи було вивчення залежності між коефіцієнтом нормальної анізотропії та розглянутими факторами в досить широких границях їх зміни, то вибрали функцію у виді поліному другого порядку. При виборі типу плану проаналізували залежність між числом факторів і кількістю експериментів для не композиційного плану та центрального композиційного рототабельних планів, що наведено в таблиці 3.3 [33, Спірідонов].

Таблиця 3.3 - Залежність між числом факторів і кількістю експериментів для не композиційного плану та центрального композиційного рототабельних планів [33, Спірідонов].

Число факторів	3	4	5	6	7
Не композиційний план	15	27	46	54	62
Центральний композиційний рототабельний план	20	31	32	58	92

Як видно з наведеного в таблиці 3.3 для даного випадку не композиційний план (з трьома факторами) є більш економічним, як по числу дослідів, так і рівнів варіювання, у порівнянні з відповідним композиційним планом другого порядку. Тому в даній роботі використовували матрицю не композиційного плану 2го порядку (табл. 3.4). Відповідно до даної матриці планування був реалізований не композиційний план другого порядку.

Таблиця 3.4 – Матриця планування та результати дослідів

№ дослідів	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2	Коефіцієнт нормальної анізотропії, R
------------	-------	-------	-------	-------	----------	----------	----------	---------	---------	---------	--------------------------------------

Продовження таблиці 3.4

1	+	+	+	0	+	0	0	+	+	0	2,04
2	+	+	-	0	-	0	0	+	+	0	1,404
3	+	-	+	0	-	0	0	+	+	0	2,268
4	+	-	-	0	+	0	0	+	+	0	1,596
5	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,052
6	+	+	0	+	0	+	0	+	0	+	2,016
7	+	+	0	-	0	-	0	+	0	+	1,86
8	+	-	0	+	0	-	0	+	0	+	2,052
9	+	-	0	-	0	+	0	+	0	+	1,92
10	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,98
11	+	0	+	+	0	0	+	0	+	+	2,22
12	+	0	+	-	0	0	-	0	+	+	2,1
13	+	0	-	+	0	0	-	0	+	+	1,752
14	+	0	-	-	0	0	+	0	+	+	2,076
15	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,028

По даним дослідів була отримана модель, що характеризують залежність коефіцієнта нормальної анізотропії R від факторів, які досліджуються. Ця модель представлена поліномами другого ступеня.

Коефіцієнти моделей розраховувалися за наступними рівняннями:

$$b_0 = \frac{1}{3} \sum_{u=1}^3 y_{0u} \quad (1.22)$$

$$b_i = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^{15} x_{ij} \cdot y_j \quad (1.23)$$

$$b_{il} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{15} x_{ij} \cdot x_{lj} \cdot y_j \quad (1.24)$$

$$b_{il} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{15} x_{ij}^2 \cdot y_j - \frac{1}{16} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{15} x_{ij}^2 \cdot y_j - \frac{1}{6} \sum_{u=1}^3 y_{0u} \quad (1.25)$$

де u – номер паралельного дослідів в центрі плану;

y_{0u} – значення функції відгуку в u -м інтервалі;

j – номер дослід у матриці планування;

i, l – номери факторів;

x_{ij}, x_{lj} – кодовані значення i -го та l -го факторів в j -му досліді;

y_j – значення функції відгуку в j -м досліді.

Після підстановки вказаних сум у формули (1.22), (1.23), (1.24) та (1.25) коефіцієнтів рівняння регресії для R отримали наступні значення:

$$b_0 = 2,03;$$

$$b_1 = -0,0405;$$

$$b_2 = 0,200$$

$$b_3 = - 0,013;$$

$$b_{12} = -0,009;$$

$$b_{13} = 0,054$$

$$b_{23} = 0,151$$

$$b_{11} = - 0,18$$

$$b_{22} = 0,018$$

$$b_{33} = 0,065$$

Дисперсію $S^2\{R\}$ параметра оптимізації визначаємо за результатами дослідів в центрі плану (табл. 3.4, досліди 5;10;15). Дисперсія розраховувалась наступним чином:

$$S^2\{R\} = \frac{S_E}{n_0 - 1} = 0,0514$$

$$S_E = 0,005$$

Дисперсії, що характеризують похибки у визначенні коефіцієнтів рівняння регресії для R , обчислили по наведеним вище формулам при кількості факторів $k=3$. Отримані наступні значення дисперсій:

$$S^2\{b_0\} = \frac{1}{3} \cdot S_y^2 = 0,0008$$

$$S^2\{b_i\} = \frac{1}{8} \cdot S_y^2 = 0,0003$$

$$S^2\{b_{il}\} = \frac{1}{4} \cdot S_y^2 = 0,0006$$

$$S^2\{b_{ii}\} = \frac{13}{48} \cdot S_y^2 = 0,00006$$

При числі ступеней свободи дорівнює 2 та 5%-му рівні значимості $t=4,3$;

$$\Delta b_0 = \pm t_T \cdot S\{b_0\} = \pm 4,3 \cdot 0,000448 = \pm 0,0211$$

Довірчий інтервал Δb_0 коефіцієнта b_0 знаходимо за рівнянням

$$\Delta b_0 = \pm t_T \cdot S\{b_0\} = \pm 4,3 \cdot 0,0211 = \pm 0,09073$$

Аналогічно визначаються довірчі інтервали коефіцієнтів b_i , b_{il} , b_{ii} :

$$\Delta b_i = \pm t_T \cdot S\{b_i\} = \pm 4,3 \cdot 0,0129 = \pm 0,056$$

$$\Delta b_{il} = \pm t_T \cdot S\{b_{il}\} = \pm 4,3 \cdot 0,0183 = \pm 0,079$$

$$\Delta b_{ii} = \pm t_T \cdot S\{b_{ii}\} = \pm 4,3 \cdot 0,008 = \pm 0,017$$

Рівняння регресії для R має вигляд:

$$R = 2,029 + 0,200x_2 + 0,151x_2x_3 - 0,180x_1^2 + 0,018x_2^2 + 0,065x_3^2 \quad (1.26)$$

Для розрахунку дисперсії $S_{ад}^2$ адекватності знаходимо суму S_R квадратів відхилення розрахункових значень від експериментальних у всіх точках плану:

$$S_R^2 = \sum (R_i - R)^2 = 0,029713$$

$$S_y^2 = 0,0025$$

$$S_E^2 = 0,005$$

Знаходимо дисперсію:

$$S_{ад}^2 = \frac{S_R^2 - S_E^2}{N - k - (n - 1)} = \frac{0,044 - 0,005}{15 - 3 - (3 - 1)} = 0,0039$$

Адекватність моделі перевіряємо за допомогою F- критерію.

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S^2\{R1\}} = 1,56 < F_T = 19,3$$

За розрахунками значення критерію F_p менше табличного при прийнятому рівні значимості та відповідних числах ступеней свободи, тому модель вважається адекватною при 5 %-му рівні значимості.

Рівняння (1) було проаналізовано і зроблені відповідні висновки:

1. Параметр x_1 (температури гартування гарячекатаного металу) має коефіцієнт з мінусом при квадратичному члені. Це означає, що для максимального значення вихідного параметру (R) вказаний фактор повинен мати значення 0. Тому що як його підвищення так і зниження нижче середнього рівня призводить до зменшення R.

2. Значення x_2 і значення x_3 для збільшення вихідного параметру R потрібно підвищувати. В даному випадку їх максимальні значення обмежені.

x_2 – максимально можливою температурою даної печі.

x_3 – ступенем окисленості холоднокатаного металу в печі.

Отже, приходимо до висновків:

1. В результаті проведеної роботи встановлено залежність між параметрами термічної обробки і коефіцієнтом нормальної анізотропії у виді поліному другого ступеня, яка показує, що для підвищення R потрібно збільшувати значення x_2 , x_3 і значення x_1 повинно становити 900^0C .

2. Визначені значення технологічних параметрів, що забезпечують максимальне значення параметру оптимізації R в умовах даного виробництва, а саме: x_2 повинно бути 1100°C , а x_3 на рівні 150 с.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз потенційних небезпек

В розділі надані основні заходи з охорони праці, при дослідженні технологічних параметрів листових корозійностійких сталей.

а) Небезпеки які пов'язані з допуском до роботи посадових осіб які не пройшли навчання, перевірки знань та атестації з питань охорони праці, зокрема:

- можливість нещасних випадків внаслідок не проведення усіх необхідних інструктажів з охорони праці;

- відсутність професійної підготовки за фахом або низький її рівень, що може призвести до створення аварійної ситуації;

б) Незадовільна організація робочих місць дослідників.

в) Небезпеки які пов'язані з визначенням мікро- та макроструктури металу, методом світлової мікроскопії, зокрема ушкодженням органів зору при хибному виборі збільшення та типу світлофільтру;

г) Небезпеки які пов'язані з можливістю отриманням механічних травм при приготуванні зразків до подальшої обробки, що може бути пов'язано з порушенням правил ОП під час роботи з абразивним інструментом (НПАОП 28.0-1.30-12) зокрема: використання абразивного інструменту який не пройшов випробування, порушення правил експлуатації, що може призвести до тяжких травм.

д) Небезпеки які пов'язані з негативним впливом теплового випромінювання від нагрітих поверхнею обладнання або від випробування на жаростійкість зразків;

е) Небезпеки які пов'язані з невідповідністю метеорологічних умов санітарним нормам в приміщенні дослідницької ділянки та в адміністративному приміщенні, внаслідок неефективної роботи систем опалення внаслідок повітря-обміну;

є) Небезпеки які пов'язані з незадовільним рівнем освітлення внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів;

ж) Небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі, що може призвести до зниження працездатності та розвитку професійних захворювань.

з) Можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, які зазначені в НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні», а саме хибне визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння відносно категорій приміщень с пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

4.2 Заходи забезпечення безпеки

а) З метою виключення нещасних випадків або розвитку професійних захворювань обов'язковим є виконання вимог НПАОП (Нормативно правовий акт з охорони праці) 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями згідно охорони праці працівників» [34]. Усі працівники повинні пройти навчання та перевірку знань з питань охорони праці відповідно до «Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з охорони праці» затвердженого наказом «Державним наглядом охорони праці» від 26.01.2005. №15.

Роботодавець повинен забезпечити повну і вичерпну інформацію відносно можливих небезпечних ситуацій як на підприємстві в цілому та і відносно специфіки виконуємих робіт на робочих місцях. Згідно законодавством передбачено систему інструктажів: вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий.

В сучасних умовах к фахівцям рівня «дослідник» висуваються високі вимоги до входження в професійне середовище. Проблеми з таким входженням можна поділити на дві групи:

- недостатній рівень фахової підготовки, може бути пов'язаний з відсутністю поєднання теоретичної підготовки з досвідом проведення науково-дослідних робіт в умовах реального виробництва, що може призвести до психоемоційних навантажень та стресових станів;
- недостатній обсяг практичних робіт з використанням технологічного обладнання може призвести до відсутності знань специфіки роботи цього обладнання, хибного виконання алгоритму дій і як наслідок призведе до виникнення аварійних ситуацій, виходу з ладу обладнання та негативних наслідків як для самого фахівця так і для оточуючого персоналу.

В якості рекомендацій можна зазначити: збільшення обсягу перебування в умовах виробництва, підвищення рівня вимогливості при атестації майбутніх фахівців, більш жорсткий професійний відбір.

б) Організація робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії передбачає виконання робіт по відпрацюванню процесів прокатки та відпалу з використанням технологічного обладнання. В зонах проведення робіт організують постійні робочі місця. Технологічне обладнання розміщують в захищених від атмосферних дій, добре провітрюваних приміщеннях, в яких підлога виготовляється з бетону, а стіни не повинні мати високий коефіцієнт відбиття. Розташування технологічного обладнання повинно забезпечувати його безпечну експлуатацію, зручне обслуговування і ремонт.

в) При вивченні мікро- та макроструктури з використанням оптичного мікроскопу МІМ8, який призначений для дослідження мікроструктури у відбитому полірілізованому світлі, необхідно враховувати раціональну комбінацію об'єктивів і окулярів.

Оптимальним співвідношенням є від 500-1000 апертур. З огляду на можливість ахроматичного або алохроматичного світла велике значення має

використання світло фільтрів, які дають можливість перетворення відбитого світлового потоку в найбільш придатні для ока людини яскравості та контрастності згідно інструкції по використанню світлових мікроскопів.

г) Для виключення механічних травм, при механічній або абразивній підготовці зразків, де основними небезпеками є травмування органів зору при дробеструмені або піскострумені, при руйнуванні абразивного інструменту «Правилами охорони праці НПАОП 28.0-1.30-12» передбачено [34]:

- використання індивідуальних засобів захисту: захисні окуляри ТС-3, прозора напівмаска ROTOR GALAXY., спеціальний одяг Тр (від бризок розплавленого металу) або Ти (від теплового випромінювання, спеціальне взуття Р1 згідно ДСТУ EN ISO 13688-2016;

- обов'язковим є використання абразивних кіл тільки тих, що пройшли атестацію на перевірку дефектів та отримали позначку за балансуванням відповідно до вимог ГОСТ 12.3.028-82. Встановлення абразивних кіл на верстат повинен здійснювати тільки спеціально підготовлений персонал. Обов'язковим є використання вище зазначених індивідуальних засобів захисту;

- не дозволяється експлуатація кругів з тріщинами на поверхні;

- на шліфувальних і відрізних кругах діаметром 250 мм і більше, а також на шліфувальних кругах, призначених для роботи на ручних шліфувальних машинах, повинні бути нанесені кольорові смуги, що характеризують швидкість обертання кругів (жовта – 60 м/с, червона – 80 м/с, зелена – 100 м/с, зелені і синя – 120 м/с);

- перед встановленням на токарний верстат заготовки, які належать до обробки, а також пристосування повинні бути очищені від пилу, мастила та інших забруднень.

д) Для мінімізації негативного впливу надлишкового тепла, застосовується загально обмінна, механічна або природна вентиляція.

Природна вентиляція здійснюється завдяки різниці температур в помешканні і за його межами. Механічна вентиляція здійснює обмін повітря за допомогою спеціальних механізмів і пристосувань.

Для аерації влаштовуються прорізи в стінах будинку і ліхтарі на даху. Для провітрювання виробничих приміщень передбачають вікна, які відчиняються.

4.3 Заходи забезпечення санітарії та гігієни праці.

е) Метеорологічні умови виробничого середовища регламентуються ДСН 3.3.6–042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Для забезпечення нормальних метеорологічних умов і підтримки теплової рівноваги між тілом людини і навколишнім середовищем проводиться ряд заходів:

- механізація і автоматизація важких і трудомістких робіт, виконання яких супроводжується надлишковим теплотворенням, яке впливає на організм людини;
- дистанційне керування випромінюючими процесами й апаратами, що виключає необхідність перебування працюючих у зоні інфрачервоного опромінення;
- раціональне розміщення і теплоізоляція устаткування, апаратів комунікації й інших джерел, що випромінюють на робочі місця конвекційне і променисте тепло.

Виробнича вентиляція проектується відповідно вимог ДБН В.2.5-67.2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Розрахунок природної вентиляції: розрахуємо продуктивність природної вентиляції L , приплив або витягування повітря для асиміляції надлишкового тепла [3]:

$$L = k \cdot V_n, \text{м}^3/\text{год}$$

де: k – кратність повітрообміну (відповідно до галузевих норм СНИП 2.04.05.- 91 кратність повітрообміну в лабораторії становить $k = 2$);

V_n – об'єм приміщення, м^3 ;

$$V_n = P \cdot h, \text{м}^3$$

де: P – площа лабораторії, м^2 ;

h – висота лабораторії, м;

$$V_n = 60 \cdot 2,8 = 168 \text{ м}^3$$

$$L = 2 \cdot 168 = 336 \text{ м}^3/\text{год}.$$

При використанні природної вентиляції необхідно подати в лабораторію $336 \text{ м}^3/\text{год}$. зовнішнього повітря.

є) Для забезпечення необхідного рівня освітлення 200 люкс, використовується природне і штучне освітлення. Природне забезпечується за рахунок наявних вікон визначеної площини, штучне освітлення організується за методом світлового потоку.

Штучне освітлення виробничих та побутових приміщень повинне відповідати вимогам ДБН В 25.28-2006 «Природне і штучне освітлення».

По розподілу світлового потоку в просторі у лабораторії встановлені світильники прямого, розсіяного і відбивного світла, а по конструктивному

виконанню-світильники відкриті, закриті, захищені, пилонепроникні, вибухозахисні, вибухобезпечні.

ж) Відповідно до СанП 2.2.2. 542-96 «Гігієнічні вимоги для відео-дисплейних екранів персонально електро-розрахункових машин». Режим праці та відпочинку при роботі з ПК в залежності від виду та категорії поділяються на:

- робота зчитуванням інформації за попереднім запитом по сумарному числу опрацьованих знаків гранична кількість складає 60000 знаків.

- сумарна кількість набору знаків при безперервній роботі не більше 20000 знаків. При роботі з регламентованими перервами 15 хв/год, не більше 40000 знаків.

- сумарний час безпосередній роботі з комп'ютером в режимі «діалогу». При безпосередній роботі не більше 4 год, а з регламентованими перервами 15 хв/год, не більше 6 год.

4.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.

4.4.1 Протипожежні заходи.

Дільниця прокатки та відпалу, згідно НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» відноситься до категорії «Г», а клас можливої пожежі, згідно ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», визначається, як «D».

Площа дільниці складає 1200 м². Виходячи з цього згідно НАПБ Б.03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників» обирається два порошкових вогнегасника ємністю 5 літрів кожний.

До переліку первинних засобів пожежогасіння, крім вогнегасників, відносяться ящики з піском, пожежні покривала, гаки, лопати, ломы, сокири, бочки з водою, які розташовуються у складі пожежних щитів.

Виробничі приміщення можуть бути обладнані стаціонарними установками автоматичного пожежогасіння.

Розробка заходів з пожежної безпеки полягає у визначенні порядку дій, що спрямовані на збереження обладнання, матеріальних ресурсів в умовах виникнення загорянь, організації ліквідації осередків загорянь, евакуації персоналу, забезпечення можливої участі у попередженні пожежі спеціалізованих пожежних підрозділів, мінімізації збитків виробництва.

4.4.2 Заходи по проведенню евакуації в період надзвичайних ситуацій.

Відповідно до Кодексу цивільного захисту України, підготовка персоналу на підприємствах незалежно від форм власності до дій в надзвичайних ситуаціях здійснюється за спеціально розробленою схемою заходів захисту населення і територій [35].

Для підприємств система заходів захисту від надзвичайних ситуацій включає:

- планування і здійснення необхідних заходів для захисту своїх працівників, об'єктів господарювання;
- розробки планів локалізації та ліквідації аварій з подальшим погодженням з Державною службою України з надзвичайних ситуацій;
- підтримання в готовності до застосування сил і засобів щодо попередження виникнення та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Виходячи з ст. 130 «Кодексу цивільного захисту України» яка передбачає, що на підприємствах з великою чисельністю персоналу,

рішенням відповідного територіального органу «Держслужби України з надзвичайних ситуацій», розробляються і затверджуються інструкції щодо дій при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій на підприємстві.

Крім інструкції, на підприємстві розробляється «План евакуації при пожежі або загрозі вибуху».

Деякі конкретні заходи, які не відображенні в нормативних документах підприємства, потребують внесення до посадових інструкцій працівників. Крім того, на підприємстві необхідно розробляти і доводити до всіх працівників, порядок цілодобового оповіщення керівництва і працівників у разі загрози або виникнення надзвичайної ситуації.

Всі працівники підприємства повинні бути навчені діям, чітко знати свої обов'язки і неухильно їх виконувати. Це також стосується адміністрації підприємства, яка в екстремальній обстановці не може приймати помилкові рішення або віддавати необґрунтовані розпорядження.

Підсумовуючи все вищесказане приходимо до висновку, що дотримуючись наведених правил з охорони праці при проведенні робіт в лабораторії позбавить від небажаних економічних втрат, дозволить запобігти отримання травм при роботі та зберегти здоров'я та життя робітників.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій зміцнення

В цьому розділі охарактеризовані загальні тенденції розвитку технології, що досліджується в дипломній роботі.

У сучасній міжнародній економіці науково-технічний прогрес та інновації стали головним фактором, який формує порівняльні переваги і визначає міжнародну конкурентоспроможність країни. Однак відмінності в забезпеченості базовими факторами виробництва, їх якісні характеристики на фоні прагнення до країн отримання технологічного та економічного лідерства об'єктивно зумовлюють потребу в міжнародному науково-технологічному обміні [36].

Інтенсивний розвиток міжнародного науково-технологічного обміну, обумовлено прискоренням темпів науково-технічного прогресу і радикальним скороченням проміжку часу між появою нової технології, і її використанням у масовому виробництві, відзначається з другої половини ХХ століття. В сучасних умовах воно перетворилося в найбільш динамічну форму міжнародних економічних відносин і в перспективі ці тенденції зберігатимуться.

Крім високих темпів розвитку, до провідних сучасних тенденцій, які також будуть збережені як мінімум в короткостроковій перспективі, міжнародного науково-технологічного обміну слід віднести:

- формування дворівневої структури світового ринку технологій - між промислово розвиненими країнами здійснюється обмін високими технологіями, передача морально застарілих і традиційних технологій йде в напрямку від промислово розвинених країн в країни, що розвиваються, що закріплює наявний між ними технологічний розрив;

- стійке домінування на світовому ринку технологій промислово розвинених країн - їх частка в міжнародному науково-технологічному обміні становить майже 90%;
- концентрація технологічних ресурсів у незначного числа країн - понад 60% загального обсягу міжнародного науково-технологічного обміну приходить на п'ятірку найрозвиненіших країн світу - США, Японію, Великобританію, Німеччину і Францію [36];
- зростання участі в світовому господарстві "венчурних" фірм - дрібних і середніх фірм, на які великий бізнес перекладає ризик науково-дослідних і конструкторських розробок, освоєння нової продукції, випробування нововведень;
- збільшення частки наукомістких високотехнологічних товарів в загальній структурі світового експорту.

Існує цілий ряд причин, що знижують ефективність процесу розвитку торгівлі технологіями в світі і «стирання» диспропорцій в даному питанні між розвиненими країнами і країнами, що розвиваються [37]:

- 1) Відсутність у багатьох країнах механізму регулювання зовнішньої торгівлі ліцензіями, що призводить до безоплатної втрати міжнародного інтелектуального ресурсу.
- 2) Недостатній рівень кваліфікації фахівців у цій новій для більшості підприємств діяльності.
- 3) Багато підприємств країн, що розвиваються намагаються передати за кордон новітні знання в чистому вигляді, і не враховують вкладу виробничих знань, секретів і інжинірингових послуг. Така стратегія різко відрізняється від тенденцій високо розвинених країн, де однією з найбільш характерних рис сучасного ліцензійного обміну є загострення конкурентної боротьби і значне ускладнення доступу до новітніх технологій і обмеження їх комерційного використання.
- 4) Дуже багато технологій мають обмежене промислове впровадження. Звідси впливає і наступна проблема низької ціни експортованих таких

ліцензій, що ускладнюється невикористанням методик розрахунку ціни у підприємств.

Практично до всіх країн світу прийшло усвідомлення того що, не створивши сприятливих умов для розвитку високотехнологічного виробництва, не визначивши його як пріоритетний напрямок розвитку економіки, вони будуть втрачати не тільки доходи, а й основний рушій інноваційного розвитку країни. Крім того, країна буде позбавлена права, будь-яким чином впливати на політику, яка реалізується на міжнародному ринку продукції високих технологій, а цим правом успішно користуються такі країни, як США, Великобританія, Німеччина, Франція і Японія.

5.1.1 Ринок економічно легованих матеріалів

Об'єм виробництва легованих матеріалів невинно зростає. Цей ріст відбувається за рахунок бурного розвитку чорної металургії Китаю, Індії, Латинської Америки. Такий бурний розвиток металургійної промисловості призвів до різкого збільшення цін на легуючі матеріали та виникненню дефіциту важливих складових сталі [37]. Все це призвело до розробки нових марок сталей, так званих економ легованих, в яких при введенні мінімуму легуючих елементів досягається найкраще поєднання експлуатаційних характеристик. Наприклад, Китай у 2017 році виплавив 300 млн. т економічно легованих матеріалів, і в 2018 збільшив цю цифру до 400 млн. т.

5.2 Техніко-економічні розрахунки

5.2.1. Характеристика продукції

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання технології термічної обробки глушника для автомобіля. В таблиці 5.1 наведені техніко-економічні показники виробу.

Таблиця 5.1-Техніко-економічні показники виробу

№	Найменування виробу	Базовий виріб	Новий виріб
1	Глушник	08X18T1	08X18T1
2	Технологія зміцнення	Прокатка. Відпал, $\tau = 2-3$ хв. $T=900^{\circ}\text{C}$	Прокатка. Відпал, $\tau = 1,5$ хв. $T = 1000^{\circ}\text{C}$
3	Програма випуску, шт.	600	600

Вартість сировини і основних матеріалів розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів.

В таблиці 5.2 наведена вартість сировини та основних матеріалів.

Таблиця 5.2 – Вартість основних матеріалів при термічній обробці

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма використання	Ціна, грн..	Вартість, грн.
Кислотний луг	50 г	250	12,5
Кислота	45 г	120	5,4
Разом			17,9

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок. Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції за старою технологією наведений в таблиці 5.3 та за новою технологією в таблиці 5.4.

Таблиця 5.3- Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка за старою технологією)

Найменування операції	Норма часу, н.-годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Прокатка	1	5	65	65
Відпал	3	4	58	174
Усього	-	-	-	239

Таблиця 5.4- Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка новою технологією)

Найменування операції	Норма часу, н.-годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Прокатка	1	5	65	65
Відпал	1,5	4	58	87
Усього	-	-	-	152

Додаткова заробітна плата виробничих робітників виплачується за кількість та якість виконаної роботи. Вона вміщує надбавки і доплати, премії за виробничі результати, оплату чергових та додаткових відпусток та інше.

Додаткова заробітна плата складає 40% від основної, та розраховується за формулою:

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_d}{100}, \text{ грн.} = \frac{239 \cdot 40}{100} = 95,6 \text{ грн.}$$

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_d}{100} = \frac{152 \cdot 40}{100} = 60,8 \text{ грн.}$$

де K_d – процент додаткової заробітної плати.

Відрахування на соціальні заходи являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховуються згідно діючого законодавства і складають 22% від фонду оплати праці. Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою:

$$BC = (ЗО + ЗД + ПП) \cdot \frac{K_{вс}}{100}, \text{ грн.} = \frac{(239 + 95,6 + 23,9) \cdot 22}{100} = 78,87 \text{ грн.}$$

$$BC = \frac{(152 + 60,8 + 15,2) \cdot 22}{100} = 50,16 \text{ грн.}$$

де ПП – премії з прибутку, грн;

$K_{вс}$ - % відрахування на соціальні заходи.

Премії з прибутку складають для робітників – 10% до основної заробітної плати.

Загальновиробничі витрати вміщують витрати на утримання та експлуатацію обладнання, цехові витрати і послуги виробничого характеру. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання вміщують витрати на технічне обслуговування машин і механізмів, витрати на поточний ремонт обладнання, цехового транспорту та інструментів, знос малоцінних і швидкозношуваних приладів, заробітну плату допоміжного персоналу та інші. Цехові витрати вміщують витрати, пов'язані з поточним ремонтом та

амортизацією будівель цеху, заробітну плату керівників і спеціалістів цеху, витрати на охорону праці та техніку безпеки в цеху та інші.

Загальновиробничі витрати складають в середньому 150% до основної заробітної плати та розраховуються за формулою:

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100}, \text{ грн} = \frac{239 \cdot 150}{100} = 358,5 \text{ грн.}$$

$$ЗВВ = \frac{152 \cdot 150}{100} = 228 \text{ грн.}$$

де α - % загально виробничих витрат.

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість. Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно - управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 100% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою:

$$АВ = ЗО \cdot \frac{\beta}{100}, \text{ грн} = \frac{239 \cdot 100}{100} = 239 \text{ грн.}$$

$$АВ = \frac{152 \cdot 100}{100} = 152 \text{ грн.}$$

де β - % адміністративних витрат.

Витрати на технологічну електроенергію:

$$В_{\text{ен.т.}} = C \cdot t_{\text{шт}} = 2,68 \cdot 2 = 5,36 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{ен.т.}} = C \cdot t_{\text{шт}} = 2,68 \cdot 1,5 = 4,02 \text{ грн.}$$

C- тариф на електроенергію, грн.

$t_{шт}$ – час термічної обробки

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші. Витрати на збут складають 2% від виробничої собівартості і розраховуються за формулою:

$$BЗ = C_v \cdot \frac{\gamma}{100}, \text{ грн} = \frac{795,23 \cdot 2}{100} = 15,90 \text{ грн.}$$

$$BЗ = \frac{512,88 \cdot 2}{100} = 10,25 \text{ грн.}$$

де C_v – собівартість виробнича, грн;

$$C_v = 17,9 + 5,36 + 239 + 95,6 + 78,87 + 358,5 = 795,23 \text{ грн.}$$

$$C_v = 17,9 + 4,02 + 152 + 60,8 + 50,16 + 228 = 512,88 \text{ грн.}$$

Прибуток складає 30% від повної собівартості і розраховується за формулою:

$$П = C \cdot \frac{P}{100}, \text{ грн.} = \frac{254,9 \cdot 30}{100} = 76,47 \text{ грн.}$$

$$П = \frac{162,25 \cdot 30}{100} = 48,67 \text{ грн.}$$

Повна собівартість = Адміністративні витрати + Витрати на збут

де P – рентабельність виробу, %.

Податок на додану вартість згідно законодавства становить 20% від оптової ціни і розраховується за формулою:

$$ПДВ = Ц \cdot \frac{H_{ндв}}{100}, \text{ грн.} = \frac{331,37 \cdot 20}{100} = 66,27 \text{ грн.}$$

$$\text{ПДВ} = \frac{210,92 \cdot 20}{100} = 42,18 \text{ грн.}$$

Оптова ціна = Повна собівартість + Прибуток

де $H_{\text{пов}}$ – норматив податку на додану вартість, %.

Ціна продажу виробу розраховується за формулою:

$$Ц_{\text{пр}} = Ц + \text{ПДВ, грн.} = 331,37 + 42,18 = 373,55 \text{ грн.}$$

$$Ц_{\text{пр}} = 210,92 + 42,18 = 253,1 \text{ грн.}$$

Калькуляція собівартості і ціни продукції наведена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Калькуляція собівартості термічної обробки глушника

№	Статті витрат	Сума, грн	
1	Сировина і основні матеріали	17,9	17,9
2	Електроенергія технологічна	5,36	4,02
3	Основна заробітна плата основних виробничих робітників	239	152
4	Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	95,6	60,8
5	Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	78,87	50,16
6	Загальновиробничі витрати	358,5	228
7	Собівартість виробнича	795,23	512,88
8	Адміністративні витрати	239	152
9	Витрати на збут	15,90	10,25
10	Собівартість повна	254,9	92,62
11	Прибуток	76,47	48,67
12	Ціна оптова	331,37	210,92

13	Податок на додану вартість	66,27	42,18
14	Ціна продажу	373,55	253,1
15	Змінні витрати	436,73	284,88
16	Постійні витрати	1392,73	892,88

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Розраховується економічна ефективність інноваційного проекту за такими показниками:

- економія витрат в виробництві;
- економія експлуатаційних витрат;
- питомі показники ефективності;
- беззбитковість виробництва;
- термін окупності додаткових капітальних вкладень;
- оцінка доцільності інвестицій (капітальних вкладень) в інноваційний проект.

Економія витрат в виробництві розраховується на основі економії конкретних видів матеріальних, трудових та інших ресурсів. Розрахунок економії витрат наведено в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Економія витрат на виробництво

Найменування показника	Норма використання		Ціна, грн	Вартість, грн		Економія, грн
	базовий виріб	новий виріб		базовий виріб	новий виріб	
Сталь	600	600	17460	795,23	512,88	1600824

констру- кційна, кг						
------------------------	--	--	--	--	--	--

$$E = ((C_6 \cdot K) - C_n) \cdot N = ((795,23 \cdot 4) - 512,88) \cdot 600 = 1600824 \text{ грн.}$$

E – економічний ефект від впровадження нової технології термообробки

де: C_6 – собівартість базового виробу

C_n – собівартість нового виробу

K – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу

Термін окупності додаткових капітальних вкладень ($T_{ок}$) розраховується за формулою:

$$T_{ок} = \frac{\Delta K}{C_1 - C_2}, \text{ одиниць}$$

де: C_1, C_2 – собівартість продукції до та після втілення інноваційного проекту, грн.

$$T_{6/36.6.} = \frac{1392,73}{373,55 - 357,86} = 88,7 \text{ од.}$$

$$T_{6/36.a.} = \frac{892,88}{253,1 - 234,72} = 48,5 \text{ од.}$$

На рисунку 4.1 наведений графік точки беззбитковості.

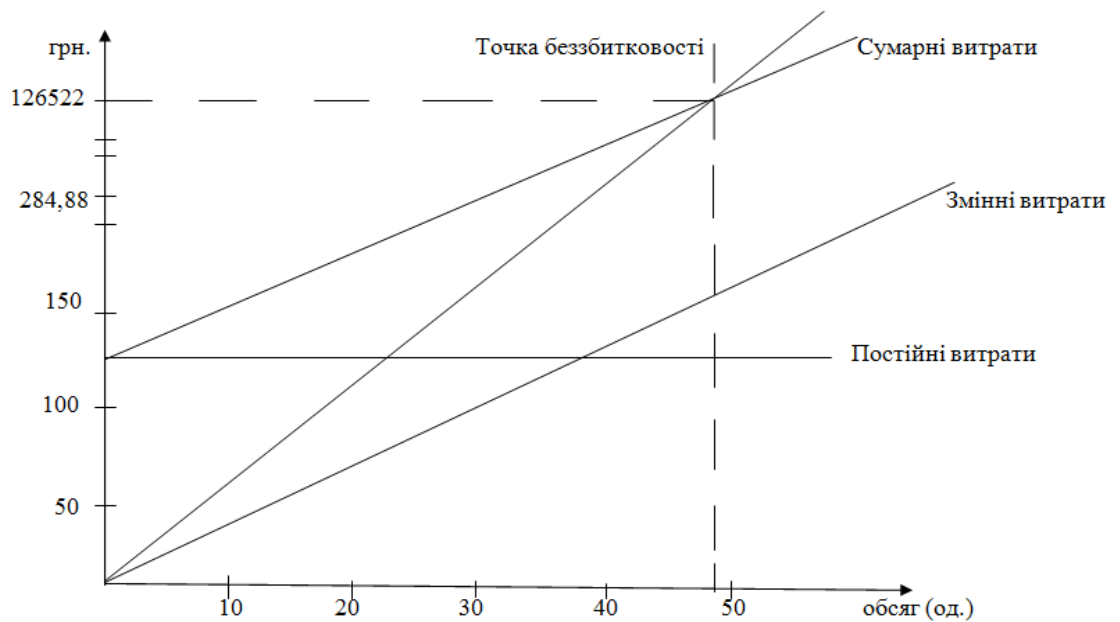


Рисунок 4.1 – Графік точки беззбитковості

В результаті проведення дослідження, яке спрямоване на покращення технологічних властивостей нержавіючої листової сталі 08X18T1 можна продовжити термін експлуатації глушника на 6 років. Економія від впровадження досліджень здатності металу до штампування складає 1600824 грн. на рік.

Проаналізовані стара та нова технологія виготовлення глушників. Виявлено, що після виробництва 48 глушників воно стає більш прибутковим, ніж при старому виробництві. Це пов'язано із зменшенням тривалості відпалу при новій технології.

Отже, згідно розрахункам, собівартість виробнича при новій технології складає 512,88 тис. грн., прибуток 48,67 тис. грн.. Змінні та постійні витрати 284,88 та 892,88 тис. грн.. Термін окупності додаткових капітальних вкладень за старою технологією дорівнює 88,7 од., а за новою 48,5 од. Із розрахунків видно, що виробництво за новою технологією являється більш економічним та прибутковим.

ВИСНОВКИ

В даній роботі досліджено можливість підвищення здатності до штампування феритної нержавіючої сталі 08X18T1, шляхом оптимізації режиму термічної обробки гарячекатаного підкату і холоднокатаного металу.

При проведенні роботи була встановлена залежність між параметрами термічної обробки і коефіцієнтом нормальної анізотропії у виді поліному другого ступеня. Отже, щоб підвищити коефіцієнт нормальної анізотропії необхідно максимально збільшувати значення температури печі та ступінь окисленості холоднокатаного металу в печі, а температура гартування гарячекатаного металу повинно становити 900°C .

Значення технологічних параметрів, які визначені, забезпечують максимальне значення коефіцієнта нормальної анізотропії в умовах даного виробництва, а саме: максимальна можлива температура даної печі повинна бути 1100°C .

В результаті проведення економічного дослідження, приходимо до висновку, що впровадження нової технології термообробки дозволить отримати економічний ефект, який складає 1600824 грн..

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуляев А.П. Металознаводство: навчальний посібник. Москва: «Металургія», 1986. 544 с.
2. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов. Под ред. В.Г. Сорокина. М.: Машиностроение, 1989. 638 с.
3. Гольнштейн М.І., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Спеціальні сталі: навчальний посібник. Москва: «Металургія», 1985. 408 с.
4. Шулика Л.Г., Шулика Н.А. Свойства тонколистовой коррозионностойкой стали в зависимости от степени деформации: научное пособие. *Сталь*. 2006. №5. С.551-552.
5. Ольшанецкий В.Ю., Грешта В.Л., Бондаренко А.Л. Математичне моделювання зв'язків між показниками штампованості корозійностійких феритних сталей і технологічними параметрами їх виробництва. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2002. №2. С.78-83.
6. Аверкиев А.Ю. Методы оценки штампуемости листового металла. М.: Машиностроение, 1985. 176 с.
7. Головлев В.Д. Влияние анизотропии на процесс глубокой вытяжки. Кузнечно-штамповочное производство. М.: Машиностроение, 1966. №10, С. 18–23.
8. Грешта В.Л. Оцінка здатності до формозмінювання листових феритних корозійностійких сталей за результатами технологічних випробувань. *Нові матеріали і технології в машинобудуванні*. 2004. №2. С. 7-9
9. Колесников И.П. Метод оценки пластической анизотропии листового металла. *Заводская лаборатория*. 1966. Т.32, №12. С.1502-1505.
10. Бондаренко А.Л., Климов А.В., Грешта В.Л. Совершенствование технологии горячей прокатки толстолистовых нержавеющей сталей ферритного класса. *Совершенствование процессов и оборудования*

обработки давлением в металлургии и машиностроении. Краматорск: ДГМА, 1998. С.31-34.

11. Осипов А.Ф. Анализ надежности показателей штампуемости автолистовой стали. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1995. №5. С.15-17.

12. Востриков А.А., Гайдук В.В., Аркулис Г.Э. Новый показатель штампуемости металла. *Сталь*, 1982, № 1, С. 67

13. Орлов А.Н. Механизмы деформационного упрочнения ОЦК-металлов. В кн.: Физика деформационного упрочнения монокристаллов. Киев: Наукова думка. 1978. С.22-39.

14. Трефилов В.И. Влияние ячеистых структур на поведение металлов под нагрузкой. – В кн.: Физика деформационного упрочнения монокристаллов. Киев: Наукова думка. 1972. С.191-201.

15. Трефилов В.И., Мильман Ю.В., Фирстов С.А. Физические основы прочности тугоплавких металлов. Киев: Наукова думка. 1975. 315 с.

16. Конрад Х. Модель деформационного упрочнения для объяснения влияния величины зерна на напряжение течения металлов. – В кн.: Сверхмелкое зерно в металлах. М.: Металлургия, 1973, С. 206– 219.

17. Иванова В.С., Ермишкин В.А. Прочность и пластичность тугоплавких металлов и монокристаллов. М.: Металлургия, 1976. 80 с.

18. Материаловеденье. Б.Н.Арзамасов, И.И.Сидорин, Г.Ф.Косолапов и др. М.: Машиностроение. 1986. 384 с.

19. ГОСТ 5632-72:2004. Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 30 с.

20. Матюк В.Ф. Состояние неразрушающего контроля штампуемости листового проката сталей. *Научные публикации*. 2012. №3. С.16-17.

21. Бондаренко А.Л., Грешта В.Л. Структурные изменения при производстве листовых ферритных нержавеющей сталей. *Проблемы современного материаловедения*. Дніпропетровськ: ПДАБтаА, 1997. С.77-78.

22. ГОСТ 1497-61:2002. Металлы. Методы испытания на растяжение. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 21 с.
23. Золотаревский В.С. Механические испытания и свойства металлов. М.: Металлургия, 1974. 302 с.
24. ГОСТ 11.002-73:1973. Прикладная статистика. Правила оценки аномальности результатов наблюдений. М.: ИПК Издательство стандартов, 1973. 26 с.
25. Колесников И.П. Метод определения равномерного удлинения листового металла. *Заводская лаборатория*. 1965. Т.31, №9. С.1127-1129.
26. Хеснер Ф. Рекристаллизация металлических материалов. М.: Металлургия, 1982. 352 с.
27. ГОСТ 5639-65:2005. Сталь. Методы выявления и определения величины зерна. М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. 19 с.
28. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.
29. Бондренко А.Л., Грешта В.Л., Гретченко И.И. Применение корреляционного анализа для установления оптимальных термомеханических параметров получения листа из ферритных нержавеющих сталей. *Вопросы современного материаловедения*. Дніпропетровськ: ПДАБтаА, 1998. С.85-86.
30. Роитбурд А.Л. Физические модели деформационного упрочнения кристаллов. В кн. Физика деформационного упрочнения моно кристаллов. Киев: Наукова думка, 1972, С. 5-22.
31. НПАОП (Нормативно правовий акт з охорони праці) 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями згідно охорони праці працівників».
32. Кодекс цивільного захисту України станом на 06 грудня 2012 року: (Відповідає офіц. Текстові) К.: Алерта, 2012. 120 с.
33. Бойчик, І. М. Економіка підприємства :навч. посіб.. І.М. Бойчик. 2-ге вид., доп. і переробл. К. : Атіка, 2006. 528 с.

34. Терехова С.В. Трансфер технологий как элемент инновационного развития экономики. Проблемы развития территорий. Вып. 4(50). Апрель-июнь. 2010. С.33.

35. Омельянович Л.О. Фінансова діяльність суб'єктів господарювання: підручник. т К., 2011. 231 с.

36. Шапошников А.А. Трансферт технологий в научно-образовательной сфере: автореф. дисс. канд. экон. наук. Томск, 2004. С. 10.

Додаток А
Ілюстративний матеріал до доповіді

Хімічний склад досліджуваних сталей

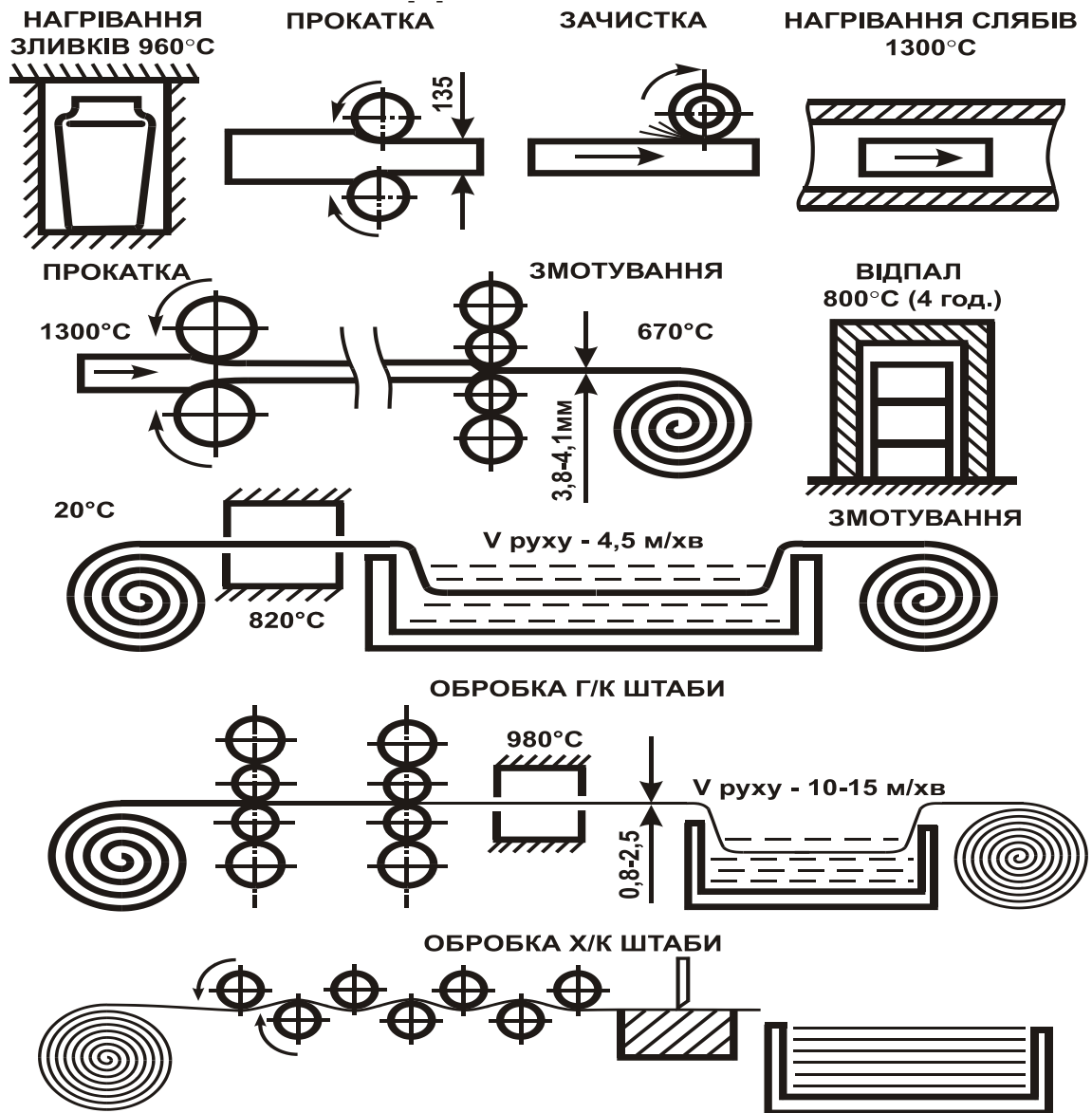
Марки сталей	Хімічний склад, % мас.									
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Al	Cu
17X18H9	0,14-0,22	До 0,9	До 0,2	9-11	До 0,02	До 0,035	18-20	До 0,6	-	До 0,4
10X18H10T	До 0,2	До 0,8	1-3	11-12	До 0,02	До 0,035	18-19	До 1	-	-
08X18T1	0,08	0,77	0,6	0,22	0,025	0,035	18,11	0,56	-	-

Механічні властивості досліджуваних сталей

Марки сталей	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %
17X18H9	≥ 726	≥ 363	≥ 40
10X18H10T	≥ 628	≥ 304	≥ 40
08X18T1	≥ 510	≥ 255	≥ 30

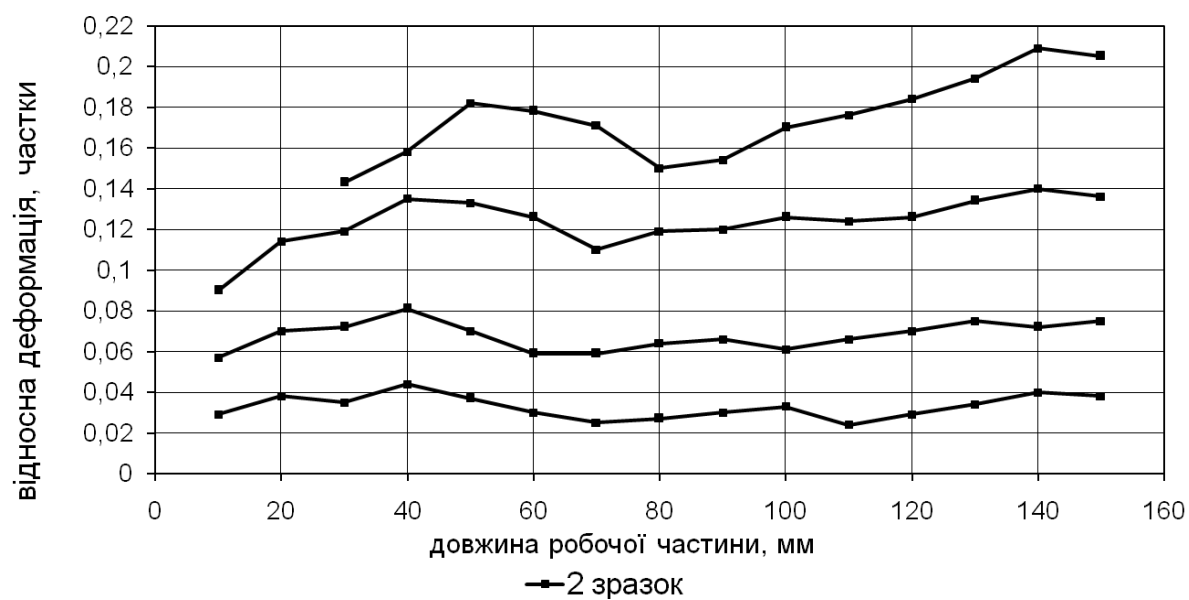
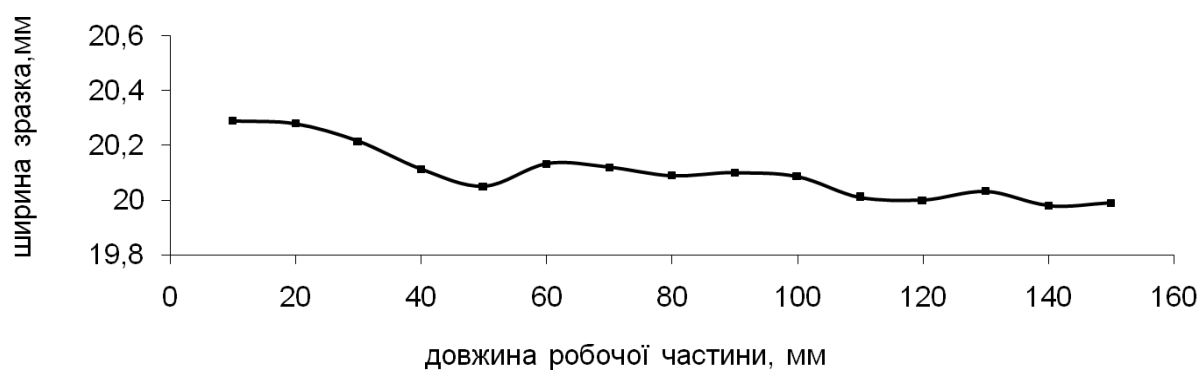
Додаток Б

Технологічний процес переробки феритної корозійностійкої сталі
08X18T1 на холоднокатаний лист



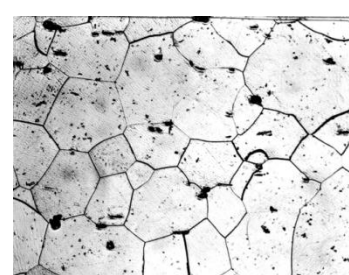
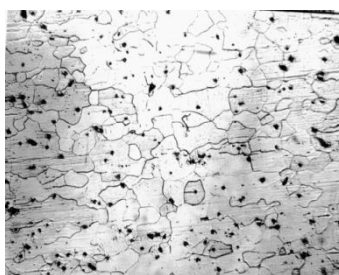
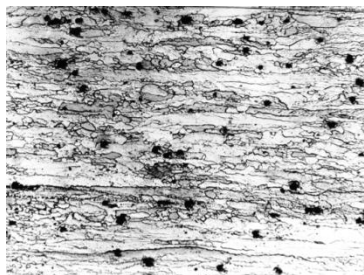
Додаток В

Зміна ширини зразка та його деформації по довжині при розтягуванні.



Додаток Г

Дослідження впливу температури рекристалізації х/к листа на
структуру сталі 08X18T1



а - після гартування 800°C – 200 с.

б - після гартування 1000°C – 120 с.;

в - після гартування 1100°C – 80с

Умови проведення дослідів

Рівні факторів	Фактори		
	X ₁ -температура гартування підкату, °C	X ₂ – температура нагріву х/к металу, °C	X ₃ – тривалість витримки, с
Нульовий	1000	1000	120
Нижній	900	900	80
Верхній	1100	1100	160
Інтервал варіювання	100	100	40

Додаток Д

Матриця планування та результати дослідів

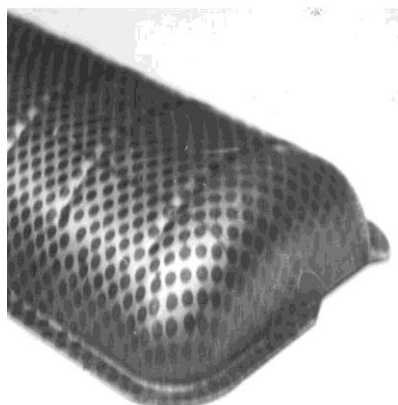
№ досліду	X ₁	X ₂	X ₃	Коефіцієнт нормальної анізотропії, R
1	+	+	0	2,04
2	+	-	0	1,59
3	-	+	0	2,1
4	-	-	0	1,596
5	0	0	0	2,016
6	+	0	+	1,86
7	+	0	-	1,92
8	-	0	+	1,98
9	-	0	-	1,92
10	0	0	0	1,98
11	0	+	+	2,38
12	0	+	-	2,1
13	0	-	+	1,752
14	0	-	-	2,076
15	0	0	0	2,028

Рівняння регресії для коефіцієнта нормальної анізотропії має вигляд:

$$R=2,029+0,2x_2+0,151x_2x_3-0,18x_1^2+0,018x_2^2+0,0065x_3^2$$

Додаток Е

Глушник



Вибір вихідного параметру для оптимізації режиму термічної обробки
сталі 08X18T1

Механічні властивості						
Кут α , град	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2} / \sigma_B$, МПа	δ_5 , %	R	Результат штампу- вання
90	316	466,8	0,68	41,78	1,2	з розривом
60	330,3	473,4	0,7	42,5	1,24	з розривом
45	334,5	476,9	0,7	41,13	1,45	без розриву
30	347,4	483,3	0,72	44,49	2,19	без розриву
0	329,6	476,9	0,69	44,32	1,83	без розриву