

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Інженерно-фізичний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Фізично-матеріалознавства

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Дослідження процесів руйнування підшипників
сталі при локальному деформуванні

Виконав: студент II курсу, групи ІР-618 м
спеціальності (напряму підготовки)

132 Термита обробка металів
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Назаренко А.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Глотка О.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Бялик Г.А.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2019 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет інженерно-фізичний
 Кафедра фізичного матеріалознавства
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) _____
 Спеціальність 132 Термічна обробка металів
 (код і назва)
 Напрямок підготовки _____
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

"12" травня 2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Назаренко Анни Юріївни
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесів руйнування при термічній обробці сталі

керівник роботи Глотка Олександр Анатолійович, доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "14" листопада 2019 року № 388

2. Строк подання студентом роботи 17 травня 2019

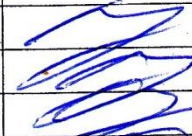
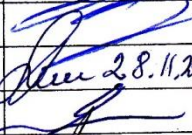
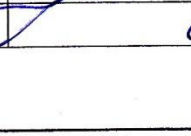
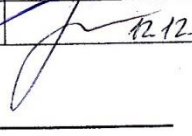
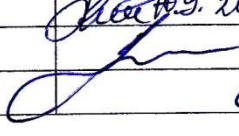
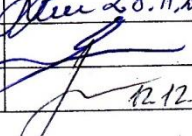
3. Вихідні дані до роботи Предмет: бієкс дослідження, кімнати склад сталі ШХ15СГ

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Літературний огляд 2. Матеріали та методи дослідження 3. Експериментальна частина 4. Дослідження процесів руйнування сталі ШХ15СГ 5. Експериментальна частина 6. Оцінка ризику безпеки у надзвичайній ситуації

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

Презентація 1. Кімічний склад та механічні властивості сталі ШХ15СГ 2. Мікроскопія біля меж зерен металу після різних температур прокатки 3. Змінення частини металу з мікроскопією з механічними властивостями 4. Температурні процеси 5. Дослідження процесів руйнування сталі ШХ15СГ

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Глотка О.А.		
2	Глотка О.А.		
3	Глотка О.А.		
4	Глотка О.А.		
5	Кружикова В.В.	10.10.2019	28.11.2019
6	Нестеров О.В.		
	Норми контроль Ткач О.В.		12.12.2019

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд. Розділ 1.	10.10.2019	
2	Матеріал та меморандум дослідження. Розділ 2	22.10.2019	
3	Експериментальна частина	3.11.2019	
4	Дослідження причин руйнування вчимої системи ЧХХ15СГ. Розділ 4.	20.11.2019	
5	Економічна частина. Розділ 5	3.12.2019	
6	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях. Розділ 6	10.12.2019	

Студент


 (підпис)

 Назаренко А.Ю.
 (прізвище та ініціали)

Керівник роботи


 (підпис)

 Глотка О.А.
 (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 103 с., 35 рис., 12 табл., 51 джерел

Об'єкт дослідження – зразки зі сталі ШХ15СГ

Предмет дослідження – мікронесуцільності біля неметалевих включень в вальницькій сталі.

Мета роботи: Розглянути умови експлуатації, термічну обробку, структуру, види і причини руйнування вальниці. Для сталі ШХ15СГ навести хімічний склад. Описати способи отримання зразків для дослідження, методику приготування, реактиви для травлення зразків. Розглянути методи мікроструктурного аналізу сталі. Дослідити, як впливають неметалеві включення на формування мікропористості під час пластичної деформації вальницької сталі.

В роботі було розглянуто причини руйнування вальниці зі сталі ШХ15СГ. Досліджено вплив різних температур прокатки на формування і розвиток мікронесуцільностей біля неметалевих включень вальницької сталі.

ВАЛЬНИЦЯ, ДЕФЕКТИ, РУЙНУВАННЯ, НЕМЕТАЛЕВІ ВКЛЮЧЕННЯ, МІКРОСТРУКТУРА, МАКРОСТРУКТУРА, МІКРОПОРИ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ЛЕГУВАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ, ДОМІШКИ, ПРОГАРТОВУВАНІСТЬ, ЗРАЗОК, МІКРОСКОП, РЕАКТИВ

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Літературний огляд	8
1.1 Аналіз умов експлуатації виробу та вимоги до матеріалу	8
1.2 Сталі які використовуються для виготовлення вальниць. Вплив легувальних елементів на властивості	15
1.2.1 Сталі загального призначення (хромові і хромомарганцевокремнієві з молібденом і без молібдену).....	15
1.2.2 Корозійностійкі і теплостійкі сталі	16
1.2.3 Вплив легувальних елементів.....	17
1.3 Термічна обробка вальницьових сталей	20
1.4 Структура вальницьових сталей.....	22
1.4.1 Макроструктура.....	22
1.4.2 Мікроструктура	23
1.5 Висновок.....	26
2 Матеріал та методика досліджень.....	27
2.1 Матеріал для дослідження	27
2.2 Устрій світлового мікроскопа МИМ-8.....	30
2.3 Висновок.....	32
3 Експериментальна частина	33
3.1 Дослідження мікронесуцільностей і втомних мікротріщин біля неметалевих включень.....	33
3.2 Вплив температури деформації на мікронесуцільності	35
3.3 Кількісний зв'язок мікропор і втомних мікротріщин	40
3.4 Висновок.....	47
4 Дослідження причин руйнування вальниці зі сталі ШХ15СГ	48
4.1 Візуальний огляд	48
4.2 Твердість сталі.....	59

4.3 Розрахунок кореляційної залежності параметра N_p/N_0 від щільності металу	60
4.4 Висновок	61
5 Економічна частина	63
5.1 Тенденції розвитку світового ринку вальницьових сталей	63
5.2 Визначення трудомісткості та тривалості роботи	65
5.3 Підрахування кількості витрат на практичну реалізацію проекту	68
5.3.1 Обладнання для виконання науково-дослідницької роботи	69
5.3.2 Розрахунок вартості матеріалів	70
5.3.3 Розрахунок заробітної плати	71
5.3.4 Відрахування на єдиний соціальний внесок	72
5.3.5 Накладні витрати	73
5.4 Розрахунок економічної ефективності науково – дослідницької роботи, яка має суто теоретичний характер	74
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	78
6.1. Аналіз потенційних небезпек	78
6.2. Заходи по забезпеченню безпеки	79
6.3.Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	83
6.4 Заходи з безпеки у надзвичайних ситуаціях	88
6.4.1 Заходи з пожежної безпеки	88
6.4.2 Оповіщення населення про виникнення надзвичайних ситуацій	89
Висновки	91
Список літератури	93
Додаток А	98

ВСТУП

Експлуатаційні властивості більшості машин і механізмів в значній мірі залежать від точності, довготривалої міцності і надійності вальниць кочення – одних з важливіших і найбільш розповсюджених елементів цих пристроїв.

Якість вальниць кочення визначається їх конструкцією, технологією виготовлення, термічною обробкою і властивостями металу. Вимоги, що висуваються до властивостей вальницевих сталей і критерії їх якості суттєво відрізняються від вимог для інших машинобудівних сталей і сплавів. Для оцінки працездатності вальницевих сталей значне місце має локальний опір втомі в зоні контакту елементів кочення. Тому потрібно приділити увагу впливу металургійних чинників, структурного стану сталі на контактну втому і руйнування вальниць під час їх експлуатації.

У зв'язку зі значним впливом неметалевих включень в сталі на працездатність вальниць особливу увагу приділено залежності складу і кількості включень від способу виплавляння і переплаву, а також методам дослідження включень і оцінки забрудненості сталі.

Дослідження структури матеріалів і сплавів за допомогою сучасних дифракційних методів дозволяє виявити ресурси покращення механічних і інших експлуатаційних властивостей матеріалу.

Розвиток рентгенівських і електронно-оптичних методів дозволяє отримати методи аналізу структури, що є не тільки методами дослідження, але й методами контролю якості металевих матеріалів, а також технологічних процесів їх отримання і обробки.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Аналіз умов експлуатації виробу та вимоги до матеріалу

Вальниця - це технічний пристрій, що є частиною опори, що підтримує вал, вісь або іншу конструкцію, фіксує положення в просторі, забезпечує обертання, хитання або лінійне переміщення (для лінійних вальниць) з найменшим опором, сприймає і передає навантаження на інші частини конструкції.

Вальниця кочення – це опори деталей, що обертаються і хитаються, які використовують елементи кочення (кульки або ролики) встановлених між зовнішнім і внутрішнім кільцями, що працюють на основі тертя кочення [1-3]. Зовнішнє кільце (нерухома деталь) знаходиться в корпусі інструменту, а внутрішнє (рухоме) на валу або осі. У робочому процесі кульки або ролики котяться по бігових доріжках кілець, геометрична форма яких залежить від форми тіл кочення. Щоб рівномірно розподілити між кільцями тіла кочення потрібен сепаратор. Зазвичай розміри вальниць кочення це ширина, внутрішній і зовнішній діаметри [4].

Вальниці кочення є одним з основних елементів більшості машин і механізмів. Вальниці характеризуються довговічністю, надійністю, точністю, частотою обертання, вагою, рівнем шуму і т. д.

Роботу переважної більшості машин і механізмів неможливо уявити без вальниць кочення. На працездатність вальниць впливають багато факторів в тому числі: відповідність вальниць типу та розмірам, характеру і величині експлуатаційних навантажень; якість сталі і термічна обробка; точність виготовлення деталей і якість обробки; якість збирання вальниць; умови монтажу, якість мастила та інші особливості експлуатаційних умов [5, 6].

В звичайних умовах правильно обрана вальниця, що експлуатується має 90% ймовірності пропрацювати протягом початкового терміну служби, і 10% - вийдуть з ладу в результаті процесів викришування, які відбуваються в умовах природної деградації [7]. Внутрішні причини ушкодження пов'язані

безпосередньо з вальницями: погана якість вальничевої сталі, погано шліфована внутрішня геометрія, сепаратори з дефектами і ущільнення вальниці. Зовнішні причини викликають більш 90% передчасних відмов вальниць [8, 9]

Таким чином при правильному виборі і необхідній високій якості виготовлення та складання вальниць, що забезпечується комплексом конструкторських і технологічних заходів, довговічності вальниць залежить головним чином від якості сталі і її термічної обробки [5].

Навантаження, що сприймає вальниця кочення, передається від одного кільця до іншого через тіла кочення – кульки або ролики, розділенні сепаратором. В місцях контакту тіл кочення з кільцями виникає контактне навантаження, що викликає місцеву деформацію, в результаті якої утворюються контактні дільниці [10].

Тиск на контактній дільниці, що сприймають деталі вальниць під час роботи, дуже великі і доходить майже до 2000 МПа, а у важко навантажених вальниць – до 4000 МПа. Нормальні навантаження в областях контакту є майже скрізь стиснення, окрім прилеглих до контуру дільниць областей, в яких також є навантаження розтягу [10].

Працездатність вальниць характеризується в першу чергу її статичною і динамічною вантажепідйомністю. Під статичною вантажепідйомністю розуміють граничне навантаження, при якому залишається деформація в зоні контакту, що не перебільшує задану величину (зазвичай близько 0,01% від діаметра кульки або ролика). Висока статистична вантажепідйомність вальниць досягається завдяки застосування для їх виготовлення сталей, які оброблені на високу твердість. Динамічна вантажепідйомність характеризується навантаженням протягом заданої кількості обертів вальниці, після якого не викликає виходу вальниці з ладу в результаті втомного руйнування в області дії контактних навантажень [10-13].

Локальні порушення однорідності і суцільності металу (неметалеві включення, крупні включення карбідів, мікропори, мікротріщини і інші металургійні і технічні дефекти) сприяють місцевим спотворенням поля напружень і, як правило, призводить до зростання напружень. Цей ефект

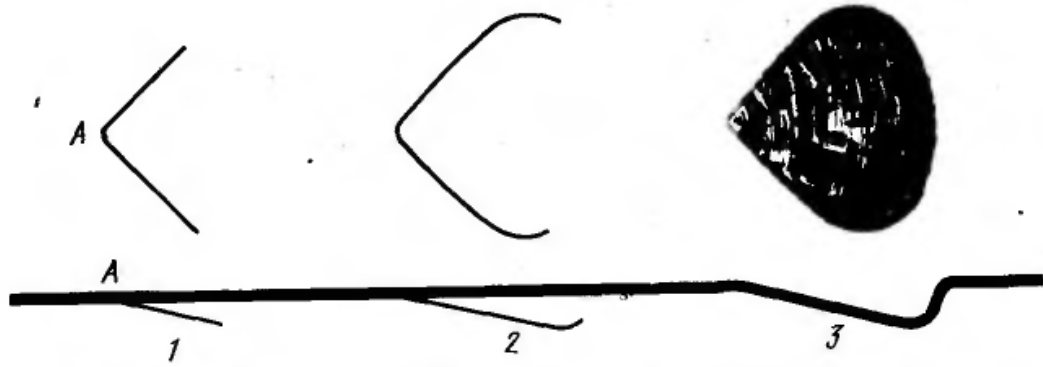
залежить від розмірів і форм дефектів, їх зв'язком з металевою матрицею. В залежності від розташування контактної ділянки ці дефекти можуть суттєво змінювати зону максимального навантаження [10].

Основні напруження в деталях вальниць при експлуатації виникають внаслідок багаторазового повторювального контактного навантаження кілець і тіл кочення. Контактна зносостійкість матеріалу є основним параметром для розрахунку довговічності вальниць. Крім того, в реальних умовах експлуатації деталей вальниць різного призначення можуть піддаватися зношуванню (через прослизання тіл кочення), динамічним навантаженням, впливу корозійних середовищ і підвищених температур [5].

Термін дії ресурсоспроможності вальниць залежить від ступеня зносу робочих поверхонь. Зношення поверхонь залежить від фізичних і хімічних властивостей поверхонь, що труться. Корозія поверхневого шару може бути джерелом і причиною викришування деталей вальниць. Хімічна реакція, що протікає між мастилом і матеріалом пришвидшує та водночас сповільнює цей процес, тому хімічна комбінація матеріалів і мастила теж впливає на зношення і довговічність вальниць [14].

Найбільш типові такі види пошкоджень: контактне втомне викришування (пітинг), вм'ятини, відшаровування, тріщини, корозія, окиснений і абразивний знос, поломки сепаратора, тіл кочення, зовнішнього і внутрішнього кілець, помилка складання [5, 15, 16].

Контактне втомне руйнування починається з зародженням мікроскопічної тріщини на поверхні або під нею. Вихід всієї тріщини на робочу поверхню призводить до відокремлення невеликого об'єму металу, в результаті чого утворюється ямка викришування (пітинг). В подальшому перекочування через викришену ділянку відбувається швидке утворення вторинних тріщин і розповсюдження викришування на значну частину робочої поверхні, що призводить до виходу вальниці з ладу. На рисунку 1.1 зображена схема контактно-втомного руйнування [10].



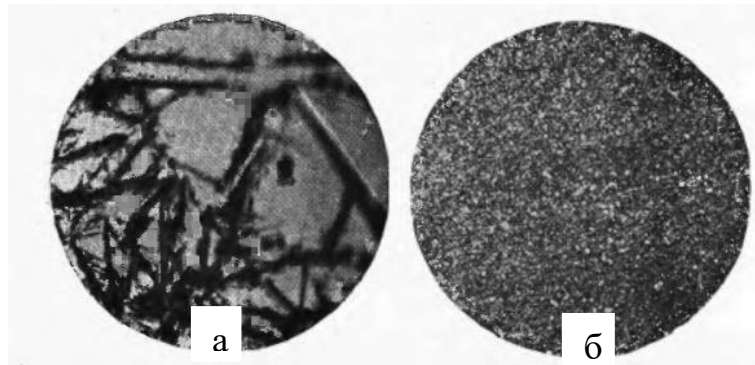
1-3 – стадії викришування. А – місце зародження тріщини.

Рисунок 1.1 – Схема контактно-втомного руйнування (пітинг)

В результаті значного впливу навантаження на довговічність під час контактної втоми металеві дефекти, що є концентраторами навантаження, мають значний вплив, а часто визначний вплив на динамічну вантажопідйомність вальниць [10].

Втомні раковини, які утворюються в наслідок втомного ушкодження, яке виникає зазвичай в кінці строку служби вальниці. Утворення раковин в вальницях в більшості випадків можуть бути в результаті перевищення допустимого навантаження, надзвичайного внутрішнього попереднього натягу в результаті занадто тугої посадки кільця вальниці на вал або отвір корпусу, деформації, додаткових осьових навантажень, або в результаті пошкоджень таких, як вм'ятини і інші [17].

Значний вплив на довговічність вальниць здійснює товщина мастильного шару, що розділяє поверхні контактуючих елементів вальниць, навантаження і швидкості оберту вальниць: чим більша висота мікронерівностей робочих поверхонь, тим більш товстий шар мастила необхідний для нормальної роботи вальниці. Тому під час виготовлення вальниць прагнуть шляхом оздоблювальних операцій понизити висоту мікронерівностей робочих поверхонь; це потребує використання сталей з доброю шліфуємістю. Мікроструктура кільця вальниці, що працювала в умовах тимчасового припинення постачання масла зображено на рисунку 1.2 [10].



а – біля дорожки кочення; б – біля посадкової поверхні

Рисунок 1.2 – Мікроструктура кільця вальниці, що працювала в умовах тимчасового припинення постачання масла ($\times 500$)

Під час нагрівання сталі в процесі термічної обробки виробів в результаті різного коефіцієнта термічного розширення метала (матриця) і включень, як в металі, так і в включеннях виникають мікронавантаження протилежних знаків.

У випадку прикладення зовнішніх деформуючих сил (прокатки, кування, штамповка, знакозмінні навантаження в процесі експлуатації) неметалеві включення грають роль концентраторів напружень і, крім того, слугують бар'єром біля якого накопичуються дислокації. Скупчення, що виникли при низьких температурах, можуть стати початком зародження тріщин, що уявляють собою вогнищем наступних втомних руйнувань сталі [18, 19].

Довговічності машин і механізмів залежить від інтенсивності зношення окремих деталей. Одним з елементів, що знижують термін дії є вальниці. Відмова вузлів вальниць призводить до простою техніки, втратам виробництва і підвищенню собівартості продукції [20, 21].

Основні вимоги, які повинні забезпечити вальницева сталь [22]:

1. Висока статична вантажопідйомність – граничне навантаження, при якому залишкова деформація в зоні контакту не перевищують 0,01 % від діаметра кульки або ролика. Задовільна статична вантажопідйомність – вона повинна бути дуже значна, оскільки тиску в області контакту під час роботи вальниць досягає 2000-4000 МПа, забезпечується за допомогою застосування в якості матеріалу для

вальниць заєвтектоїдних легованих хромом сталей, оброблених на високу твердість.

2. Високий опір контактній втомі. Ця характеристики надзвичайно сильно залежить від наявності металургійних дефектів різного роду, особливо сульфідних і оксидних включень, а також водню, оскільки вальнищеві сталі флокеновочутливі. Під час виробництва вальницьових сталей застосуванню рафінуючого переплаву приділяють особливу увагу. Рафінуючий переплав значно знижує забрудненість сталі від неметалевих включень, але й підвищує коштовність сталі.

Не менш шкідливим фактором з точки зору контактної втоми, є карбідна неоднорідність (карбідна сітка, включення карбідів). Методом усунення цього дефекту полягає в проведенні оптимальної пластичної і термічної обробки.

3. Зносостійкість, в тому числі абразивна, досягається додаванням в сталь 1,0 % С і 1,5% Cr. Вплив хрому на зносостійкість характеризується тим, що він збільшує кількість карбідної фази і змінює якісно її склад, що дозволяє отримувати тверді спеціальні карбіди.

4. Високий опір малим пластичним деформаціям. Ця вимога найбільш актуальна для вальниць точних приладів.

5. Стабільність розмірів. В залежності від розмірів і класу точності вальниць зміна розмірів під час експлуатації не повинна перевищувати $10^{-4} - 10^{-5}$ мм. Стабільність розмірів залежить від вмісту залишкового аустеніту в сталі. При збільшенні кількості залишкового аустеніту стабільність розмірів погіршується, так як залишковий аустеніт є не стабільною структурною складовою і під час високих навантажень може перетворюватись в мартенсит, що супроводжуються об'ємними змінами.

До вальницьових сталей висуваються більш жорсткі порівняно зі звичайними конструкційними сталями вимоги щодо чистоти матеріалу від неметалевих включень, поверхневих дефектів, густини, макроструктури, карбідної неоднорідності. Це пов'язано з тим, що під дією високих з концентрованих в малому об'ємі знакозмінних навантажень більшість дефектів макроструктури і

великі неметалеві включення є концентраторами напружень і місцями зародження втомних тріщин під час експлуатації вальниць. Забрудненість металу неметалевими включеннями, глибина знеуглецювання, макродефекти, карбідна ліквіація і структурна смугастість нормовані ГОСТ 801-78. З неметалевих включень найбільш небезпечні тверді і крихкі глобулярні включення [1].

Кількість, розмір, природа, форма і розподілення неметалевих включень в сталі помітно впливають на її оброблюваність і експлуатаційні властивості. Ступінь чистоти сталі від включень є важливою якісною ознакою [23].

Великий вплив на довговічність вальниць має густина сталі, насичення її порами, пухирцями и т.д., а також розташування волокон по відношенню до найбільш навантажених поверхонь деталей, що знаходяться в зоні контактного навантаження (доріжки кочення кілець, поверхні кочення роликів і кульок) [1].

Густина сталі забезпечується металургійною якістю вилівка і великими обтисками при раціонально обраних схемах деформування в процесі обробки тиском. При цьому необхідно виключити можливість потрапляння дуже навантажених ділянок деталей на найменш густі прошарки сталі [5].

Волокнистість сталі виникає внаслідок витягування дендритів і неметалевих включень в процесі гарячої пластичної деформації (при прокатці, куванні і т.д.). Механічні властивості загартованої сталі, такі як контактна витривалість, ударна в'язкість, тимчасовий опір при розтязі і згині залежать від орієнтації волокон. Якщо розташування волокон паралельно робочій поверхні - контактна витривалість максимальна, при виході торців волокон на поверхню кочення контактна міцність може зменшитися до 5 разів, особливо при виході волокон під кутом 45° до площадки контакту. Зниження контактної витривалості при торцевому виході волокон пояснюється великим числом дефектів, що виходять на доріжку кочення [5, 24].

Підвищення чистоти сталі за рахунок рафінуючих переплавок, підвищення її хімічної однорідності шляхом гомогенізації виливків і заготовок дозволяє частково нейтралізувати від'ємний вплив волокнистості [5].

1.2 Сталі які використовуються для виготовлення вальниць. Вплив легувальних елементів на властивості

1.2.1 Сталі загального призначення (хромові і хромомарганцевокремнієві з молібденом і без молібдену)

Розроблена на початку 1900 р. високовуглецева хромовая сталь ШХ15 має високий опір контактної втоми і високу зносостійкість, що забезпечується її легуванням в міру відносно дешевим хромом. З мірою збільшення розмірів вальниць з'явилась потреба в сталі, яка буде мати велику прогартовуваність. Для забезпечення цих вимог була створена модифікація з підвищеним вмістом кремнію і марганцю – ШХ15СГ. В деяких країнах підвищення прогартовуваності сталі ШХ15 досягли введенням в неї невеликої кількості молібдену. Сталі ШХ15, ШХ15СГ і їх зарубіжні аналоги відносяться до низьколегованих високоякісних заевтектонічних сталей. Їх застосовують, як конструкційні зносостійкі, а в ряду випадків, як інструментальні [22].

Вибір сталі для конкретної вальниці обумовлюється його розмірами і умовами експлуатації.

З хромової і хромомарганцевокремневої сталей виготовляють вальниці, що працюють в інтервалі температур 60-300°C. Експлуатація вальниць при температурах більше 100°C, потребує спеціальну термічну обробку деталей, що забезпечує стабільність розмірів, але супроводжується зниженням твердості, а також опору контактній втомі сталі [22].

В межах вказаного температурного інтервалу вибір хромової або хромомарганцевокремневої сталі визначається товщиною стінки кілець або діаметром тіл кочення. Забезпечення наскрізної прогартовуваності кілець вальниць з товщиною стінки більше 10 мм і роликів діаметром більше 22 мм досягається заміною сталі ШХ15 сталю ШХ15СГ. Для кілець з товщиною стінки більше 30 мм у вітчизняній практиці використовується сталь ШХ20СГ, що застосовують для виготовлення деталей крупно габаритних вальниць.

1.2.2 Корозійностійкі і теплостійкі сталі

Вальниці кочення, що працюють в агресивних умовах, виготовляють з хромомистих сталей, що містять 1% С, що поєднують високу твердість після гартування і низькотемпературного відпуску з невеликим рівнем корозійної стійкості.

Корозійностійкі вальницеві сталі усіх марок у вітчизняному виробництві отримують тільки шляхом рафінованого переплаву – електрошлаковим або вакуумним.

Сталь 95Х18-Ш застосовують для деталей вальниць середніх і крупних розмірів, що працюють в агресивних середовищах (розчинах і парах азотної кислоти, розчинах хлористого натрію і т.д.) [25].

Висока корозійна стійкість досягається після гарту і низькотемпературного відпуску. Сталь призначена для вальниць, що працюють при температурах -250°C до 100°C , а інколи від -250°C до $350-400^{\circ}\text{C}$, в цьому випадку деталі підлягають термічній обробці, що закінчується дворазовим відпуском при вказаних температурах.

З корозійностійкої сталі, що легована молібденом, 110Х18М-ШД виготовляють малогабаритні і мініатюрні приладові вальниці, а також корозійностійкі теплостійкі вальниці, що експлуатуються при температурах до 350°C [26].

Для виготовлення теплостійких вальниць, що працюють в умовах змащування при температурі $200-300^{\circ}\text{C}$, а в екстремальних ситуаціях – до 500°C , використовують дисперсійно-твердіючі сталі, що розроблені на основі інструментальної швидкорізальної сталі [27, 28].

У вітчизняному виробництві для виготовлення теплостійких вальниць застосовують сталь 8Х4В9Ф2 електрошлакового і вакуумно-дугового переплавів. Сталь використовується для деталей теплостійких вальниць після стандартної термічної обробки (гартування і трьохразового відпуску при $565-580^{\circ}\text{C}$), що

забезпечує твердість при кімнатній температурі HRC 59-65. Ця сталь має задовільну гарячу твердість до 500°C (не нижче HRC 56) задовільну гарячу повзучість до 550°C.

З метою економії вольфраму розроблена економно легована сталь 8X4M4B2Ф1-Ш, що не поступається сталі 8X4B9Ф2-Ш за зносостійкістю, контактної втоми і стабільності до 500°C. В'язкість її в 1,5 рази перевищує в'язкість сталі 8X4B9Ф2-Ш.

1.2.3 Вплив легувальних елементів

В хімічному складі вальницьових сталей обов'язково присутній хром. Хром визначає склад карбідної фази і, крім того, забезпечує необхідну прогартовуваність. Хром забезпечує одночасно достатню теплостійкість, зносостійкість і корозійностійкість.

Хром який доданий в малих концентраціях в заевтектоїдних марганцевих сталях, зменшує схильність такої сталі до росту зерна. Цим він запобігає низьколеговані марганцеві сталі від підвищення чутливості до перегріву. Додавання до марганцевої сталі 0,8-1,2% Cr дозволяє підвищити граничну температуру під час нагрівання під гартування без небезпеки перегріву і утворення тріщин [29].

Твердість внутрішніх шарів деталей вальниць залежить від глибини прогартовуваності сталі, яка в свою чергу залежить від вмісту хрому. Він уповільнює перетворення аустеніту в перлит і тим самим збільшує прогартовуваність сталі. Тому чим більша деталь вальниці, тим з більшим вмістом хрому (0,4-1,65%) використовують сталь для їх виготовлення. Хром також збільшує стійкість мартенситу проти відпуску, зменшує схильність сталі до перегрівання і сприяє утворенню дрібнозернистої структури. Але при високому

вмісту хрому ($>1,65\%$), складно отримати однорідну структуру, тому вміст хрому в вальницьових сталях зазвичай не перевищує $1,65\%$ [30, 31].

Додаткове додавання кремнію і марганцю проводять з метою підвищення прогартовуваності і застосовують для сталей, що використовуються для виробництва крупногабаритних вальниць з товщиною стінки більше 10 мм [22]. Марганець, як і хром, збільшує твердість і опір до стирання сталі. Але одночасно він сприяє зростанню зерна при нагріванні, в результаті чого при термічній обробці може утворюватися грубозерниста структура перегрітої сталі.

За своєю природою хромові сталі близькі до вуглецевих приблизно з 1% С. Хром розчиняється в обох фазах відпаленої сталі – в фериті і цементиті. Легований хромом цементит повільніше розчиняється в аустеніті, чим і пояснюється менша критична швидкість гартування сталі в порівнянні з вуглецевими [32].

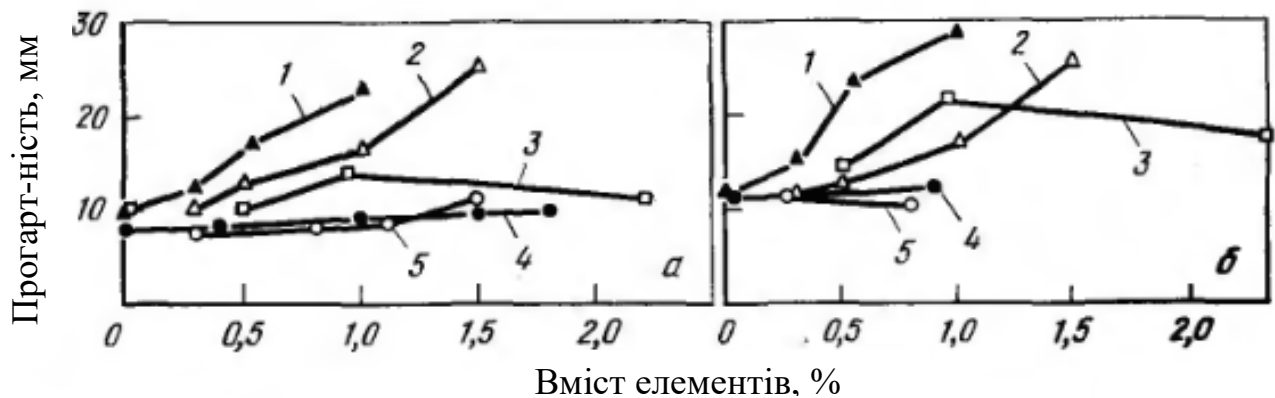
Вміст вуглецю необхідно обмежувати і контролювати до $1,0\%$ з метою зменшення карбідної неоднорідності. Фосфор збільшує схильність сталі до утворення грубозернистої структури при нагріванні, підвищує крихкість і зменшує міцність на згин, що в свою чергу збільшує чутливість сталі до динамічних навантажень і схильність виробів до появи гартівних тріщин. У зв'язку з цим вміст фосфору в металі обмежують.

Підвищений вміст сірки призводить до збільшення кількості сульфідів і розмірів цих включень, що особливо небажано на робочих поверхнях і під тонким шаром металу бігових доріжок, так як викликає передчасний знос у вигляді викришування [29].

Мідь, хоча і збільшує твердість, границю міцності і прогартовуваність сталі, але є небажаною домішкою, тому що домішки міді в вальницьових сталях негативно впливають також на її поведінку під час кування, прокатки і штампування, що викликає появу малих поверхневих тріщин і надривів [33].

Вміст нікелю обмежують у зв'язку з тим, що його присутність знижує твердість сталі.

Вплив легувальних домішок (кремнію, алюмінію, марганцю, вольфраму і молібдену) на торцьову прогартовуваність сталі ШХ15, згідно даним [34] показано на рисунку 1.3. Під час гартування від 850°C на підвищення показників прогартовуваності найбільш сильно чинить вплив молібден, далі по мірі послаблення ефекту марганець і вольфрам.



а

б

1 – молібден; 2-марганець; 3-вольфрам; 4-алюміній; 5-кремній.

Рисунок 1.3 – Вплив легувальних елементів на торцьову прогартовуваність сталі ШХ15 при температурах аустенітизації 850°C (а) і 880°C (б)

При температурі гартування 880°C вплив вольфраму і марганцю на прогартовуваність є однаковими. Згідно даним [35], домішка в сталі ШХ15 0,1% V не чинить вплив на торцьову прогартовуваність; 0,2% V підвищує прогартовуваність приблизно вдвічі, підвищення його вміст до 0,34 % не підвищує прогартовуваність. Домішка 1% Ni підвищує прогартовуваність в 2,5-3 рази [25].

1.3 Термічна обробка вальницьових сталей

Електрошлаковий і вакумно-дуговий переплав, зменшує кількість неметалевих включень (сульфідів, оксидів і т.д.), підвищують довговічність вальниць. Сталі виготовляють у вигляді прутків, труб і проволон. Для гарячого штампування сталі постачаються без відпалу, для холодної механічної обробки – у відпаленому стані [25].

Після відпалу сталі отримують однорідну структуру дрібнозернистого перліту з дрібними включеннями вторинних карбідів. Така структура забезпечує задовільну оброблюваність різанням і достатню пластичність під час холодної штамповки кульок і роликів; твердість після відпалу HB 179-207. Кільця, кульки і ролики проходять гартування в інтервалі температур 840-860°C з наступним охолодженням в маслі (30-60°C) і відпуском при 150-170°C. Перед відпуском для зменшення кількості залишкового аустеніту деталі вальниць охолоджують до температур не вище 20-25°C. Це підвищує стабільність їх розмірів.

Для отримання оптимального поєднання міцності і контактної витривалості кільця і ролики вальниць повинні мати після гартування і відпуску твердість HRC 60-64 для сталі ШХ15СГ, а кульки – HRC 62 – 66.

Для виготовлення деталей вальниць кочення, що працюють при підвищених динамічних навантажень, застосовують цементовані сталі: 20Х2Н4А і 18ХГТ. Після газової цементації на глибині 1,2 – 3,5 мм, високого відпуску, гарту і відпуску при 160-170°C деталей вальниць зі сталі 20Х2Н4А мають на поверхні HRC 58-62 і в серцевині HRC 35-45 [36].

Для кілець важко навантажених роликів вальниць для букс залізо дорожніх вагонів застосовують об'ємно – поверхнєве гартування. Для виготовлення цих деталей застосовують високовуглецеву сталь ШХ4 з регламентованою прогартуваністю, що має структуру перед гартуванням зернистого перліту.

Кільця, що гартують нагрівають на спеціальному автоматичному станку індукційним способом наскрізь, після чого здійснюють коротку ізотермічну витримку при 850°C. Гартування здійснюється в гартівній камері, де поверхні кілець з великою швидкістю омиваються великою кількістю води. Далі низький відпуск при 160°C протягом 4 год. Після такої термічної обробки (в результаті обмеженої прогартуваності сталі ШХ4) на кільцях товщиною 14 мм утворюється гартівний шар зі структурою мартенситу товщиною 2,5-3,5 мм з твердістю HRC 60-63, а серцевина має структуру троститу і сорбіту гарту з твердістю HRC 35-40 [37].

Деталі теплостійких вальниць виготовляють зі сталей 8X4B9Ф2-Ш (ЕІ 347 Ш) і 8X4М4В2Ф1-Ш (ДІ 43-Ш) також піддають гартуванню з високим відпуском.

Нагрівання кілець і тіл кочення під гартування проводять в соляних ваннах в дві стадії: попередній нагрів до 800-830°C і кінцевий нагрів до 1220-1240°C для сталі 8X4B9Ф2-Ш і 1130-1160°C для сталі 8X4М4В2Ф1-Ш. Тривалість 8-10 секунд на 1 мм при перетині деталей до 25 мм і 6 с для більшого перетину деталей; охолодження після гартування в маслі при температурі 80-130°C. Після промивання деталі піддають триразовому відпуску в селітрових ваннах при 565-580°C протягом 2 годин під час кожного відпуску з охолодженням на повітрі.

Для нержавіючих теплостійких вальницьових сталей температура гартування вище 1080-1230°C, що забезпечує повне розчинення карбідів, а температура відпуску 160°C або 500-570°C (для дисперсно-твердіючих вальницьових сталей) [38].

Твердість після термічної обробки HRC 60-64. Мікроструктура - дрібногольчастий мартенсит і надлишкові карбіди. Величина зерна і гольчастість мартенситу суворо регламентуються, температурою нагріву під гартування в зазначених межах корегується за результатами пробних гартувань зразків зі сталі даної плавки.

Деталі вальниць кочення зі сталі 18ХГТ підлягають цементації або ціануванню на глибину 0,9-1,8 мм. Після гарту і низького відпуску вони мають твердість HRC 61-65.

Для вальниць, що довго працюють при підвищених температурах, важливо зберігати твердість, яка визначає статичну і динамічну вантажепідйомність, а також структурну і розмірну стабільність. Тому вальниці, що працюють при 120-250°C, виготовляють з низьколегованих сталей підвищеної теплостійкості, а ті що експлуатуються при більш високих температурах – з теплостійких сталей типу інструментальні. В хімічній промисловості, ядерній енергетиці і інших областях техніки застосовують корозійностійкі вальниці з високовуглецевих нержавіючих сталей. На ряду зі звичайними вимогами до вантажопідйомності ці вальниці повинні протидіяти впливу агресивних середовищ – вода, кислоти, луги, кріогенні рідини (водень, кисень), розплави лужних металів і інші, які одночасно повинні бути мастилом.

1.4 Структура вальницевих сталей

1.4.1 Макроструктура

Грубі дефекти – усадкові раковини, усадкова рихлість, флокени, газові пухирці, плямиста ліквіація, крупні неметалеві включення – в макроструктурі не допускаються, так як вони є зародками утворення тріщин під час гарячої і холодної пластичної деформації, під час термічної обробки, а також руйнування деталей під час експлуатації [10].

Грубим дефектом макроструктури є мікропори. Вони зустрічаються в центральній частині прутків. В гарячекатаній сталі діаметром до 60 мм мікропори не допускаються, а в прутках більших розмірів вони нормуються шкалою ГОСТ 801-78 [39]. Існують припущення, що мікропори уявляють собою осьовий перепал, в зоні якого розриви орієнтовані по ліквіаційним смугам мікроструктури.

Механізм їх утворення наступний: в осьовій зоні злитка сталі ШХ15 в результаті ліквідації вуглецю і хрому можливе скупчення карбідів, що утворилися в результаті деформації ділянок метастабільного ледибурита; під час високої температури нагріву під прокатку зливків або заготовок ці ділянки можуть почати плавитися; в процесі прокатки за непластичними волокнами цієї зони утворюються розриви [10].

1.4.2 Мікроструктура

Мікроструктура відпаленої сталі досліджується з метою визначення дисперсності карбідів, характеру їх розподілу, виявлення карбідної ліквідації, карбідної сітки, смугастості і знеуглецювання. Ці показники мікроструктури нормуються стандартами і технічними умовами. Шкали для візуальної оцінки додані до ГОСТ 801-78 [10].

Вимоги до мікроструктури після відпалу зумовлені вимогами до оброблюваності різанням і до мікроструктури і твердості після гартування. Мікроструктуру виявляють щавленням в 2-4%-му розчині азотної або пікринової кислоти [10].

Найбільш сприятливою є структура зернистого перлиту. Ступінь дисперсності карбідів впливає на оброблюваність сталі. Зовсім дрібний або точковий зернистий перліт сприятливий для отримання однорідного мартенситу з рівномірно розчиненим вуглецем в твердому розчинні, але гірше піддається обробці різанням. Крупнозернистий перліт добре піддається обробці різанням, але в результаті збільшення відстані між карбідами погіршується рівномірність розподілу вуглецю в аустеніті при наступному нагріванні під гартування. Тому для забезпечення поєднання задовільної оброблюваності різанням і якісного гартування обрано ряд проміжних структур [10].

Цим вимогам відповідає структура дрібнозернистого однорідного перліта і сферичних карбідів. Але структура не повинна бути занадто дисперсною і цю умову визначає твердість металу, яка повинна бути у межах 183-207 НВ [40-42].

Згідно стандартом для сталі ШХ15 допускаються бали 1-4 шкали №8 з середнім розміром частинок цементиту 0,9 і 1,46 мкм відповідно. Для сталі ШХ15СГ, окрім балів 1-4, допускається бал 5, в якому середній розмір частинок цементиту дорівнює 0,72 мкм; крім того допускаються незначні ділянки пластинчастого перліту (менше 5% площі) [10].

У зв'язку з великою ліквіацією хрому і вуглецю в сталі ШХ15 і ШХ15СГ виникає карбідна неоднорідність, що виявляється у вигляді карбідної ліквіації, карбідної смугастості, структурної смугастості. Ще один вид неоднорідності – карбідна сітка виникає в результаті температурних режимів прокатки і термічної обробки; вона також пов'язана з дендритною ліквіацією [10, 43].

Перелічені дефекти виявляються після гартування сталі на мартенсит, низькотемпературного відпуску і спеціального шліфлення [10].

Карбідна ліквіація є крихкою складовою, що знижує контактну витривалість сталі, підвищує коефіцієнт тертя і питоме зношення сталі. В стандартах усіх країн вона суворо регламентується; допустимий бал за шкалою ГОСТ 801-78 не перевищує бал 2 для відпаленої сталі.

Згідно з ГОСТом 801-78 в мікроструктурі відпаленого прокату вальницьових сталей діаметром до 60 мм не допускається наявність карбідної сітки, а її залишки не повинні перевищувати бал 3 [44, 45].

Карбідна смугастість уявляє собою смуги з великою концентрацією вторинних карбідів, витягнутих вздовж напрямку прокатки. ГОСТ 801-78 регламентує структурну смугастість (рис 1.4).

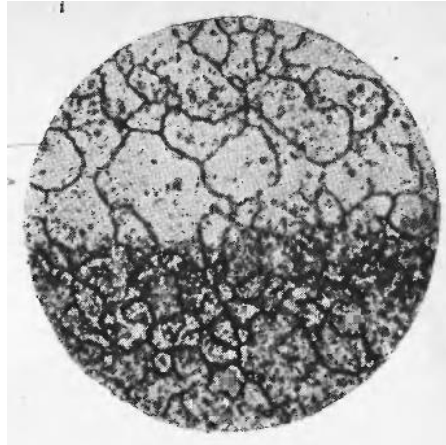


Рисунок 1.4 – Структурна смугастість і різнозерністість в сталі ШХ15
(гартування в маслі 850 С, відпуск при 250 С) ×500

Структурна смугастість – це чергування світлих і темних смуг мікроструктури, що виявленні на повздовжніх мікрошліфах під час звичайного або більш тривалого (до 20 секунд) щавлення загартованої і низько відпущеної сталі в щойно приготованому 4%-му спиртовому розчинні азотної кислоти [10].

В одному випадку чергуються смуги скритокристалічного мартенситу з різним ступенем щавлення, а інші – темні смуги тростомартенситу і світлі смуги дрібногольчастого або голчастого мартенситу. В темнощавлених смугах в основному концентруються карбіди, карбідна ліквация і карбідна сітка. У зв'язку з тим, що структурна смугастість здійснює негативний вплив на технологічні, механічні, експлуатаційні властивості сталі ШХ15 її допустима величина в прутках регламентується фото еталонами шкали №5 ГОСТ 801-78 [10].

Другим проявом неоднорідного розподілення карбідів є карбідна сітка, що утворюється в результаті повільного охолодження прокату або поковок. Крім того вона може виникнути в смугастій структурі в місцях підвищеної концентрації карбідів навіть в умовах нормального охолодження прокатки.

1.5 Висновок

Основні вимоги, які повинна забезпечити вальнищева сталь: висока статична вантажопідйомність, високий опір контактній втомі, зносостійкість, високий опір малим пластичним деформаціям, стабільність розмірів.

Термічна обробка деталей вальниць (кульок, роликів, кілець) складається з двох операцій – гартування і відпуск. Гартування проводять в маслі, температура нагріву 830-840°C з наступним відпуском при 150-160°C протягом 1-2 години, що забезпечує отримання твердості не нижче 62 HRC. Структура повинна собою уявляти відпущений дуже дрібногочастий мартенсит з рівно вісним розподіленням надлишкових карбідів. Недотримання правильних режимів термічної обробки, які задані в вузьких межах, погіршують якість вальниць, що відображується на їх стійкості під час роботи.

2 МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріал для дослідження

Об'єктом дослідження слугують зразки зі сталі ШХ15СГ відкритої виплавки, що виготовлена за дійсною технологією заводу «Дніпропедсталь», виплавлена відповідно з ГОСТом 801-78. З центральної частини прокату вирізані повздовжні зразки квадратного перерізу 140 мм, котрі в інтервалі температур 800-1200°C піддали гарячій деформації. Хімічний склад сталі ШХ15СГ згідно з ГОСТом 801-78 наведено в таблиці 2.1.

Режим обробки передбачав нагрівання зразків до 1150°C, витримка 30 хв з наступним охолодженням до температури прокатування 1150, 950, 850, 800 С. Усі зразки були продеформованні за 4-6 підходів на заданій температурі з сумарною деформацією 60%. Під час кожного проходу зразки підігрівають до температур прокатування. Після остаточної деформації зразки охолоджують на повітрі.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі ШХ15СГ

Марка сталі	Масова частка хімічних елементів								
	C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu	Ni+Cu
	не більше								
ШХ15СГ	0,95-1,05	0,40-0,65	0,90-1,20	1,30-1,65	0,02	0,027	0,30	0,25	0,50

В таблиці 2.2 наведені дані щодо механічних властивостей сталі ШХ15СГ.

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі ШХ15СГ

Режим термічної обробки	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	KCU, Дж/см ²	HB (HRC)
	МПа		%			
	Не менше					
Відпал 790-810°C, охолодження з піччю до 730°C, від 730 до 650°C зі швидкістю 10-20 град/год, далі на повітрі (ізотермічний відпал)	370-410	590-730	15-25	35-55	44	179-217
Гартування 810-840°C, олія. Відпуск 150°C, повітря	-	1960-2350	-	-	3-7	(61-65)

Неметалеві включення і мікронесуцільності оцінювали на полірованій і спеціально підготовленій поверхні зразків. Попереднім дослідженнями встановлено, що механічне полірування призводить до затягування наявних в металі тонких мікротріщин. Тому для виявлення усіх існуючих мікротріщин і мікропор, а також встановлення істинних розмірів мікрооб'єктів використовували хімічне травлення реактивом 10% HNO₃ з подальшим іонним поліруванням.

Полірування зразків проводять з метою усунення нерівностей поверхні без деформації металу. Полірування може бути механічним, електролітичним і хімічним. Поліровку закінчують коли зразок здобуває дзеркальну поверхню.

Для виявлення мікроструктури поліровану поверхню піддають травленню. Залежно від хімічного складу сплаву, способу обробки і цілей дослідження застосовують різні реактиви: слабкі спиртові або водні розчини кислот, лугів або суміші різних кислот.

Зразок невеликих розмірів занурюється в реактив, налитий в порцелянову чашку. На масивний зразок реактив може наноситися на поверхню за допомогою крапельниці або піпетки.

Тривалість травлення різна для різних сталей, але зазвичай достатньо витримки 5 - 10 секунд. Ознакою протравленості є потьмяніння поверхні (поява

матовості). Після травлення шліф промивають водою, протирають і просушують фільтрувальним папером.

Будь-який метал або сплав є полікристалічним тілом, тобто складається з великого числа різноорієнтованих кристалітів (зерен). На границях зерен навіть чистих металів зазвичай розташовуються домішки. Крім того, границя зерен має більш спотворену кристалічну будову, ніж самі зерна. Під дією реактиву, внаслідок відмінності електрохімічного потенціалу зерна і границі (в чистих металах) або окремих структурних складових в сплавах, утворюються мікроскопічні гальванічні пари. Границі зерен, а також фази з більш низьким потенціалом будуть розчинятися швидше, ніж тіло зерна або фаза з більш високим потенціалом. Механічні суміші дисперсних фаз щавляться швидше, ніж однофазні структури (чисті метали, тверді розчини), так як в першому випадку утворюється велика кількість гальванічних пар. Крім того, різниця потенціалів між різними фазами структури складного сплаву вище, ніж різниця потенціалів між тілом зерна і його границею у однорідного металу, сплаву.

В результаті різного травлення на поверхні зразка з'являється мікрорельєф. При розгляді зразка під мікроскопом цей мікрорельєф буде створювати поєднання світла і тіні. За зображенням світлих і темних ділянок роблять висновки про структуру сплаву. Структура протравлена сильніше, має вигляд під мікроскопом темних ділянок, так як більше розсіює світло. Отже, темні ділянки свідчать про дво- або багатофазну дисперсну будову сплаву. Межі зерен чистих металів і твердих розчинів буде видно під мікроскопом у вигляді тонкої сітки. Часто зерна одного і того ж металу травляться по-різному. Це пояснюється тим, що в площині зразка знаходяться зерна з різною кристаллографічною орієнтацією і тому мають різну хімічну активність.

Травлення зразка веде до вибіркового видалення поверхневого матеріалу і виявлення його мікроструктури.

Більшість методів травлення засноване на деякій хімічній реакції, яка протікає швидше в областях з більш високою енергією. У найпростіших методах

травлення використовують хімічно активні розчини, які призводять до появи розвиненої поверхні. Розчинники зазвичай уявляють собою спирти.

З метою отримання бездефектних оптичних поверхонь після травлення, здійснюють іонне полірування. Метод іонного полірування поверхні зразка відбувається у вакуумі тими чи іншими іонами інертних газів. Іонний розпилювач уявляє собою скляний циліндр в якому розташовані два електроди: зразок (катод) і анод з відповідного матеріалу. Після створення потрібного вакууму до електродів прикладається різниця потенціалів, газ в камері іонізується і позитивні іони від аноду рухаються до катода. Цей метод дозволяє очистити поверхню зразка від забруднень, а також видалення оксидної плівки.

Деталі або зразки невеликих розмірів і ваги після підготовки поверхні можна безпосередньо встановити на стіл мікроскопа МИМ-8.

2.2 Устрій світлового мікроскопа МИМ-8

На малюнку 2.1 показана спрощена оптична схема мікроскопа. Мікроскоп працює наступним чином. Світло від потужної лампи 1 поступає на нахилене дзеркало 2 і, відбиваючись від нього, проходить через апертурну діафрагму 3, яка обмежує пучок променів, що входять в систему мікроскопа. Далі світло проходить через польову діафрагму 4, що обмежує поле зору. Змінюючи ступені відкриття цих діафрагм, можна підібрати найбільш оптимальні режими для перегляду зображення. Пройшовши польову діафрагму, світло потрапляє в призму 5, призначену для зміни напрямку світлового променя. На виході з призми розташовується пристосування 6, що дозволяє проводити дослідження структур або в світлому, або в темному полі. При дослідженні в темному полі ми можемо більш детально вивчити фази, що виступають над загальною поверхнею зразка, але при цьому інші фази будуть темними і не нададуть повної характеристики структурі.

Найчастіше дослідження проводять у світлому полі. В даному випадку вся поверхня зразка виявляється рівномірно освітленою, а завдяки неоднаковому відбиття світла від різних ділянок поверхні, ми можемо отримати більш повне уявлення про всю структуру матеріалу.

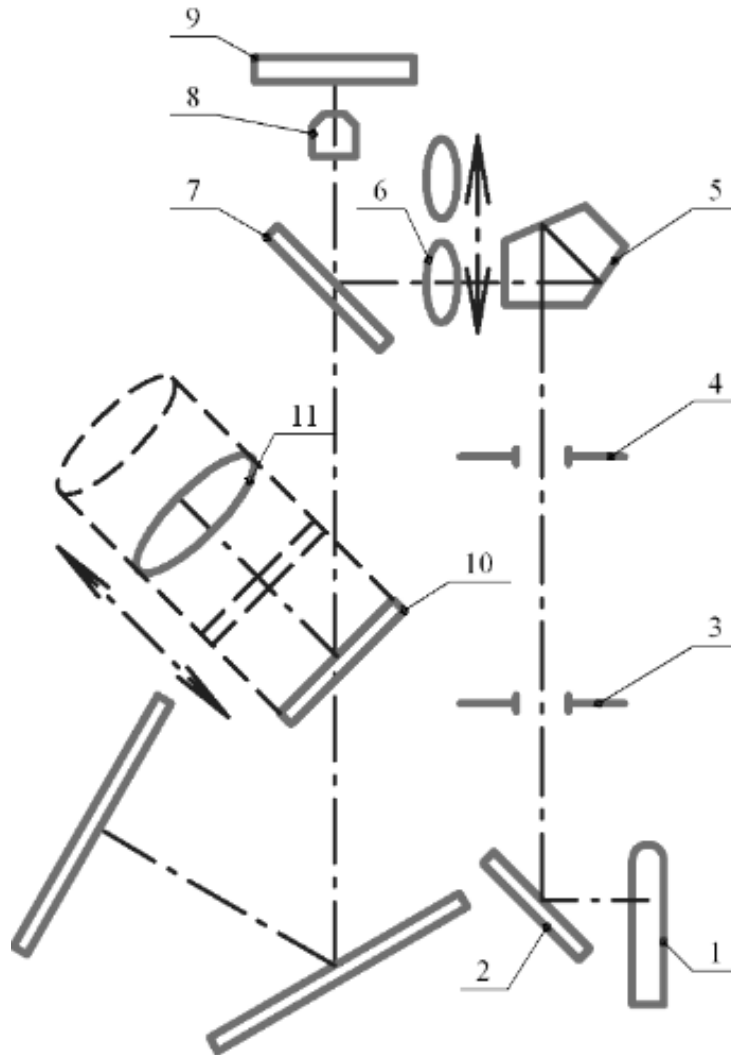


Рисунок 2.1 - Спрощена оптична схема мікроскопа МИМ-8

Пройшовши лінзи світлого або темного поля, світло потрапляє на дзеркало 7, в центрі якого зроблено дуже вузький отвір. Світло, відбите від дзеркала, проходить через об'єктив 8 і освітлює поверхню зразка, встановленого на предметний столик мікроскопа 9. Світло, відбите від поверхні зразка, знову проходить через об'єктив, фокусується і далі, проходить через центральний отвір

дзеркала 7. Потрапляючи на дзеркало 10, він надходить в окуляр 11, що дозволяє розглядати зображення структури.

Вміст включень і мікропор кожного режиму обробки визначили методом П ГОСТ 1778-80 при збільшенні $280\times$ на 825 полях зору. Неметалеві включення визначенні методом П – підрахунок кількості і об'ємного проценту включень, застосовується для випробування деформованого і литого металу.

2.3 Висновок

Для дослідження мікроструктури було вирізано повздовжні зразки виплавлені зі сталі ШХ15СГ згідно з ГОСТом 801-78. Неметалеві включення і мікронесуцільності оцінювали на полірованій і спеціально підготовленій поверхні зразків. Підготовка поверхні зразків складається з поліруванням, хімічного травлення в реактиві 10% HNO_3 з подальшим іонним поліруванням. Після підготовки поверхні зразки безпосередньо встановлюються на стіл мікроскопа МИМ-8 для дослідження мікроструктури сталі.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Дослідження мікронесуцільностей і втомних мікротріщин біля неметалевих включень.

Неметалеві включення і мікронесуцільності, як було вже зазначено раніше, оцінювались на спеціально підготовленій полірованій поверхні зразків після кожного режиму термічної обробки.

Кількісному підрахунку підлягають включення (оксидні і оксидосульфідні), починаючи з 5 мкм, а несущільності біля них, починаючи з 0,5 мкм. Для кожного включення вимірювався розмір у вигляді середнього діаметру (розрахованого за допомогою його площі за ГОСТом 1778-80) і оцінювалась площа пори. За цими результатами для кожної розмірної групи включень визначали загальну кількість включень (N_o), кількість включень з порами в матриці (N_n) і площа пор (S_n). Мікропори біля неметалевих включень сталі ШХ15 наведено на рисунку 3.1.



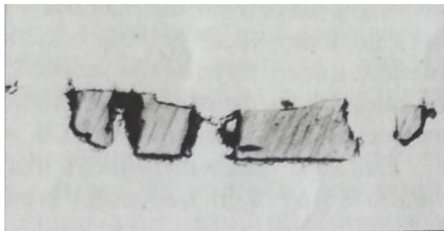
а – полірування; б – полірування, травлення, іонне полірування

Рисунок 3.1 – Мікропори біля неметалевих включень сталі ШХ15 x310

В якості критерію ступеня впливу типу і розміру включень на розвиток мікропор слугували параметри: частка включень з порами (N_o/N_n) і площа пори,

що припадала на одне включення (S_p/N_o). Відносна похибка у визначенні цих параметрів в умовах даного експерименту не перевищувало $\pm 10\%$.

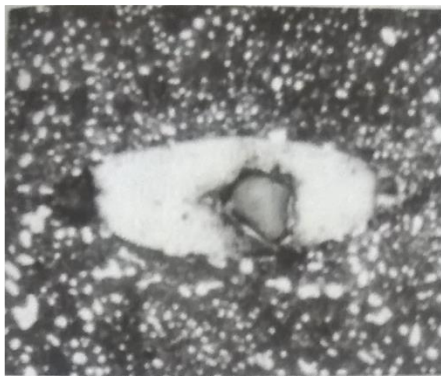
На рисунку 3.2 наведені зображення на яких показано розвиток мікронесуцільностей біля неметалевих включень. У ході аналізу збільшених протравлених зразків виявлено наступні особливості, а саме: при низьких температур прокатки $800-850^{\circ}\text{C}$ у ряді випадків відбувається зі м'яття сульфідної оболонки кисневих включень в результаті чого спостерігається утворення мікропор. В інтервалі температур прокатки $1100-1200^{\circ}\text{C}$ в оксисульфідних включеннях, на межі розподілу фаз оксид-сульфід, відбувається оплавлення оксидної складової, що теж сприяє утворенню мікропор.



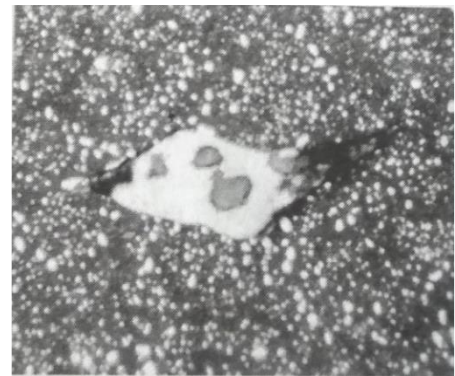
а



б



в



г

а – оксисульфід, температура прокатки 800°C ; б – оксисульфід, температура прокатки 1200°C , в – нітрид, температура прокатки 1200°C ; г – оксисульфід, температура прокатки 1200°C ; а- $\times 1000$; б-г- $\times 800$

Рисунок 3.2 – Мікропори біля неметалевих включень після різних температур прокатки

Утворення мікронесуцільностей спостерігається також в місцях руйнування цілісності нітриду титану у зв'язку з тим, що матриця в цих місцях після руйнування не встигає замикатися між частинками утворюються великі мікронесуцільності.

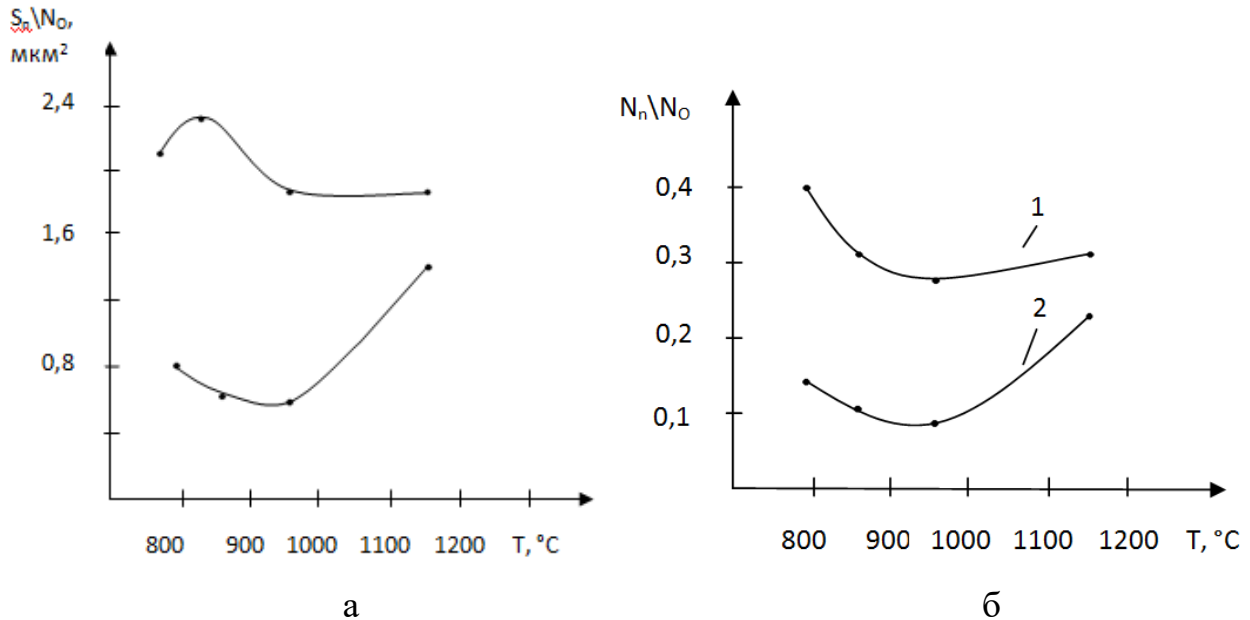
3.2 Вплив температури деформації на мікронесуцільності

Результати кількісного аналізу мікропор біля кисневих (оксиди і глобули) і сульфідних (сульфіди і оксульфіди) включень в залежності від температури прокатки показані на рисунку 3.3. Ці дані свідчать про те, що з підвищенням температури від 800 до 950-1150°C спостерігається зниження частки кисневих включень з порами від 0,42 до 0,28-0,30. Це супроводжується зменшенням площі пор, що припадає на одне включення. Для сульфідних включень спостерігається зниження кількості включень з порами при температурі прокатки 900°C і їх збільшення при підвищенні температури прокатки до 1150°C. Збільшення кількості включень з мікропорами при підвищенні температури прокатки супроводжується значним збільшенням площі пор, що припадає на один сульфід: параметр (S_p/N_o) збільшується від 0,5 мм² при температурі 950°C і до 0,8 мм² при 1150°C.

Включення, що не деформуються (кисневі) і пластичні (сульфідні) в однакових умовах деформації проявляють різну здатність до утворення мікроруйнувань. У сульфідних кількість пор, що зароджуються в 3,7 раз, а розміри пор в 6,4 раз менші ніж у кисневих включень.

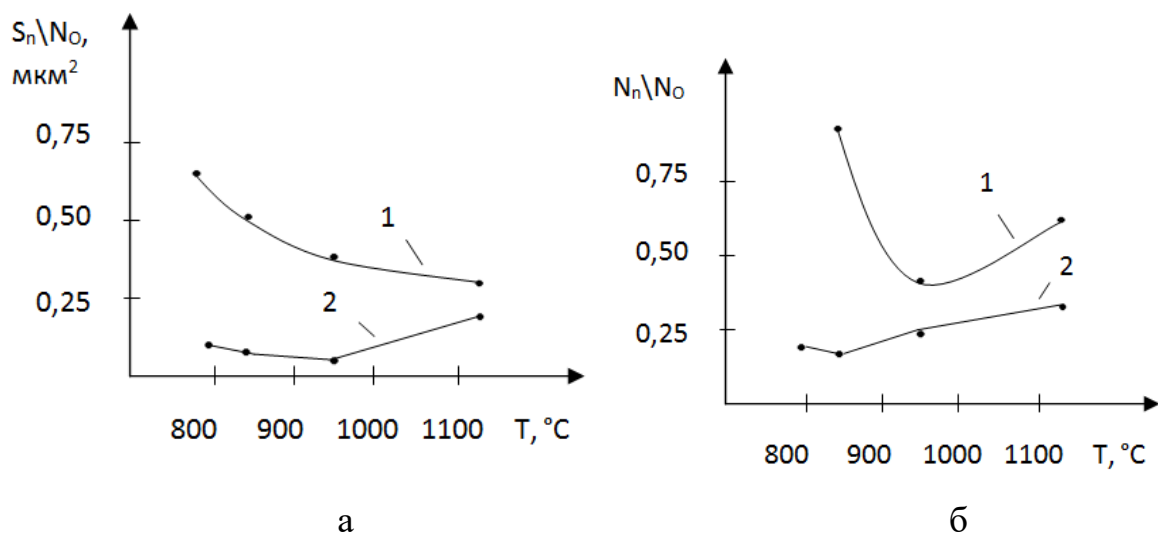
Підвищення температури інтенсифікує процес рекристалізації гаряче деформованого аустеніту. У зв'язку з цим підвищення температури прокатки призводить до різкого зниження частки кисневих включень з порами і зменшенню площі пор. Особливо наочно це проявляється на великих кисневих включеннях розміром більше 12 мкм (рис. 3.4). Наприклад, прокатка сталі ШХ15 при 850°C

призводить до утворення пор у 96% включень, а при 1150°C їх кількість знижується до 60%.



а – вплив температури на площу пори, що припадає на одне включення; б – вплив температури на частку включень з порами; 1 - оксиди; 2 – сульфіди

Рисунок 3.3 – Вплив температури на мікропори біля неметалевих включень

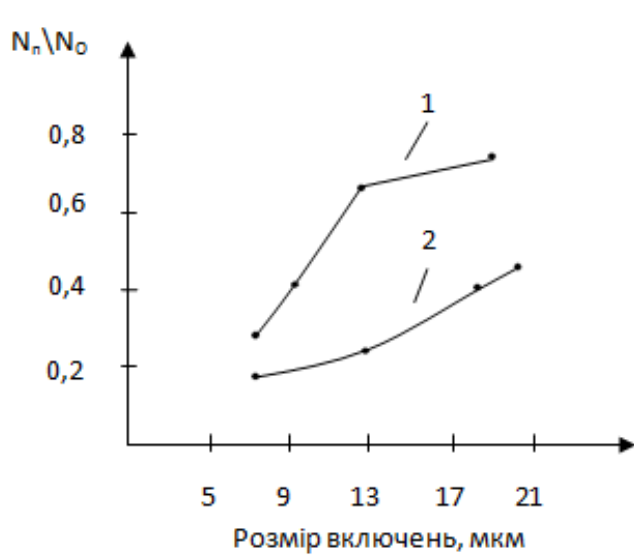


а – вплив температури на площу пори, що припадає на одне включення; б – вплив температури на частку включень з порами; 1 - оксиди; 2 – сульфіди

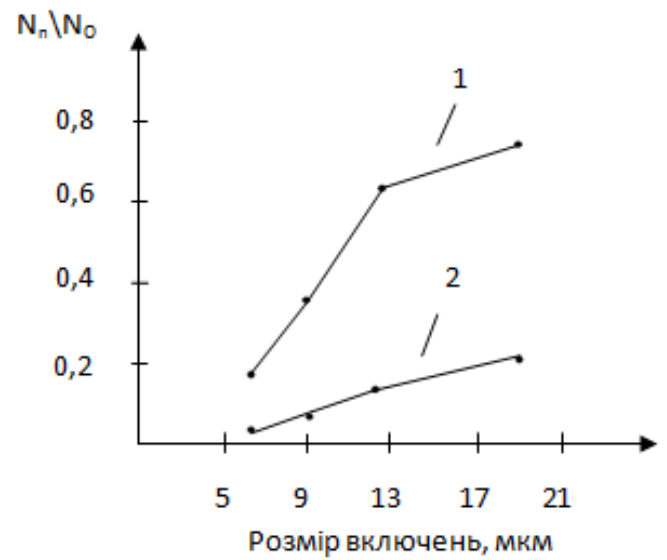
Рисунок 3.4 – Вплив температури прокатки на мікропори і включення розміром більш 12 мкм

Утворення пор біля сульфідних включень відбувається в меншій мірі. Підвищення температури прокатки призводить до монотонного зростання частки включень з порами і розвитку пор. Наприклад, прокатка при 850°C призводить до утворення пор в 17% сульфідних включеннях, а при 1150°C – 35%. Така поведінка пластичних сульфідних включень може бути пов'язано, по-перше, з втратою пластичності сульфідів в інтервалі температур 950-1150°C, по-друге, оплавленням прикордонних ділянок метала, що збагаченні сірою і вуглецем. Останнє підтверджується політермічним розміром діаграми Fe-C-Cr при 2% Cr, яка свідчить про те, що зі збільшення концентрації вуглецю, наприклад, до 1,5%, яке можливе в результаті ліквідації (в прикордонній зоні), спостерігається зниження температури оплавлення до 1150°C, чому сприяє також і ліквідація сірки.

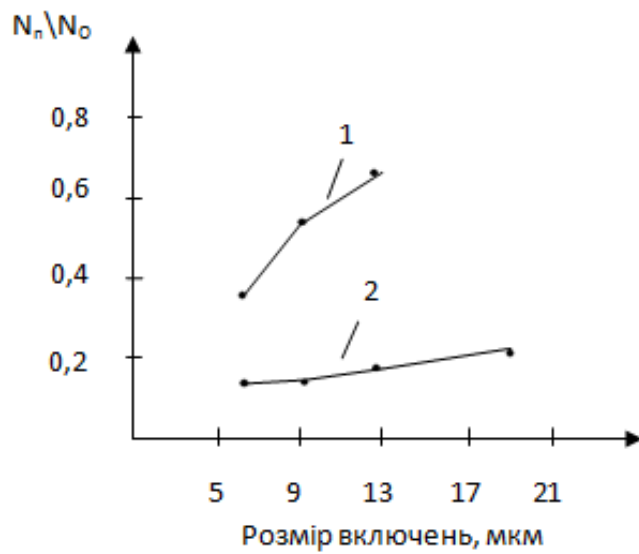
Вплив середнього умовного діаметру оксидних і сульфідних включень на частку включень з порами (N_n/N_o) і площа пор (параметр S_n/N_n) показано на рисунку 3.5 і 3.6. Ці дані свідчать про значний вплив розмірів включень на утворення і розмір мікропор. Під час порівняння однакового розміру найбільші значення характерні для кисневих включень; найменші для сульфідних. Підвищення температури прокатки від 850 до 1150°C сприятливо впливає на кисневі включення і негативно на сульфідні. Наприклад, підвищення температури прокатки від 850 до 1150°C призводить до зниження частки кисневих включень розміром 17 мкм від 1,0 до 0,65, частка сульфідних включень цього ж розміру з порами зростає від 0,20 до 0,45. Площа пор біля кисневих включень залишається на рівні 0,55-0,60 мм², а біля сульфідів зростає від 0,40 до 0,65 мм². Якщо вибрати будь який рівень розвитку мікропор біля включень, наприклад 0,25, то при температурі прокатки 850°C критичний розмір кисневих включень складає 6 мкм, а для сульфідних включень 25 мкм (отримано екстраполяцією). При температурі 1150°C відповідно 6 і 13 мкм. Отриманні дані дозволяють дати практичні рекомендації щодо оптимізації температури прокатки вальницьових сталей в залежності від переважної забрудненості неметалевими включеннями.



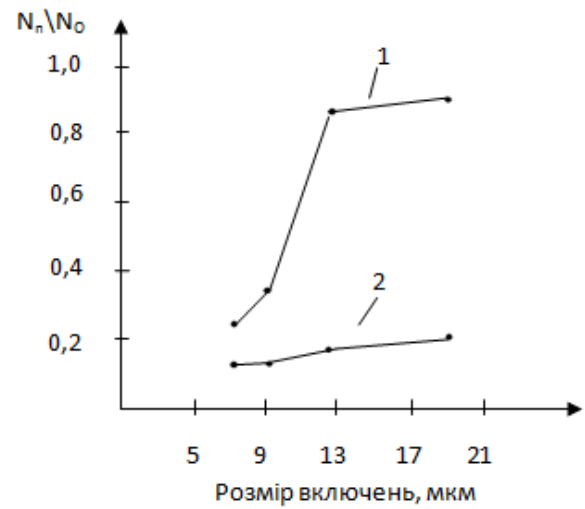
а



б



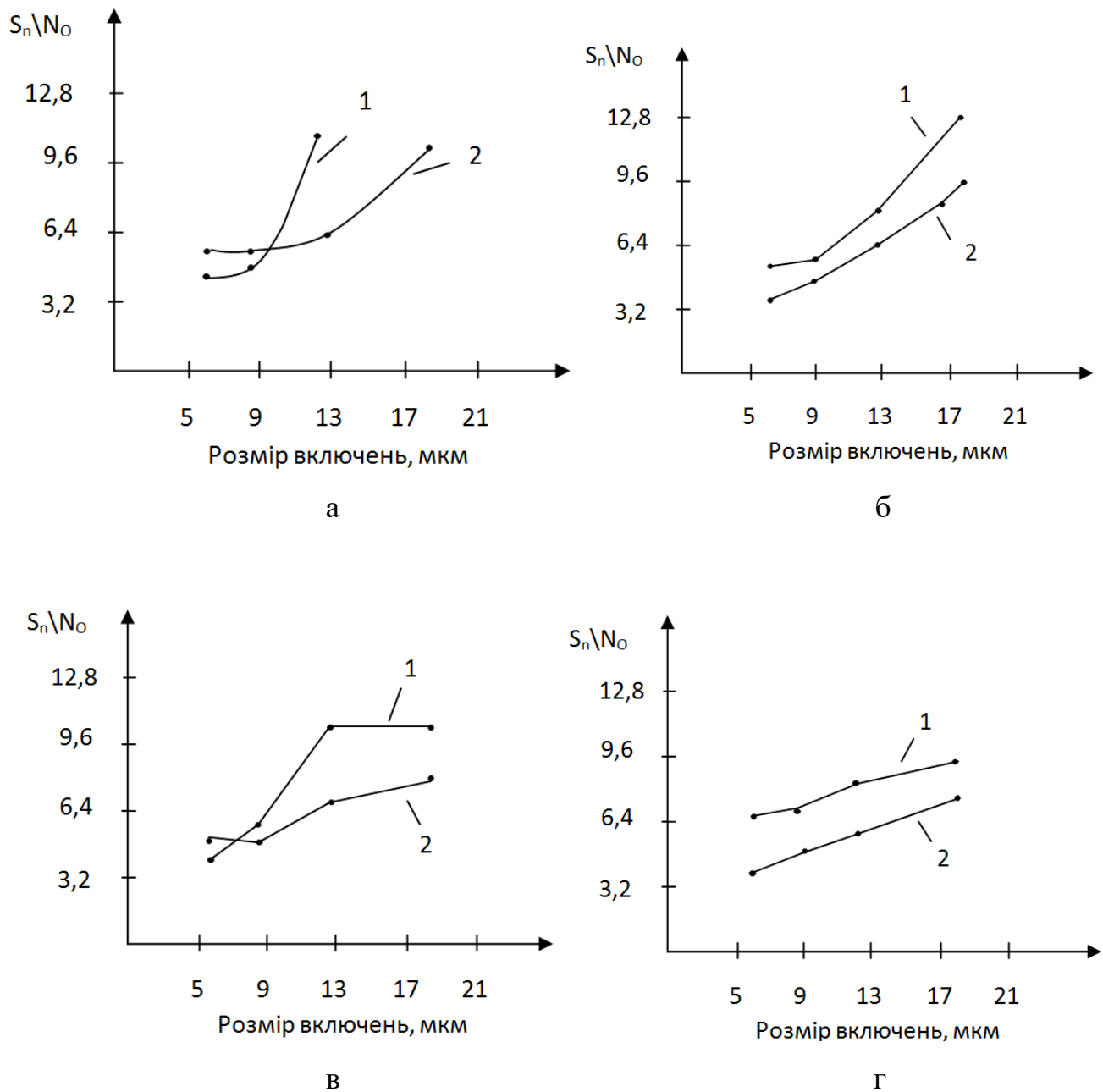
в



г

а - 1150°C, б - 950°C, в - 800°C, г - 850°C; 1-оксиди; 2-сульфіди

Рисунок 3.5 – Змінення частки включень з мікропорами в залежності від розмірів включень і температури прокатки



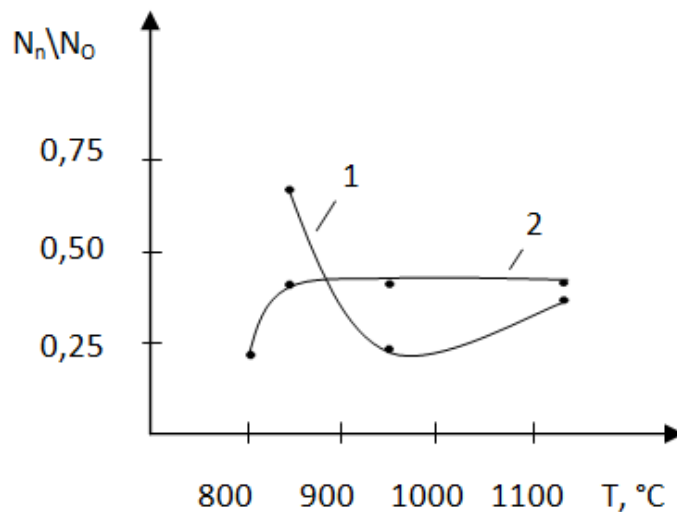
а - 1150°C, б - 950°C, в - 800°C, г - 850°C; 1-оксиди; 2-сульфіди

Рисунок 3.6 – Змінення середньої площі мікропори біля неметалевого включення в залежності від розмірів включень і температури прокатки.

Враховуючи наявність в сталі ШХ15СГ як кисневих так і сульфідних включень слід рекомендувати її прокатку 900-1100°C, де розвиток несучільностей як в кисневих так і сульфідних включень мінімальний.

3.3 Кількісний зв'язок мікропор і втомних мікротріщин

Кількісна оцінка втомних мікротріщин проводилась за раніше розробленою методикою, відповідно з якою і визначались параметр N_n/N_o (відношення кількості тріщин в металі біля включень до загальної кількості включень) після циклічного стиснення з навантаженням 2800 Н/мм^2 . Для стиснення використанні зразки, на яких досліджено розвиток мікропор в залежності від температури прокатки. Вплив температури прокатки на розвиток втомних тріщин добре спостерігається на крупних неметалевих включеннях розміром більше 12 мкм (рис 3.7).



1 - оксиди; 2 - сульфіди

Рисунок 3.7 – Вплив температури прокатки на втомні тріщини біля неметалевих включень

В металі після прокатки при низьких температурах ($800\text{-}850^\circ\text{C}$), частка тріщин у кисневих включеннях максимальна і досягає $0,65$. Підвищення температури прокатки призводить до різкого зниженню частки втомних мікротріщин в матриці біля включень $N_n/N_o = 0,2$.

Встановлена лінійна залежність між часткою включень з втомними мікротріщинами і часткою включень з порами (рис. 3.8). Це слугує

підтвердженням того, що в утворенні втомних мікротріщин значну роль грають пори, що утворюються при прокатці.

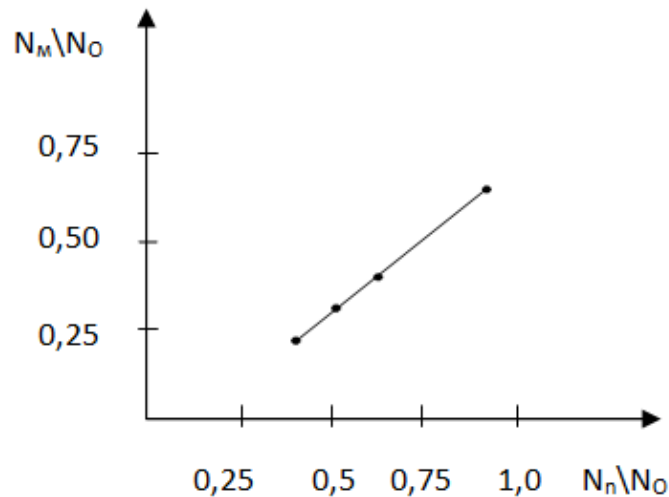


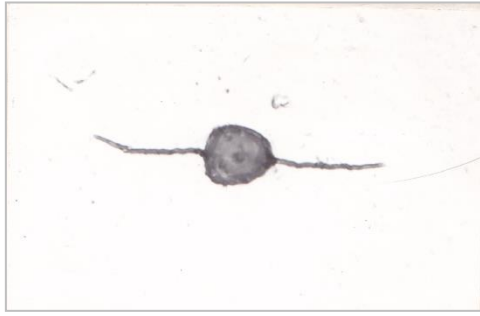
Рисунок 3.8 – Зв'язок кількості втомних тріщин з кількістю мікропор біля неметалевих включень

Металографічне дослідження дозволило встановити особливості морфології розвитку мікронесуцільностей і втомних мікротріщин біля неметалевих включень.

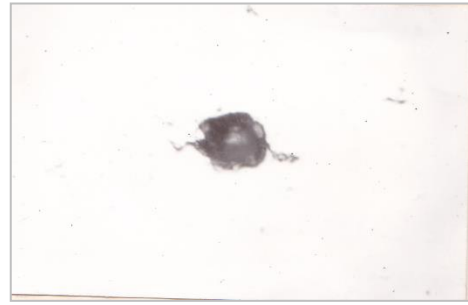
Утворення втомних мікротріщин біля кисневих включень при всіх вивчених температурах прокатки походять від пор (рис. 3.9 а, б, д, е). В оксидних рядках мікротріщини розвиваються від пор між включеннями (рис 3.10 д, е). Ступінь розвитку мікротріщин з підвищенням температури до 1150°C знижується (рис. 3.9 а, б, д; рис 2.10 а, б).

Біля сульфідних і оксидосульфідних включень утворення мікротріщин відрізняється від кисневих. Насамперед відбувається відшарування на границі поділу матриця-включення, а також розтріскування самого включення (рис. 3.9 в, рис. 3.10 д).

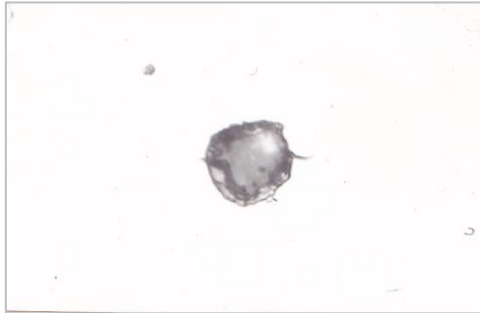
Мікротріщини в матриці дуже часто уявляють собою продовження мікронесуцільностей (особливо у вигляді мікротріщин) в неметалевих включеннях (рис. 3.9 г, к; рис. 3.10 в, д).



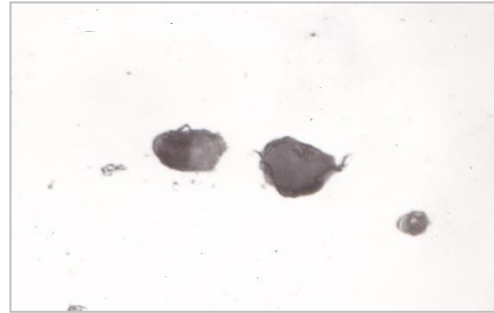
а



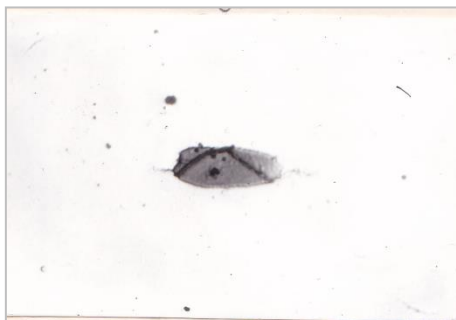
д



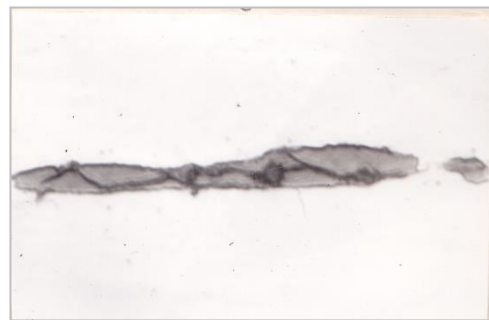
б



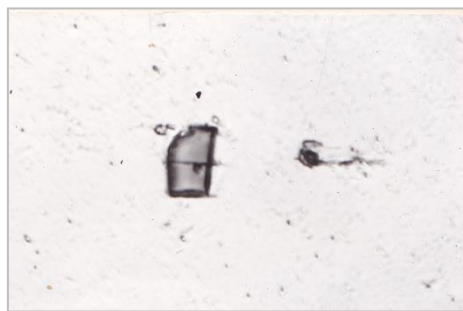
е



в



ж



г

а, б, в, г, - температура прокатки 850°C ; д, е, ж – температура прокатки 950°C ; а, д – оксиди; б – глобуль; в, ж – оксисульфід; е – оксидний ряд; г – нітриди

Рисунок 3.9 – Мікротріщини і несучільності біля неметалевих включень при температурах прокатки 850 і 950°C $\times 1000$



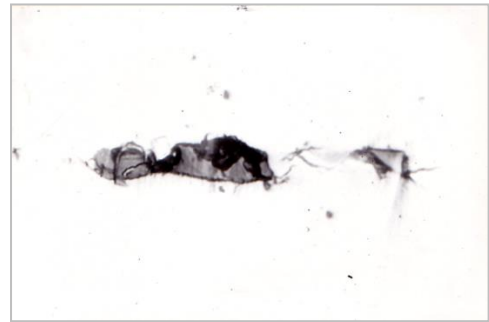
а



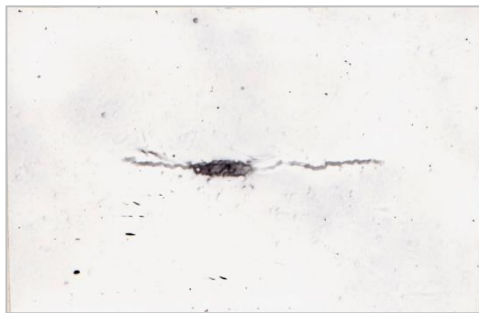
г



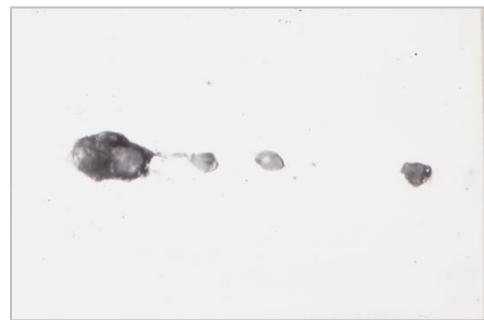
б



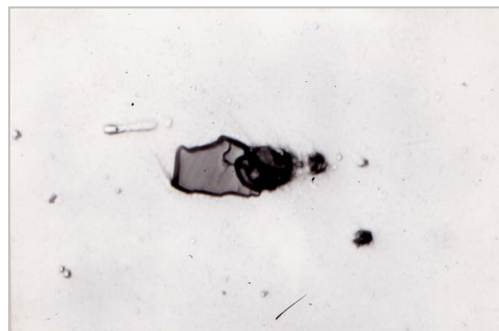
д



в



е



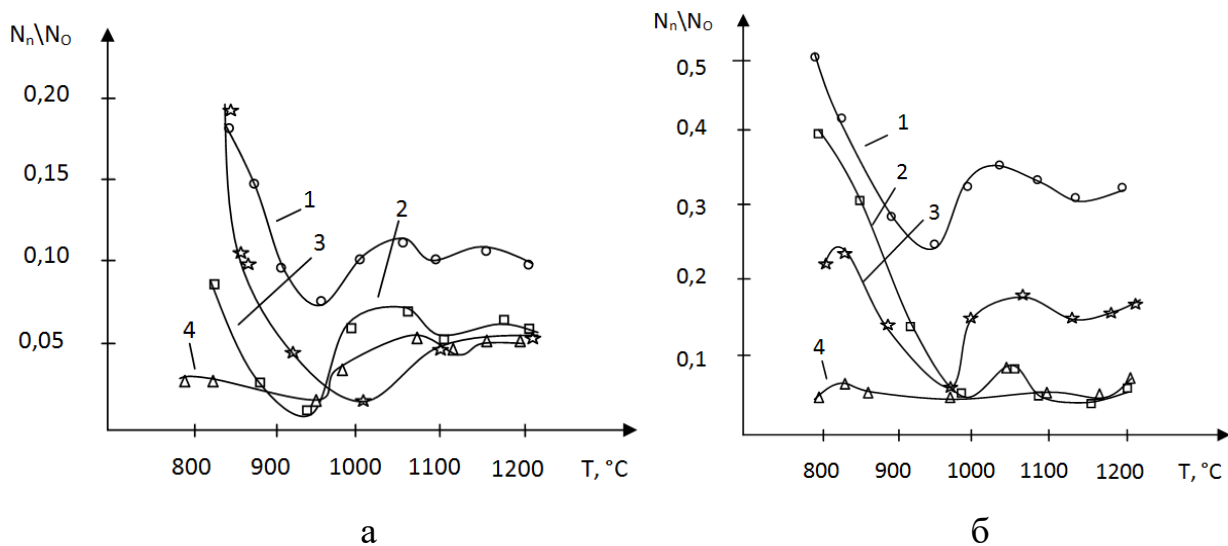
ж

а – оксиди; б – глобуль; в – сульфід; г – оксисульфід, д – сульфід і нітрид, е – оксидний ряд; и – нітриди

Рисунок 3.10 – Мікротріщини і несучільності біля неметалевих включень при температурі прокатки 1150°C x1000

Дані про велику кількість несучільностей і відповідно мікротріщин, що отриманні під час кількісного дослідження у випадку прокатки при низьких температурах 850°C для кисневих включень і максимальних (1150°C) для оксидних і сульфідних узгоджуються з величиною мікротріщин в цих випадках; для кисневих включень – рис. 3.9 (а) в порівнянні з рис. 3.10 (а, б); для оксидосульфідів і сульфідів рис. 3.9 в і 3.10 в.

Дані щодо співвідношення показників N_o/N_n які були визначенні у ході експерименту представлені на рисунку 3.11.



а – включення всіх розмірів; б – включення розміром більше 10 мкм; 1 – оксид; 2 – нітрид; 3 – оксидосульфід; 4 – сульфід.

Рисунок 3.11 – Вплив температури прокатки на утворення мікропор біля неметалевих включень

З рисунку видно, що існує інтервал температур ($900-1000^{\circ}\text{C}$) в якому спостерігається мінімальний розвиток мікропор для всіх типів включень. Підвищення параметру N_o/N_n в більшості випадків спостерігається під час зміни температури прокатки при підвищенні її, а особливо при зниженні температури. Великий вплив на схильність до утворення мікронесучільностей має природа того чи іншого включення. Це особливо можна побачити біля великих включень, що мають розмір більше 10 мкм (рис.3.11 б)

З кривих видно що для всіх температур деформації найбільша частка включень з порами характерна для кисневих (оксидних і глобулярних) (крива 1) найменша для сульфідних (4 крива).

При високих температурах прокатки (1150-1200°C) після кисневих включень найбільше значення параметру N_o/N_n характерно для сульфідних і нітридних включень. Найменші значення параметру N_o/N_n для всіх видів включень, окрім кисневих спостерігається при температурі деформації 950°C.

Вимірювання щільності металу також підтверджує наведенні вище закономірності. З рисунку 3.12 видно що з підвищенням температури прокатки в інтервалі температур 800-950°C спостерігається збільшення щільності і відповідно зниження частки включень усіх типів з порами. З наступним підвищенням температур прокатки в інтервалі температур 1000-1100°C показники щільності зменшуються, а частка включень з порами навпаки підвищується. За допомогою метода математичної статистики було оброблено дані які отримані експериментальним шляхом і виявлено кореляційний зв'язок параметра N_o/N_n з щільністю досліджуваного матеріалу. Цей зв'язок описується наступним лінійним рівнянням $y = -2727x + 218,8$ (рис. 3.13). При цьому значення коефіцієнту кореляції достатньо високе і дорівнює 0,84.

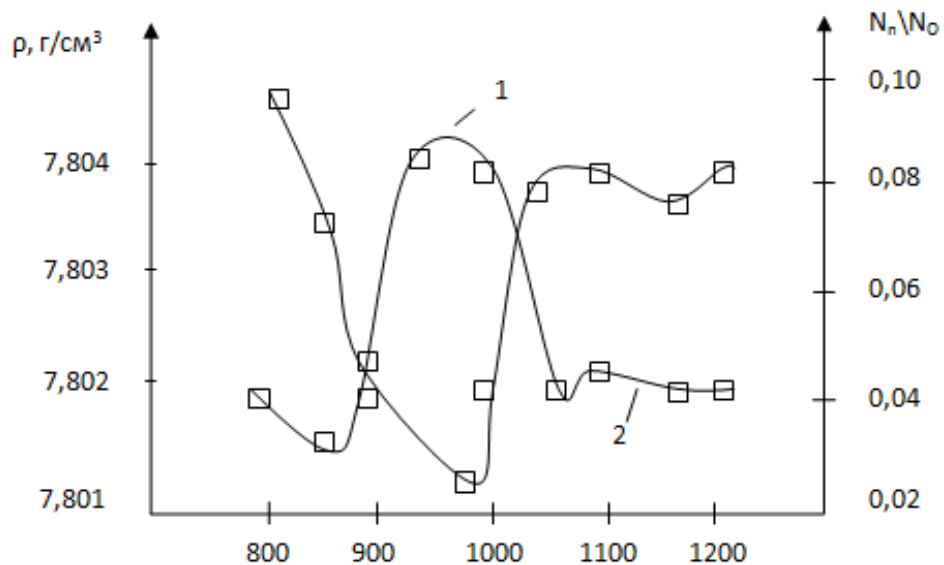


Рисунок 3.12 – Вплив температури прокатки на щільність сталі (1) і утворення мікропор (2) біля неметалевих включень.

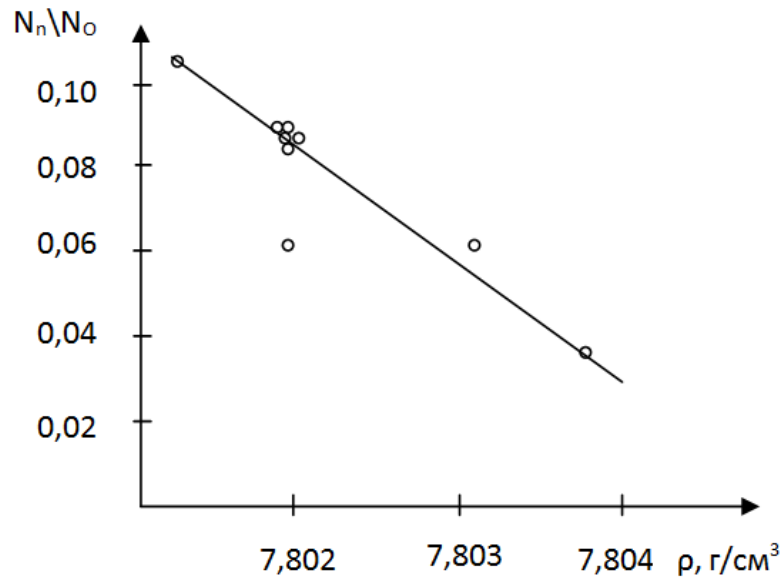


Рисунок 3.13 – Кореляційна залежність щільності металу і кількості неметалевих включень з порами.

Для того щоб пояснити характер утворення мікронесуцільностей біля неметалевих включень можуть бути припущенні наступні уявлення.

З діаграми рекристалізації аустеніту сталі ШХ15Г видно, що при низьких температурах прокатки (800-850°C) матриця не встигає рекристалізуватися, наклепується і зміцнюється. Утворення мікронесуцільностей відбувається внаслідок зародження мікроруйнувань в результаті локальних піків напруги біля неметалевих включень. З підвищенням температури прокатки в період між деформаційних пауз встигають початися процеси знеміцнення матриці – відпочинок, рекристалізація. З підвищенням температури ступінь розвитку цих процесів теж зростає, тим часом як наклепуваність навпаки знижується разом з небезпекою виникненню мікроруйнувань.

В інтервалі температур 900-1000°C в аустенітній області пластичність сталі і значення критичного ступеню деформації підвищується в наслідок розвитку процесів рекристалізації, переповзання дислокацій і полегшення поперечного ковзання. В процесі деформації при певних температурах спостерігається динамічна полігонізація або рекристалізація, яка утворює дрібнозернисту, тонко

дисперсню, найбільш сприятливу з точки зору опору передчасному руйнуванню мікроструктуру.

В даному випадку на рисунку 3.11 такій структурі відповідає мінімум значення параметра N_M/N_0 . З подальшим ростом температури прокатки 1000-1100°C відбувається зростання аустенітного зерна що в свою чергу знижує опір руйнування матриці, а також може відбуватися оплавлення евтектики на межах матриці-сульфід, оксид і карбід. Тому саме для оксидосульфідів характерно зі зростанням температури до 1100-1200° С в значній мірі підвищення параметру N_M/N_0 .

3.4 Висновок

Отже найбільший розвиток мікропор спостерігається біля оксидних включень, найменший - біля нітридних, далі оксисульфідних і сульфідних. З'ясовано кількісна залежність включень з порами від температур деформації. Вона знижується з підвищенням температури, досягає свого мінімуму при 950°C і підвищується з подальшим ростом температури прокатки для оксидних і в більшій мірі для оксидосульфідних включень. Не завжди застосування встановлених режимів прокатки 1150-1200°C є оптимальною з огляду на розвиток мікропор біля всіх типів включень, тому потрібно враховувати розмір, кількість і природу включень, що характерний для конкретно цього складу і способу виплавки сталі.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН РУЙНУВАННЯ ВАЛЬНИЦІ ЗІ СТАЛІ ШХ15СГ

Під час переддипломної практики на ДП «Івченко-Прогрес» на експертизу надійшла вальниця, що заклинила зі сталі ШХ15СГ для дослідження причин її руйнування. Було досліджено цей випадок для більш детального розуміння впливу структури, неметалевих включень та умов експлуатації вальниці на її працездатність та довговічність.

В процесі експлуатації під впливом динамічного навантаження, що досягає на мікродільниках до 2000 МПа, відбулося заклинення ролика з наступним його прилипанням до кільця вальниці.

Дослідження полягало в візуальному огляді і перевірці якості матеріалу вальниці.

4.1 Візуальний огляд

Зовнішній вигляд вальниці зі сталі ШХ15СГ зображено на рисунку 4.1. Вальниця складається з зовнішнього і внутрішнього кільця, сепаратору і роликів.



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд вальниці зі сталі ШХ15СГ

Оцінка зовнішнього стану складових вальниці відбувалась за допомогою біноклярного мікроскопу при збільшенні $\times 4 \dots 25$. Далі розглянемо для більш детального аналізу кожен складову вальниці окремо.

Під час огляду зовнішнього кільця за допомогою біноклярного мікроскопу було виявлено, що на біговій доріжці зовнішнього кільця, центруючих поверхонь для сепаратору, а також на внутрішніх торцях бортиків спостерігається нашарування матеріалу деталей, що пов'язанні між собою – роликів і сепаратора (рис. 4.2). Матеріал, що нашарувався в деяких місцях щільно зціплений з матеріалом зовнішнього кільця, відокремити його було не можливо.

На поверхні бігових доріжок і центруючих поверхонь для сепаратора спостерігається безліч кільцевих рисок, подряпин.

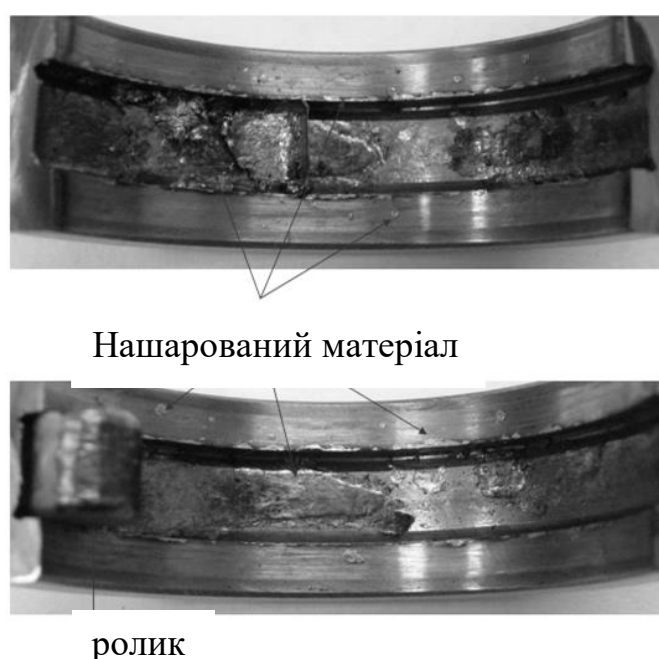


Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд внутрішньої поверхні зовнішнього кільця вальниці.

Також спостерігається заклинення і нашарування одного з роликів вальниці до бігової доріжки зовнішнього кільця. При рівномірному коченні роликів по бігових доріжках вальниці відбулося руйнування поверхневого шару менш міцного матеріалу - ролика і нашарування його частинок на більш міцний

матеріал - кільце вальниці. В результаті чого відбувається інтенсивне видалення металу з поверхонь тертя роликів. Частинки металу, що нашарувалися на кільце і бігову доріжку, пластично деформовані і значно зміцненні в порівнянні з вихідним матеріалом.

На бігових доріжках внутрішнього кільця спостерігається по колу нерівномірне зношення матеріалу в результаті контакту з роликами з утворенням канавки і витиснення металу на його краї. Ширина канавки складає 6 мм, що відповідає висоті роликів, протяжність її $2/3$ від діаметру кільця. На дні канавки спостерігається нашарування матеріалу сепаратора (рис. 4.3).

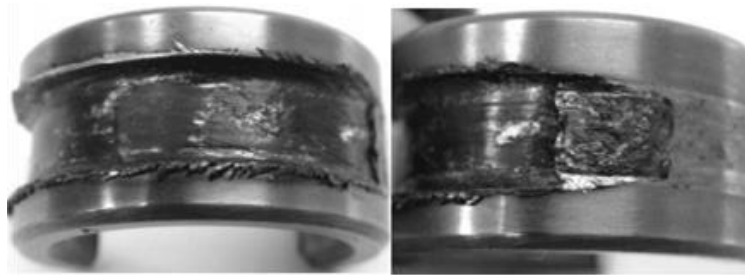


Рисунок 4.3 – Бігова доріжка внутрішнього кільця вальниці.

На посадковому діаметрі кільця спостерігаються осьові риси в наслідок монтажу або демонтажу і невеликі зони захоплення 1-го роду (рис. 4.4). Процес захоплення першого роду викликає найбільш інтенсивне руйнування поверхонь тертя, призводить до підвищення шорсткості поверхонь з глибоким відриванням і нашаруванням частинок металу, до зміцнення поверхневих шарів металу, що труться, в результаті значних пластичних деформацій, що виникли і до зниження об'ємної втомної міцності деталей.

В гніздах сепаратора на поверхні поперечних перемичок спостерігається нашарування матеріалу роликів, що утворилося після підвищеного контакту (рис. 4.5 а). На внутрішній поверхні повздовжніх перемичок спостерігаються сліди від контакту з торцями роликів (рис. 4.5 б). В одному з гнізд відбулося заклинення ролика (рис.4.5 б).

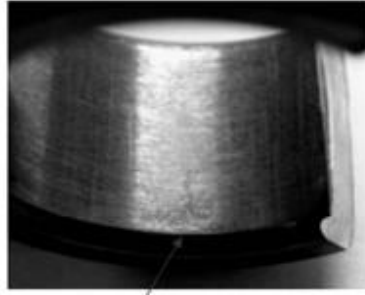


Рисунок 4.4 – Сліди захоплення 1-го роду на посадковому діаметрі внутрішнього кільця.



а



б



в

а - нашарування матеріалу роликів на поперечних перемичках; б - заклинення роликів; в - кільцеві риси і вм'ятини на повздовжніх перемичках

Рисунок 4.5 – Зовнішній вигляд сепаратора

На зовнішній поверхні повздовжніх перемичок сепаратора спостерігаються кільцеві риси, що утворилися під час контакту з центруючими поверхнями зовнішнього кільця, а також вм'ятин від потрапляння твердих частинок (рис. 4.5 в). Торцеві поверхні збереглися в задовільному стані.

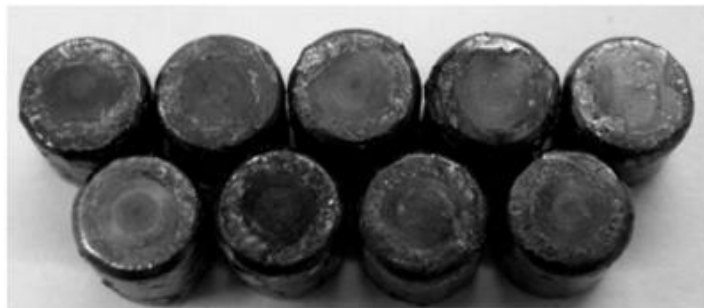
При візуальному огляді було виявлено, що в результаті експлуатації геометрія всіх роликів порушена. Поверхня їх окислена від солом'яного до синього відтінку (рис. 4.6). На циліндричній поверхні роликів спостерігаються нашарування матеріалу сепаратора (рис. 4.7 а) з його витісненням на торцеві поверхні тіл кочення (рис. 4.7 б).



Рисунок 4.6 – Зовнішній вид роликів вальниці.



а



б

а - на циліндричній поверхні роликів; б - на торцевих роликах

Рисунок 4.7 – Нашарування матеріалу сепаратору

Причиною окислення роликів можливо стало вплив води, вологи або агресивних середовищ протягом довготривалого часу і недостатня кількість змащення складових вальниці.

В результаті спектрального аналізу сталевих складових вальниці встановлено, що за хімічним складом сталь повністю відповідає марці ШХ15СГ, а сепаратор - бронзовому сплаву БрАЖМц 10-3-1,5.

Аналіз мікроструктури матеріалу складових вальниці здійснюється на оптичному мікроскопі зі збільшенням $\times 50 \dots 500$. Мікроструктура сталі ШХ15СГ у вихідному стані уявляє собою низько відпущений мартенсит і карбіди.

Під час дослідження зразків після травлення встановлено, що мікроструктура матеріалу зовнішнього кільця біля поверхні бігової доріжки уявляють собою мартенсит з великою кількістю залишкового аустеніту, що характерно під час розігрівання матеріалу вище температури гартування ($860-880^{\circ}\text{C}$). Зона зі структурою після вторинного гартування нерівномірна, глибина її складає від 0,06 до 0,13 мм (рис. 4.8).

Далі від поверхні спостерігається перехідна зона зі структурою відпуску, глибина якої складає 0,47 мм, після неї – структура, що характерна для оптимальної термічної обробки сталі ШХ15СГ і уявляє собою мартенсит і рівномірно розподіленні карбіди (рис. 4.8). На внутрішній поверхні центруючих пасків спостерігається нашарування матеріалу з'єднаних деталей товщиною 0,04 мм (рис. 4.9).

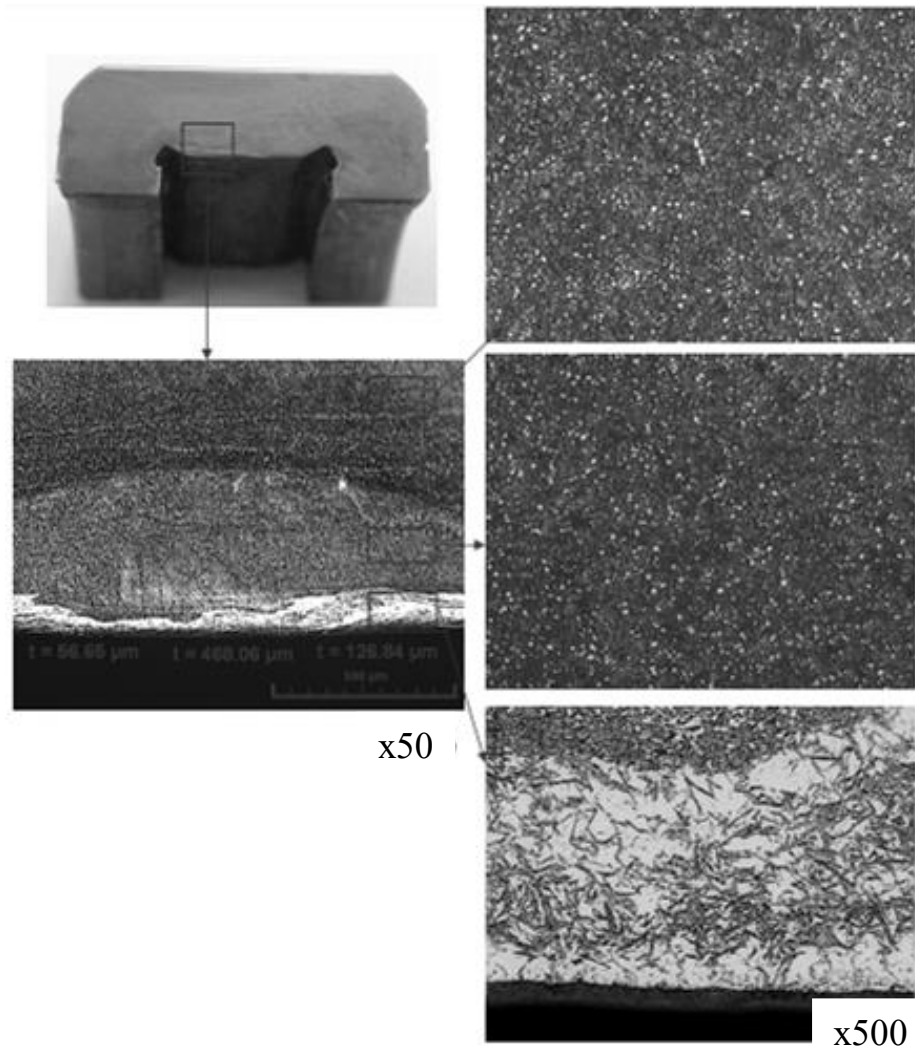


Рисунок 4.8 – Мікроструктура матеріалу зовнішнього кільця біля поверхні бігової доріжки

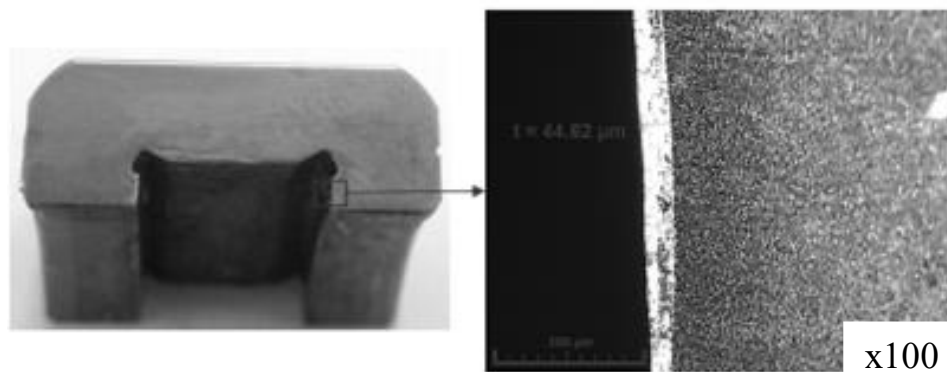


Рисунок 4.9 – Нашарування матеріалів роликів на внутрішній поверхні центруючих пасків зовнішнього кільця вальниці

Мікроструктуру матеріалу внутрішнього кільця було досліджено в двох зонах: найбільш і найменш пошкоджених.

В найменш пошкодженій зоні мікроструктура матеріалу внутрішнього кільця задовільна (рис. 4.10).

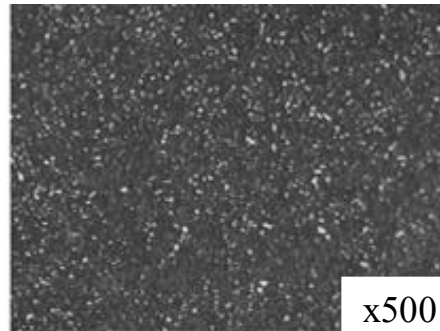


Рисунок 4.10 – Мікроструктура матеріалу внутрішнього кільця в найменш пошкодженій зоні

В найбільш пошкодженій зоні бігової доріжки внутрішнього кільця, в якому спостерігається зношення матеріалу з утворенням канавки, біля її поверхні спостерігається структура, що характерна після вторинного гартування на глибину 0,18 мм. Далі на глибину 0,75 мм від поверхні спостерігаємо перехідну зону зі структурами відпуску після неї – структура, що характерна для оптимальної термічної обробки сталі ШХ15СГ (рис. 4.11). Глибина канавки, що утворилася під час зношення матеріалу, складає 1,1 мм.

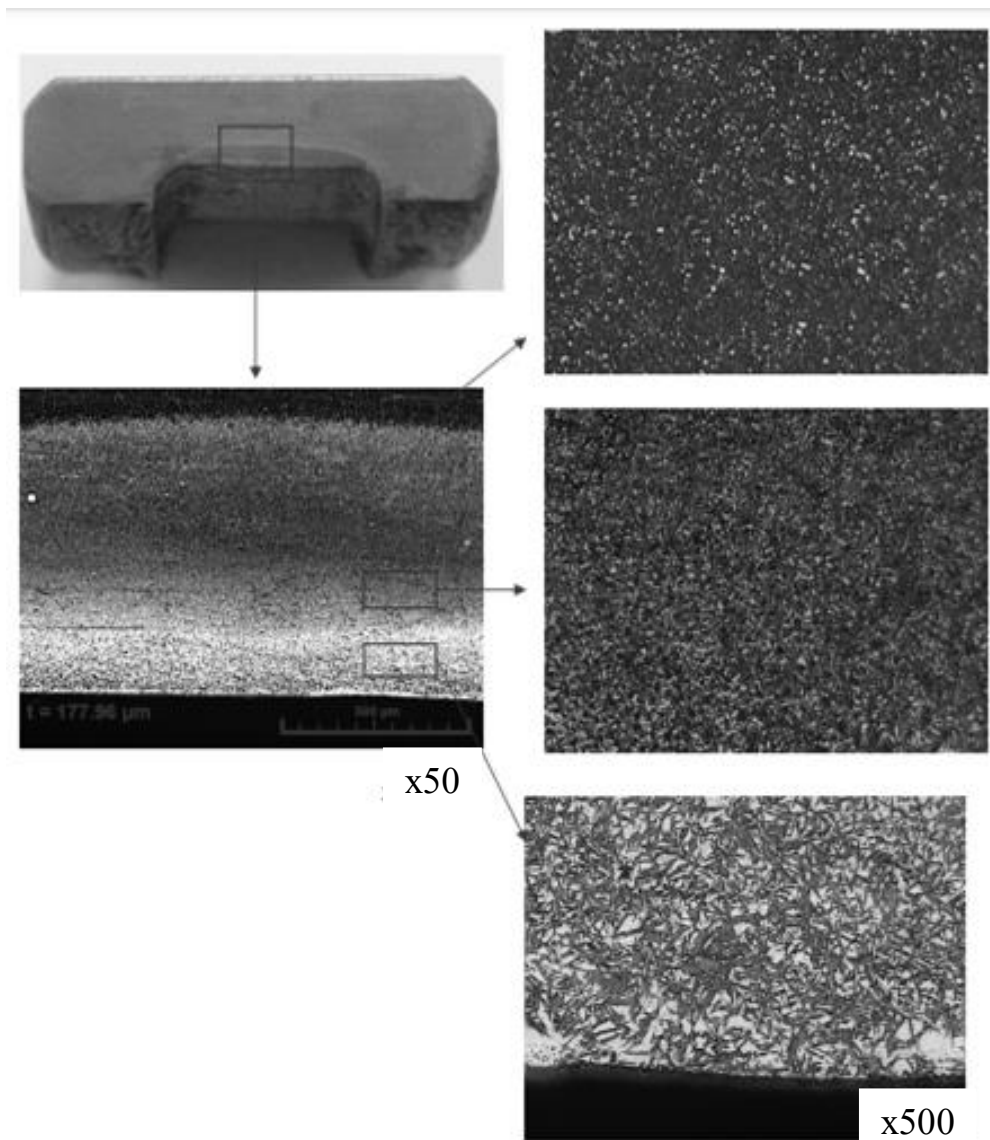
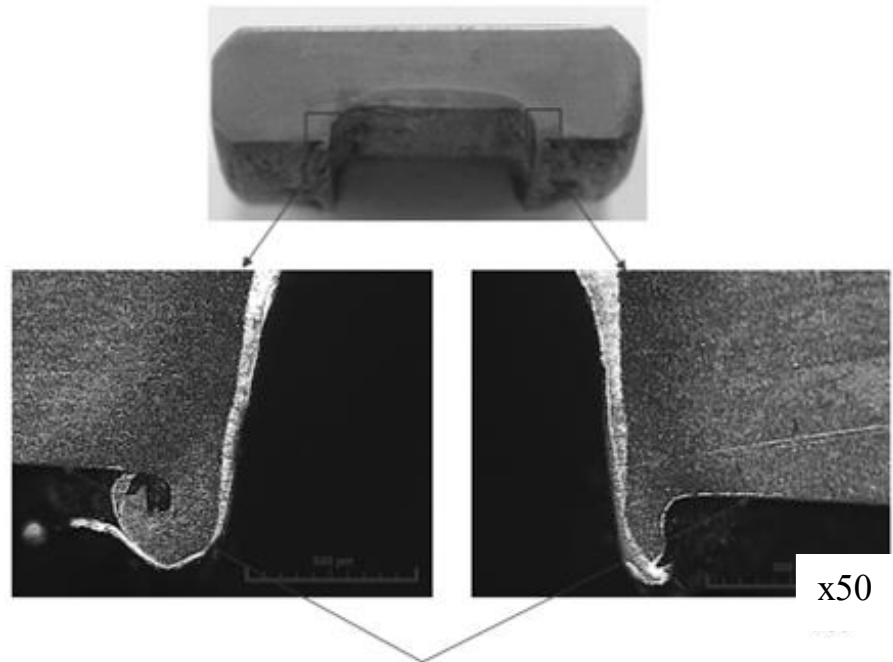


Рисунок 4.11 – Мікроструктура внутрішнього кільця вальниці в найбільш ушкоджених місцях

Біля бокових поверхонь канавки, що утворилася, також спостерігається структура вторинного гарту. Крайові зони цих поверхонь пластично деформовані з видавлюванням металу на поверхню бігової доріжки (рис. 4.12).



Поверхня бігової доріжки

Рисунок 4.12 – Крайові зони бокових поверхонь канавки, що утворилися на біговій доріжці внутрішнього кільця

На циліндричній поверхні роликів спостерігається шар нашарованого матеріалу з'єднаних деталей товщиною до 0,04 мм (рис. 4.13).

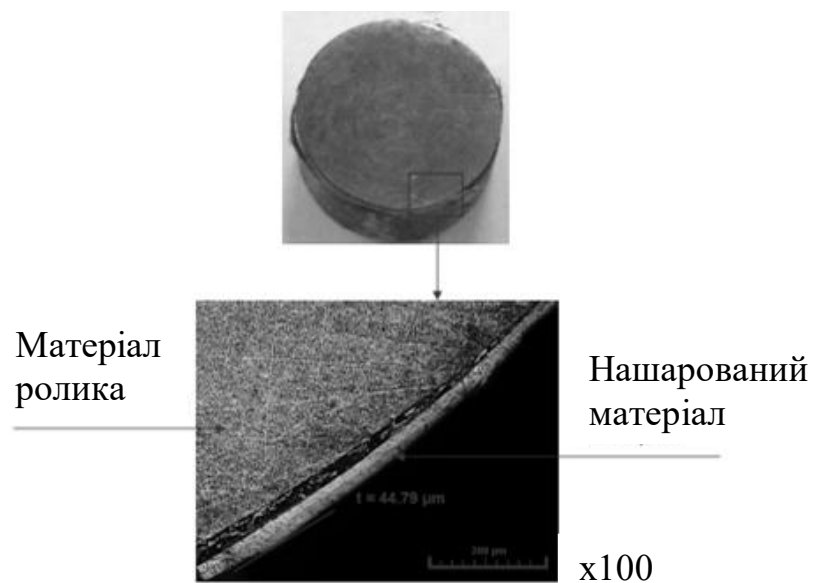


Рисунок 4.13 – Нашарований матеріалу на циліндричній поверхні роликів

Мікроструктура матеріалу роликів має характерний вигляд, як для розігріву матеріалу вище температури відпуску ($>200^{\circ}\text{C}$) (рис. 4.14).

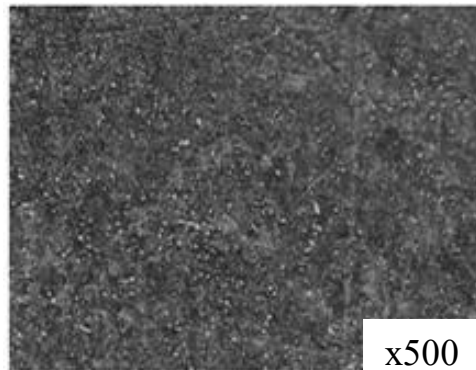


Рисунок 4.14 – Мікроструктура матеріалу одного з роликів

Як наслідок причиною виходу із ладу вальниці стала карбідна неоднорідність і наявність неметалевих включень в сталі.

Мікроструктура матеріалу сепаратора вальниці уявляє собою α - твердий розчин, β - евтектоїдом і залізною складовою, що характерна для бронзи БрАЖМц 10-3-1,5 (рис. 4.15)

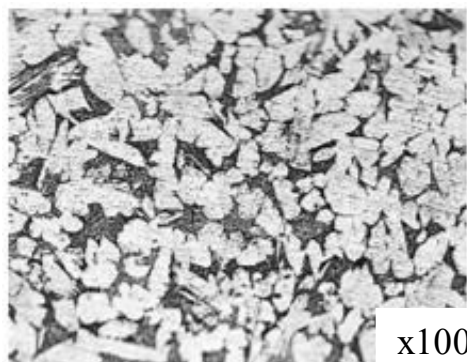


Рисунок 4.15 – Мікроструктура матеріалу сепаратора

4.2 Твердість сталі

Для оцінки властивостей матеріалу зруйнованої вальниці проведені механічні випробування, в ході яких на складових вальниці проводились вимірювання твердості. Вимоги твердості відповідно до креслення зовнішнього і внутрішнього кілець – 59...63 HRC; роликів – 62...65 HRC.

Твердість була виміряна на наступних складових вальниці на зовнішньому і внутрішньому кільці: біля поверхонь бігових доріжок, в неушкоджених зонах і в ушкоджених зонах та на роликах. Нижче наведені дані, щодо результатів вимірювання твердості складових вальниці.

- Зовнішнього кільця:
- біля поверхонь бігових доріжок – 46...58 HRC;
- в неушкоджених зонах – 57...58 HRC;
- Внутрішнє кільце в найменш ушкодженій зоні – 57 HRC;
- Внутрішнє кільце в найбільш пошкодженій зоні:
- біля поверхні канавки, що зазнала виробку, в зоні бігової доріжки - 50 HRC;
- в неушкоджених зона – 58 HRC;
- роликів – 51...52 HRC

Незначне зниження значень твердості матеріалу неушкоджених зон зовнішнього і внутрішнього кілець можна пояснити похибкою методу вимірювання і невеликими розмірами складових вальниці.

Причиною зниження показників твердості в ушкоджених зонах, а найбільше на внутрішньому кільці біля поверхні канавки, що зазнала зношення в зоні бігової доріжки (твердість зменшилась приблизно на 10 HRC) є розігрівання їх вище температур $>200^{\circ}\text{C}$, що супроводжувалось відпуском мартенситу і зниженню його мікротвердості.

4.3 Розрахунок кореляційної залежності параметра N_n/N_0 від щільності металу ρ

Експериментальним шляхом трохи раніше у розділі 3 було встановлено, що існує кореляційний зв'язок між параметром N_n/N_0 і щільністю металу ρ . Згідно цього припущення зі збільшенням щільності спостерігається зниження частки включень усіх типів з порами і відповідно навпаки зі зменшенням щільності частка включень з порами збільшується.

З метою перевірки нашої методики розрахуємо за допомогою кореляційної залежності значення густини використавши рівняння $y = -2727 \cdot x + 218,8$.

1) Підставивши значення x і y , рівняння матиме наступний вигляд:

$$N_n/N_0 = -2727 \cdot \rho + 218,8$$

Розрахуємо густину за допомогою цього рівняння. Виразимо з рівняння показник густини ρ .

2) Перенесемо $-2727 \cdot \rho$ в ліву частину, а параметр N_n/N_0 у праву частину після перетворень рівняння буде мати наступний вигляд:

$$2727 \cdot \rho = -(N_n/N_0) + 218,8$$

3) Розділимо отримане рівняння на число 2727. Після скорочення і перетворення воно виглядатиме наступним чином:

$$\rho = \frac{-\frac{N_n}{N_0} + 218,8}{2727}$$

4) Розрахований параметра N_p/N_0 дорівнює значенню 4. Підставимо значення параметра N_p/N_0 в рівняння:

$$\rho = \frac{-4 + 218,8}{2727} \cdot 100 = 7,87$$

Отже, у ході розрахунків значення щільності, що розраховане за допомогою наведеного вище рівняння дорівнює $\rho = 7,87 \text{ кг/см}^3$. Для перевірки правильності розрахунку порівнюємо розрахункове значення щільності з табличним. Знаходимо табличне значення густини для сталі ШХ15СГ, воно дорівнює $\rho_{\text{табл}} = 7,812 \text{ кг/см}^3$.

Порівнявши ці два значення табличне з розрахунковим значенням густини бачимо, що вони майже дорівнюють, що свідчить про те, що розрахунки за цією методикою зроблені вірно.

4.4 Висновок

У результаті дослідження було встановлено, що складові вальниці виготовленні з матеріалів, що передбачені кресленням.

Бігова доріжка внутрішнього кільця пошкоджена з утворенням канавки від посиленого контакту з роликами.

На внутрішній поверхні зовнішнього кільця, роликах і сепараторі спостерігаються нашарування матеріалу деталей, що контактують.

Показники мікроструктури і твердості матеріалу роликів свідчить про його розігрів вище температур відпуску ($>200^\circ\text{C}$).

В результаті розігріву відбулося оплавлення матеріалу сепаратора з наступним його нанесенням на ролики і зовнішнього кільця і заклинення ролика в сепараторі.

На поверхні бігової доріжки внутрішнього і зовнішнього кілець спостерігаються структури вторинного гарту, що свідчить про розігрівання матеріалу вище гартівних температур (860-880°C) внаслідок сильного тертя-ковзання.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Тенденції розвитку світового ринку вальницьових сталей

Експлуатаційні властивості більшості машин і механізмів в значній мірі залежать від точності, довготривалої міцності і надійності вальниць – одних з важливіших і найбільш розповсюджених елементів цих пристроїв.

Об'єм світового ринку з виробництва вальниць в 2018 році був оцінений у 39,46 мільярдів доларів та за прогнозами досягне 52,44 мільярдів доларів до 2026 року при середньому темпі росту в 3,6% на рік.

Як показують численні статистичні дані, більше 70% світового ринку вальниць ділять 8 провідних міжнародних виробничих груп, включаючи SKF зі Швеції, Schaeffler з Німеччини, Timken з США, NSK, NTN, NACHI, Minebea з Японії, які монополізували найбільш високотехнологічний і відповідно наймаржинальніший сегмент. У той же час середній і низький технологічні сегменти (відповідно і ціни) в основному зосереджені на китайських виробничих компаніях.

На думку китайських аналітиків, світовий підшипникової ринок можна розділити на п'ять основних регіонів: Азія і Океанія (40%), Європа (31%), Північна Америка (25%), Латинська Америка (3%) і Африка (1%). При цьому на Сполучені Штати, які є найбільшим в світі споживачем, припадає 23% від усього світового ринку, на країни ЄС - 21%, Японію - 19%, Китай - 10%, Росію - 6% та Індії - 4%. Незважаючи на помітну частку Китаю, зростання темпу продажів національних виробників сповільнилося.

В даний час, якщо дивитися глобально, вальниці найчастіше продаються на автомобілі. Річний обсяг продажів автомобільних вальниць досягає 1,102 мільярдів. Комплектів, що становить 29,95% від загального обсягу продажів вальниць. У майбутньому, коли Китай стане лідируючем центром світової автомобільної промисловості, ця частка ще більше зросте. На додаток до автомобільної промисловості вироби вироблені вальницьовими підприємствами

також широко використовуються в двигунах (14,92%), побутовій техніці (13,55%), мотоциклах (9,51%), будівельній техніці (4,63%), сільськогосподарській техніці (1,82%), важкій техніці, електротехніці, на залізницях, верстатах та іншому обладнанні.

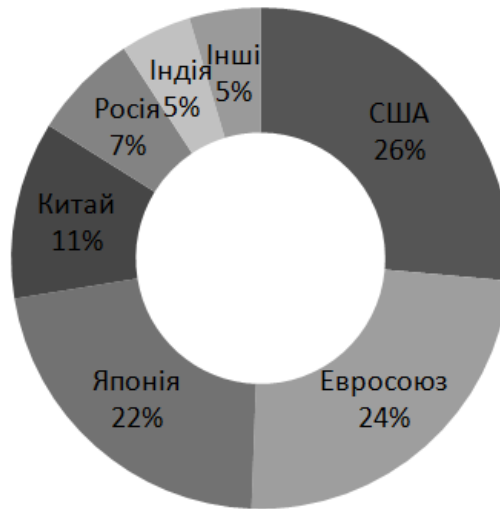


Рисунок 5.1 – Діаграма світового ринку з виробництва вальниць [46].

Хоча Україна і не може сьогодні претендувати на світове чи навіть континентальне лідерство, похвалитися українцям є чим. В Україні є власне потужне виробництво, яке вже давно зацікавило іноземних інвесторів. Є і всі найсучасніші матеріали для виготовлення вальниць.

Головною ж проблемою українських підприємств стала стагнація цілих галузей вітчизняної індустрії. Наприклад, майже повністю не працює український автопром, один з найважливіших споживачів вальниць. Один АвтоКрАЗ не здатний виручити вальницьеву галузь України. Аналогічна ситуація і в деяких інших важливих сегментах машинобудування. Великі тендери і контракти в країні сьогодні рідкість - в 2018 можна відзначити тендер «Укрзалізниці», відновлює свій вагонний парк.

Тому фабрики вальниць працюють в основному на експорт. Статистика в цілому по галузі відсутня, але провідні підприємства цього сегмента декларують про частку в 60-80% від всієї виробленої продукції, що йде саме на експорт. При

цьому, на вітчизняному ринку їм доводиться витримувати натиск низькоякісних, але вельми дешевих вальниць з Китаю.

5.2 Визначення трудомісткості та тривалості роботи

Основною принципом раціонального плану вивчення наукової проблеми, літератури, самого дослідження, підсумування результатів експерименту, є зменшення строків виконання при якомога менших витратах трудових, матеріальних та грошових ресурсів. Для цього необхідно вирішити наступні питання: визначення трудомісткості та тривалості науково-дослідницької роботи; складання календарного графіка виконання; визначення матеріальних затрат на проведення і ефективність дослідження.

Науково-дослідницька робота поділена на етапи. Для кожного етапу вказані їх назви, виконавці, трудомісткість та строк робіт. В даній роботі беруть участь науковий керівник і студент магістр. Значення тривалості та трудомісткості всіх робіт наведені в таблиці 5.1.

В зв'язку з тим, що важко встановити трудомісткість виконання робіт, в процесі виконання більшості науково-дослідницьких робіт, використовується ймовірнісний метод. При цьому використовують дві або три вірогідних оцінки часу. Ці оцінки є вихідними для розрахунку очікуваного часу виконання роботи за формулою 5.1:

$$t_{\text{оч}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} \quad (5.1)$$

де $t_{\text{оч}}$ – очікувана оптимальна оцінка часу виконання роботи, днів;

t_{min} – мінімально необхідний час на виконання роботи при найбільш сприятливих умовах, днів;

$t_{\max}$ – максимальні витрати часу на виконання роботи за несприятливих умов, днів.

Правильність визначення визначається за допомогою дисперсії (різниці між максимальним та мінімальним часом виконання певного етапу (НДР)):

$$\sigma = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{5} \quad (5.2)$$

Робота виконується науковим керівником (НК) та студентом магістром (СМ).

Таблиця 5.1 – Оцінка тривалості та трудомісткості етапів робіт

№	Етапи науково-дослідницької роботи (НДР)	Часові оцінки НДР, днів			Дисперсія	Виконавці		Тривалість, днів
		$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{оч}}$		Спеціальність	Число чоловік	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Складання та затвердження технічного завдання	1	4	2	0,6	НК	1	2
2	Літературний огляд теми	16	26	20	2	СМ	1	16
3	Матеріал та методика дослідження	7	10	8	0,6	НК СМ	1 1	5

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Експериментальна частина	10	14	12	0,8	НК СМ	1 1	8
5	Дослідження причин руйнування вальниці	8	14	11	1,2	СМ	1	10
6	Економічна частина	4	10	7	1,2	НК СМ	1 1	3
7	Техніко-економічне обґрунтування	2	6	4	0,8	СМ	1	2
8	Розробка заходів з охорони праці	10	14	12	0,8	НК СМ	1 1	4
9	Оформлення звіту	4	16	9	2,4	СМ	1	5
	Разом	62	114	85	-	-	-	55

Науково – дослідницька робота повинна виконуватися поетапно. Кожний етап має бути завершеним до початку іншого. Побудуємо календарний план виконання робіт. Графік виконання робіт зображено на рисунку 5.2.

№	Виконавець	Жовтень				Листопад				
		1–2	2–18	18–23	23–31	31–41	41–44	44–46	46–50	50–55
1	НК									
2	СМ									
3	НК та СМ									
4	НК та СМ									
5	СМ									
6	НК та СМ									
7	СМ									
8	НК та СМ									
9	СМ									

Рисунок 5.2 – Графік виконання робіт

У ході розрахунків встановлено, що строк виконання науково-дослідницької роботи вимірюється у терміні приблизно 55 днів.

5.3 Підрахування кількості витрат на практичну реалізацію проекту

При розрахунку затрат на реалізацію проекту враховуються всі матеріальні витрати, необхідні для виконання всіх робіт. Проте в даному випадку, ситуація ускладнюється тим фактом, що невідомий точний список деяких послуг, товарів та витрати на них. Проте цю проблему можна вирішити за використання методики збільшення розрахунків. Дана методика передбачає по-перше первинне обчислення основної заробітної плати, а вже після цього – відсоткових частин інших статей витрат на реалізацію проекту. Статті, витрати за якими можуть бути розраховані більш точно, розраховуються за звичайною методикою.

Для того, щоб з'ясувати кількість грошових витрат, потрібно зробити кошторис витрат, до якого входить:

- обладнання для здійснення задумів роботи;
- покупні вироби і матеріали;
- обчислення заробітної плати;
- відрахування на єдиний соціальний внесок;
- накладні витрати.

5.3.1 Обладнання для виконання науково-дослідницької роботи

До переліку витрат на спеціальне обладнання входять витрати на мікроскоп та твердомір. Мікроскоп необхідний для дослідження мікроструктури зразків. Твердомір був використаний для вимірювання твердості зразків і оцінки їх механічних властивостей. Кошторис витрат на спеціальне обладнання зведений в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Обчислення вартості обладнання

Обладнання	Модель	Кількість, штук	Вартість, грн	Строк експлуатації, років	Амортизація, грн
Мікроскоп	МІМ-8	1	32000	15	2133,3
Твердомір по Роквеллу	ТС-Р	1	41400	15	2760
Транспортно- заготівельні витрати		-	1000	-	-
Усього	-	2	74400	-	79293,3

Загальна вартість обладнання з урахуванням амортизації складе:

$$74400 + 4893,3 = 79293,3 \text{ (грн)}$$

5.3.2 Розрахунок вартості матеріалів

В цьому пункті йдеться про затрати на основні та допоміжні матеріали, потрібні для реалізації дипломного проекту. Під час виконання науково-дослідницької роботи були використані матеріали, вартість яких описана в таблиці 5.3. Для виконання роботи було використано папір, ручки, олівці. Для підготовки зразків було використано азотну кислоту, фільтрувальний папір та шліфувальний папір.

Таблиця 5.3 – Вартість основних та допоміжних матеріалів

Найменування	Кількість, шт	Ціна, грн	Вартість, грн	Частка, %
Папір А4	150	0,30	45	24,59
Ручка	2	8	16	8,74
Олівець	2	4	8	4,37
Азотна кислота (HNO ₃)	1	53	53	28,96
Фільтрувальний папір	1	29	29	15,85
Шліфувальний папір	2	6	12	6,55
Транспортно-заготівельні витрати			20	10,93
Разом			183	100

Вартість основних та допоміжних матеріалів складатиме 183 грн.

5.3.3 Розрахунок заробітної плати

Заробітна плата – грошова винагорода за виконану працівником роботу, яка залежить від кваліфікації працівника, робочого дня, об’єму виконаної роботи, її важкості, ступені шкідливих умов при їх наявності тощо. Також до неї входять премії та компенсації. Розрізняють основну та додаткову заробітну плату. В таблиці 5.4 представлені витрати на основну заробітну плату.

Таблиця 5.4 – Витрати на основну заробітну плату

Посада працівника	Чисельність працівників, чол.	Щомісячний оклад, грн	Середньоденний оклад, грн	Кількість робочих днів	Загальна заробітна плата, грн
Науковий керівник	1	8975	299,2	22	6582,4
Магістр студент	1	1649	54,9	53	2909,7
Всього	2	—	—	—	9492,1

Витрати на основну заробітну плату складуть 9492,1 грн.

Додаткова заробітна плата – це 50% від основної. Витрати на додаткову заробітну плату зведені в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Основна та додаткова заробітна плата

Посада робітника	Додаткова заробітна плата, гривень	Сума основної та додаткової заробітної плати, гривень
Старший науковий співробітник	3291,2	9873,6
Молодший науковий співробітник	1454,9	4364,6
Усього	4746,05	14238,2

Сума основної та додаткової заробітної плати складе 14238,2 грн.

5.3.4 Відрахування на єдиний соціальний внесок

Відрахування на єдиний соціальний внесок (ЄСВ) визначається в розмірі 22% від суми основної та додаткової заробітних плат. Розрахуємо ЄСВ за формулою 5.3.

$$\text{ЄСВ} = (\text{ЗП}_{\text{осн}} + \text{ЗП}_{\text{дод}}) \cdot 0,22 = 14238,2 \cdot 0,22 = 3132,404 \text{ (грн)}, \quad (5.3)$$

де $\text{ЗП}_{\text{осн}}$ - основна заробітна плата, гривень;

$\text{ЗП}_{\text{дод}}$ - додаткова заробітна плата, гривень;

Отже, відрахування на ЄСВ складатимуть 3132,404 грн.

5.3.5 Накладні витрати

Накладні витрати охоплюють витрати на обслуговування виробництва, організацію та управління їм. Крім цього сюди ще входять будівельні, оздоблювальні та інші типи робіт.

Накладні витрати (НВ) по реалізації проекту визначаються у відсотках від основної заробітної плати її виконавців. Вони складають 30%. За формулою 5.4 розрахуємо НВ.

$$НВ = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,3 = 14238,2 \cdot 0,3 = 4271,46 \text{ (грн)} \quad (5.4)$$

Накладні витрати складуть 4271,46 грн.

В таблиці 5.6 зведені всі витрати на виконання даної науково-дослідницької роботи.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат для реалізації НДР

Стаття витрат	Сума, грн	Питома вага, %
Основна заробітна плата	9492,1	9,39
Додаткова заробітна плата	4746,05	4,69
Амортизація	79293,3	78,42
Матеріали	183	0,18
Накладні витрати	4271,46	4,22
Відрахування на єдиний соціальний внесок	3132,404	3,09
Усього	101118,314	100

Загальні витрати на реалізацію НДР складають 101118,314 грн.

5.4 Розрахунок економічної ефективності науково – дослідницької роботи, яка має суто теоретичний характер

Для теоретичних аналізів майже завжди складно чи навіть неможливо обчислити економічний коефіцієнт. Через це раціонально буде з'ясувати їх техніко – економічну ефективність з огляду на наступні ознаки:

- значущість дослідження;
- важкість проекту;
- плідність і перспективність застосування.

Значущість теоретичного дослідження визначають за його призначенням:

- пошук новітніх технологічних рішень;
- рішення важких питань;
- відповідати вимогам спеціальної техніки.

Важкість реалізації проекту визначається зіставленням одержаних результатів цієї роботи з результатами схожих загальновідомих досліджень зважаючи на кількість грошових та трудових витрат.

Результативність цієї роботи з'ясовується по повноті рішень поставленого завдання.

Обміркування залежності між ознаками результативності НДР і витратами на їх досягнення дозволяє зробити кількісну оцінку техніко – економічної ефективності за формулою:

$$K_{\text{ндр}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T \cdot \gamma}{B_{\text{ндр}} \cdot t_{\text{ндр}}} \quad (5.5)$$

де $K_{\text{ндр}}$ – ступінь ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР);

J – важливість роботи;

R – результативність роботи;

T – технічна складність виконання НДР;

γ – питомий ефект на 1 бал, що дорівнює 1000 грн;

$B_{\text{ндр}}$ – витрати на реалізацію НДР;

$t_{\text{ндр}}$ – час проведення НДР;

n – показник використання результатів НДР (результати НДР використовуються в дослідно-конструкторських роботах).

Дані показники визначаються з таблиць 5.7, 5.8, 5.9, 5.10

Таблиця 5.7 - Шкала для оцінки важливості розробки $K_{\text{ндр}}$

№ з/п	Показник	Бали
1	Ініціативна робота, що не є частиною комплексної програми, або завданням відомчих органів	1
2	Робота, виконувана за договором про науково-технічну Допомогу	3
3	Робота представляє частину відомчої програми	5
4	Робота представляє частину відомчої комплексної програми	7
5	Робота представляє частину міжнародної комплексної програми	8

Важливість розробки оцінена в 1 бал.

Таблиця 5.8 - Шкала оцінки можливості використання результатів розробки

п

№ з/п	Показник	Бали
1	У даному підрозділі	1
2	У даній організації	3
3	У багатьох організаціях	5
4	У масштабах країни	8

Можливість використання розробки оцінена в 3 бали.

Таблиця 5.9 – Шкала оцінки теоретичної значимості й рівня новизни дослідження J

№ з/п	Показник	Бали
1	Аналіз, узагальнення й класифікація відомої інформації. Подібні результати були відомі в досліджуваній області	2
2	Одержання нової інформації, що доповнює знання про сутність досліджуваних процесів, не відомі в досліджуваній області	3
3	Одержання нової інформації, що змінює уявлення про сутність досліджуваних процесів, не відомої раніше	5
4	Створення нових теорій, методик	6
5	Одержання інформації, що сприяє формуванню напрямків, не відомих раніше	8

Теоретична значимість та рівень новизни оцінено у 3 бали.

Таблиця 5.10 – Шкала оцінки показників складності Т

№ з/п	Показник	Бали
1	Робота виконується одним підрозділом, витрати менш 10000 грн	1
2	Робота виконується одним підрозділом, витрати 10000-50000 грн	3
3	Робота виконується одним підрозділом, витрати 50000 - 100000 грн	5
4	Робота виконується за участю багатьох підрозділів, витрати 100000 - 500000 грн	7
5	Робота виконується декількома організаціями, витрати понад 500000 грн	8

Показники складності були оцінені в 5 бали.

Час проведення НДР ($t_{\text{ндр}}$) можна розрахувати за наступною формулою:

$$t_{\text{ндр}} = \frac{t}{t_{\text{max}}} = \frac{55}{114} = 0,48, \quad (5.6)$$

де t – загальна тривалість, днів проведення роботи.

Розрахуємо за формулою 5.5 ступінь ефективності дослідження підставивши всі обрані значення:

$$K_{\text{ндр}} = \frac{3^3 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 1000}{101118,314 \cdot 0,48} = 2,77$$

В цьому розділі була обґрунтована економічні ефективність науково–дослідницької роботи. Обчислено, що строк виконання науково-дослідницької роботи вимірюється у терміні приблизно 55 днів. Багато часу було зекономлено завдяки одночасній роботі наукового керівника та студента магістра. При цьому загальні затрати на роботу дорівнюють 101118,314 грн, з них:

- основна та додаткова заробітна плата – 14238,2 грн (14,08 %);
- накладні витрати – 4271,46 грн (4,69 %);
- амортизація – 79293,3 грн (78,42 %);
- матеріали – 183 грн (0,18 %);
- відрахування на ЄСВ – 3132,404 грн (3,09 %);

Оскільки $K_{\text{ндр}} \geq 1$, то можна зробити висновок, що виконана робота є ефективною.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні впливу неметалевих включень на формування мікроструктури вальницевої сталі.

6.1. Аналіз потенційних небезпек

а) Небезпеки які пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», а саме: вимог щодо організації та забезпечення безпеки на робочих місця; вимог щодо облаштування робочих зон; вимог щодо облаштування виробничих приміщень.

б) Небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії відповідно до СНиП 2.09.04 – 87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02 – 85 «Производственные здания», нераціонального розташування дослідницького приладдя та офісного обладнання.

в) Недостатня професійна підготовка фахівця, в результаті відсутності знань за фахом, технологічної та експлуатаційної документації, що може призвести до аварійних ситуацій.

г) Можливість ураження електричним струмом, при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки.

д) Небезпеки, пов'язані з визначенням хімічного складу дослідних матеріалів методами спектрального аналізу з використанням спектрофотометрів. Основними небезпеками є: потужні електронне та оптичне випромінювання при спектральному аналізі.

е) Можливість отримання механічних травм при підготовці зразків або дослідницьких виробів до термічної обробки, що може бути пов'язано з порушеннями правил охорони праці 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.

ж) Небезпеки які пов'язані з дослідженням структури металу методом оптичної металографії з використанням оптичних мікроскопів зокрема: ушкодження органів зору при хибній комбінації світлофільтрів, об'єктивів та окулярів.

з) Невідповідність вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору.

і) Небезпеки які пов'язані з умовами праці у надзвичайних ситуаціях зокрема при пожежах або цивільному захисті.

6.2. Заходи по забезпеченню безпеки

а) Згідно вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» передбачено:

- усі працівники повинні пройти навчання та перевірку знань з питань охорони праці відповідно до «Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці (Держпраці) від 26.01.2005 №15.

- вимоги до облаштування робочих зон передбачають робочий стан устаткування і захисних пристроїв, сприяння безпечних умов для усунення

виявлених несправностей, які можуть негативно вплинути на безпеку і здоров'я працівників.

- виробниче приміщення повинні мати достатню площу і висоту, раціональне планування відповідно до СНиП 2.09.04 – 87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02 – 85 «Производственные здания».

б) Організація робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії передбачає виконання робіт по відпрацюванню процесів прокатки та гартування з використанням дослідницького обладнання. В зонах проведення термічної обробки гартування та прокатки організовують 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. Найбільш сприятливе розташування обладнання на безпечній відстані одне від одного, так щоб можна було зручно і безпечно ним користуватися, обслуговувати та ремонтувати.

Для попередження негативного впливу теплового випромінення та термоопіків передбачено використання індивідуальних засобів захисту.

в) В сучасних умовах до фахівців рівня «дослідник» висуваються високі вимоги до входження в професійне середовище. Проблеми з таким входженням можна поділити на дві групи: недостатній рівень фахової підготовки, недостатній обсяг практичних робіт з використанням технологічного обладнання.

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

г) Для виключення можливості ураження електричним струмом згідно з ПУЕ — 2015 «Правила улаштування електроустановок - споживачів» передбачається:

- Всі співробітники лабораторії повинні пройти навчання та перевірку знань з електробезпеки та отримати 2-3 групу з електробезпеки.

- Періодично, не рідше ніж два рази на рік, передбачається перевіряти справність контактів електроз'єднань, штепсельних вилок з'єднувальних

провідників. Ремонт електричного обладнання проводять особи, котрі мають кваліфікаційну групу (не менше 3 групи) з електробезпеки.

- Технічні заходи – розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000 В), не менше 3,5 м (більше 1000 В – 6 м). Всі не ізольовані струмопровідні лінії повинні бути надійно огороженні суцільними огорожами. Опір ізоляції електричних дротів повинен бути не менше 0,5 Ом.

д) Заходи безпеки при проведенні аналізі хімічного складу наступними методами:

- при використанні спектрального методу використовується фізичний метод якісного та кількісного визначення атомного і молекулярного складу речовини який засновано на дослідженні її спектрів.

Основою цього методу є: введення зразків в джерело випромінювання де відбувається збудження атомів і іонів, перетворення їх світіння в спектр та його реєстрація за допомогою спектральних приладів, розшифрування отриманих спектрів по таблицям або атласам спектральних ліній елементів.

З огляду на сутність процесів основними небезпеками є шкідливий вплив електронного, електромагнітного та рентгенівського випромінювання.

Основними заходами захисту є:

Організація робіт по забезпечено електробезпеки при експлуатації спектрометра повинна відповідати вимогам, викладеним у «Правилах технічної експлуатації електроустановок споживачів» і «Правилах техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів».

Особи, що працюють з спектрометром, повинні мати кваліфікаційну групу з експлуатації електроустановок не нижче 3. Ступінь ураження радіоактивними речовинами організму людини залежить від ряду чинників: виду випромінювання (альфа-, бета-, гамма-промені і т. ін.); кількості ізотопу (активності); його властивостей (енергії частинок в період піврозпаду та ін.); шляхів попадання в організм людини та його індивідуальної чутливості. Для захисту від зовнішнього опромінювання необхідно - збільшити відстані між джерелом випромінювання і людиною (захист відстанню); - скоротити тривалість роботи в зоні

випромінювання (захист часом); - екранувати джерела випромінювання (захист екранами).

е) Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів (ГОСТ 12.4.013-85), які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку.

Заходи безпеки при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах згідно НПАОП 28.0-1.30-12 «Правила охорони праці під час роботи з абразивним інструментом»: установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками; використання абразивних кіл з дефектами заборонено; абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування – порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування; біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину; при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами; заборонено працювати без підручника, захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилу. ГОСТ 12.3.028–82 «Процесс обработки абразивными и эльборовым инструментом».

ж) Горизонтальний металографічний мікроскоп МИМ-8 призначений для дослідження мікроструктури металів та інших не прозорих об'єктів в світловому полі при прямому і відбитому освітленні, а також в темному полі і в поляризованому світлі. Для візуального спостереження об'єктів мікроскоп забезпечений монокулярною і біноклярною насадками. Власне збільшення біноклярної насадки – 2,5 х.

Освітлення здійснюється від електролампи розжарювання потужністю 170 Вт, 17 В, живиться від освітлювальної мережі 220 В через понижуючий

трансформатор, забезпечений секційним перемикачем для регулювання яскравості напруження лампи. Клас ізоляції струмоведучої мережі не менше IP 44.

Важливо правильно комбінувати об'єкти і окуляри для мікроскопа (враховуючи, що збільшення повинно знаходитися в межах від 500 до 1000 апертур). Не менш важливе значення має і правильне застосування світлофільтрів. Як правило, при роботі з об'єктивами-ахроматами слід застосовувати світлофільтри, а з апохроматами можна працювати і без них.

6.3.Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

з) У приміщенні (лабораторії, офісу тощо) обладнаному ПК з ВДТ, повинно відповідати ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення.

Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які орієнтовані на південь і забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі.

Штучне освітлення в приміщенні обладнаному ПК з ВДТ, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів становить 300-500 лк. Як джерела штучного освітлення в приміщенні застосовано люмінесцентні лампи. Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° з вертикаллю в поздовжній та поперечній площинах становить не більше ніж 200 кд/м², захисний кут світильників - не менше ніж 40°. Показник осліпленості для джерел загального штучного освітлення у приміщенні не перевищує 20, а показник дискомфорту, відповідно 40. У приміщенні з ВДТ передбачено

обмеження прямих відблисків від джерел природного та штучного освітлення та обмеження відбитих відблисків на робочих поверхнях (екран, стіл, клавіатура). Яскравість світлових поверхонь (вікна, джерела штучного освітлення тощо), що розташовані в полі зору, не перевищує 200 кд/м^2 . Яскравість відблисків на екрані ПК не перевищує 40 кд/м^2 , а яскравість стелі при застосуванні системи відбитого освітлення не перевищує 200 кд/м^2 . Захистом від прямих відблисків є зниження яскравості видимої частини джерел світла шляхом застосування спеціальних розсіювачів, відбивачів та інших світлозахисних пристроїв, а також правильне розміщення робочих місць відносно джерел світла; від відбитих відблисків – правильне розміщення предметів, використання матових поверхонь предметів у приміщенні.

Розрахуємо загальне рівномірне штучне освітлення виробничого приміщення методом світлового потоку.

Дано: довжина виробничого приміщення $A = 24 \text{ м}$, ширина $B = 20 \text{ м}$, висота $H = 4 \text{ м}$, нормативна мінімальна освітленість $E_n = 20 \text{ лк}$, світильник ЛПО, коефіцієнт запасу $k_z = 1,4$, коефіцієнт відбиття від стелі $\rho_c = 70\%$, коефіцієнт відбиття від стін $\rho_{ст} = 50\%$, коефіцієнт відбиття від підлоги $\rho_{п} = 30\%$

1) Розрахуємо висоту (h) світильника над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{\max}}{L/h} \quad (6.1)$$

де L/h – числове значення коефіцієнта світильника, $L/h = 1,4$;

$L_{\max}$ – максимально припустима відстань між рядами світильників.

$$h = \frac{4}{1,4} = 2,85$$

2) Розрахуємо кількість рядів світильників N_p у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot (L/h)} \quad (6.2)$$

де h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м;

$$N_p = \frac{20}{(4 - 0,8) \cdot 1,4} = 5$$

3) Визначимо максимально припустиму відстань між рядами світильників $L_{\max}$ підставивши значення у формулу 6.3:

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p} \quad (6.3)$$

$$L_{\max} = \frac{20}{5} = 4$$

4) Знайдемо висоту звисання світильника h_3 від стелі

$$h_3 = H - h_p - h, \quad (6.4)$$

де h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м;

h_3 – висота звисання світильника від стелі, м.

$$h_3 = 4 - 0,8 - 2,85 = 0,34$$

5) Індекс приміщення i дорівнює:

$$i = \frac{AB}{h(A + B)} = \frac{24 \cdot 20}{2,85 \cdot (24 + 20)} = 3,83 \quad (6.5)$$

6) Визначимо сумарний світловий потік освітлюваної установки Φ_{Σ} у приміщенні Φ_{Σ}

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z z}{\eta}, \quad (6.6)$$

де Φ_{Σ} - розрахункове значення сумарного світового потоку у приміщенні, лм;

E_n – нормоване значення освітленості, лк;

S – площа освітлюваної поверхні, м²;

k_z – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{200 \cdot 480 \cdot 1,4}{0,61} = 242360,656$$

7) Визначимо умовну загальну кількість світильників у приміщенні N^* :

$$N^* = A \cdot B / L_{\max}^2 = 480 / 16 = 30 \quad (6.7)$$

8) Пророзрахуємо світловий потік умовного джерела світла $\Phi_{\text{л}}^*$:

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{\text{л}}}, \quad (6.8)$$

де $N_{\text{л}}$ - загальна кількість ламп у приміщенні розраховується на наступною формулою, шт.

$$N_{\text{л}} = N^* \cdot n = 30 \cdot 4 = 120 \text{ шт}, \quad (6.9)$$

де n – кількість ламп у світильнику.

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{242360,656}{120} = 2019,67$$

9) Вибираємо тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи ($\Phi_{\text{л}} = 2180$) і знайдемо коефіцієнт m :

$$m = \frac{\Phi_{\text{л}}^*}{\Phi_{\text{л}}} \quad (6.10)$$

$$m = 2019,62/2180=0,93$$

10) Визначимо оптимальну кількість світильників у приміщенні N :

$$N = N^* \cdot m \quad (6.11)$$

$$N = 30 \cdot 0,93 = 27,9=30$$

11) Розрахуємо загальну розрахункову освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N_{\text{л}} \cdot \eta}{S \cdot k_3 \cdot z} = \frac{2180 \cdot 120 \cdot 0,61}{480 \cdot 1,4 \cdot 1,1} = 215,87 = 216 \quad (6.12)$$

12) Розрахуємо загальну потужність освітлювальної установки:

$$P_{\Sigma} = N_{\text{л}} \cdot P_{\text{л}}, \quad (6.13)$$

де $P_{\text{л}}$ – потужності вибраної стандартної лампи.

$$P_{\Sigma} = 120 \cdot 30 = 3600 \text{ Вт}$$

6.4 Заходи з безпеки у надзвичайних ситуаціях

6.4.1 Заходи з пожежної безпеки

Для забезпечення пожежної безпеки кожне підприємство має здійснити комплекс організаційних заходів, перелічених у «Правилах пожежної безпеки в Україні». До таких належать: підготувати і затвердити загальнооб'єктову інструкцію про правила пожежної безпеки та ознайомити з нею всіх працівників; скласти плани евакуації людей у разі пожежі; затвердити систему сповіщення людей про пожежу; встановити на території та у приміщеннях відповідні знаки пожежної безпеки, таблички з вказівкою номеру телефону та порядку виклику пожежної охорони.

До технічних заходів забезпечення пожежної безпеки належить обов'язкова наявність у приміщенні засобів гасіння пожежі.

Приміщення обладнують автоматичними установками пожежосповіщення та пожежогасіння, які спрацьовують автоматично при перевищенні граничних значень температури або наявності продуктів горіння у приміщенні. Для адміністративних, побутових і громадських приміщень та споруд, залежно від їх призначення, рекомендуються димові, теплові або світлові пожежні сповіщувачі. Використовують водяні, пінні, газові, порошкові, аерозольні автоматичні пристрої пожежогасіння дренчерного або спринклерного типу.

Клас пожежі (згідно ДБН В.1.1.7-2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва») – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, пластмаси, папір) визначається як клас А.

Категорія приміщення (згідно НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою») – визначається як категорії Д.

Площа ділянки складає 1400 м². Виходячи з цього згідно НАПБ Б.03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників» обирається два порошкових вогнегасника ємністю 5 літрів кожний.

6.4.2 Оповіщення населення про виникнення надзвичайних ситуацій

Надзвичайна ситуація – порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, великою пожежею, застосуванням засобів ураження, що призвели або можуть призвести до людських і матеріальних втрат (Закон України «Про цивільну оборону»).

Оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій полягає у своєчасному доведенні такої інформації до органів управління цивільного захисту, сил цивільного захисту, суб'єктів господарювання та населення.

Евакуація проводиться на державному, регіональному і місцевому рівні. Евакуація поділяється на обов'язкову та яка проводиться у разі виникнення загрози викиду радіоактивних та хімічно небезпечних речовин, катастрофічного затоплення місцевості, масових лісових або торф'яних пожеж, збройних конфліктів. Загальна евакуації проводяться для всіх категорій населення із зон де прогнозується або відбувається НС. Часткова евакуація проводиться для тих категорій населення які самостійно не здатні вжити цих заходів.

Укриття населення в захисних спорудах виконується у разі катастрофічно обмеженого часу на виконання заходів, щодо рятування і евакуації населення. Використовуються захисні споруди такі як: сховища, протирадіаційні укриття, швидко споруджувальні захисні споруди, захисні споруди подвійного призначення, найпростіші укриття.

Отримавши повідомлення про хімічну аварію при неможливості залишити зону зараження необхідно щільно закрити двері, вікна, вентиляційні отвори і

димоходи. Наявні в них щілини заклеїти папером або скотчем. Виключити випадки знаходження на перших поверхах будинків, у підвалах і напівпідвалах.

ВИСНОВКИ

Основні вимоги, які повинна забезпечити вальнищева сталь: висока статична вантажопідйомність, високий опір контактній втомі, зносостійкість, високий опір малим пластичним деформаціям, стабільність розмірів.

Термічна обробка деталей вальниць (кульок, роликів, кілець) складається з двох операцій – гартування ($830-840^{\circ}\text{C}$) і відпуск ($150-160^{\circ}\text{C}$). Після термічної обробки структура повинна собою уявляти відпущений дуже дрібногочастий мартенсит з рівномірним розподіленням надлишкових карбідів.

Для дослідження мікроструктури було вирізано зразки зі сталі ШХ15СГ. Неметалеві включення і мікронесуцільності оцінювали на полірованій і спеціально підготовленій поверхні зразків.

У ході дослідження було встановлено найбільший розвиток мікропор спостерігається біля оксидних включень, найменший - біля нітридних, далі оксисульфідних і сульфідних. З'ясовано кількісна залежність включень з порами від температур деформації. Вона знижується з підвищенням температури, досягає свого мінімуму при 950°C і підвищується з подальшим ростом температури прокатки для оксидних і в більшій мірі для оксидосульфідних включень. Не завжди застосовування встановлених режимів прокатки $1150-1200^{\circ}\text{C}$ є оптимальною з огляду на розвиток мікропор біля всіх типів включень, тому потрібно враховувати розмір, кількість і природу включень, що характерний для конкретно цього складу і способу виплавки сталі.

Було досліджено причини руйнування вальниці зі сталі ШХ15СГ. У результаті дослідження встановлено, що складові вальниці виготовленні з матеріалів, що передбачені кресленням.

Бігова доріжка внутрішнього кільця пошкоджена з утворенням канавки від посиленого контакту з роликами. На внутрішній поверхні зовнішнього кільця, роликах і сепараторі спостерігаються нашарування матеріалу деталей, що контактують.

Показники мікроструктури і твердості матеріалу роликів свідчить про його розігрів вище температур відпуску ($>200^{\circ}\text{C}$). В результаті розігріву відбулося оплавлення матеріалу сепаратора з наступним його нанесенням на ролики і зовнішнього кільця і заклинення ролика в сепараторі.

На поверхні бігової доріжки внутрішнього і зовнішнього кілець спостерігаються структури вторинного гарту, що свідчить про розігрівання матеріалу вище гартівних температур ($860-880^{\circ}\text{C}$) внаслідок сильного тертя-ковзання.

В економічній частині було обгрунтовано економічні ефективність дипломної роботи. Розраховано, що строк виконання дипломної роботи вимірювався у терміні приблизно 55 днів. Оскільки $K_{\text{ндр}} \geq 1$, це свідчить про те, що виконана робота є ефективною.

В розділі охорони праці було проаналізовано основні небезпеки, які можуть виникнути під час дослідження причин руйнування вальниці. Було проаналізовані заходи по забезпеченню техніки безпеки; заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці; заходи з пожежної безпеки та заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бейзельман Р.Д., Цыпкин В.В., Перель Л.Я. Подшипники качения: справ: в 6 т. Москва: Машиностроение, 1967. 572 с.
2. Адамович А.И., Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А. Взаимосвязь времени усталостного разрушения с параметрами качающихся тел в условиях под нагрузкой. Красноярск: *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*, 2017. Т. 1. С. 326-328.
3. Анутьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / под ред. И.Н. Жестковой. 8-е изд., перераб. и доп. Москва: Машиностроение, 2001. Т.2. 912 с.
4. Черменский О.Н., Федотов Н.Н. Подшипники качения: справочник-каталог. Москва: Машиностроение, 2003. 576 с.
5. Башнин Ю.А., Ушаков Б.К., Секей А.Г. Технология термической обработки стали: учебное пособие. Москва: Металлургия, 1986. 312 с.
6. Орлов М.Р., Григоренко В.Б., Морозова Л.В. Исследование эксплуатационных разрушений подшипников методами оптической, растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа. *Труды ВИАМ*, 2016. №1. С. 62-79.
7. Галаев В.И. Эквивалентная жесткость системы «нелинейная упругая опора с зазором – вал роторной машины». Твер: *Вестник ТГТУ*. 2002 Т. 8. №4. С. 644-648.
8. Мардасов Д.М., Фатсев Ю.Г., Зотов С.В. Исследование причин преждевременного разрушения подшипников буксового узла. Твер: *Вестник ТГТУ*. 2015 Т. 21. №4. С. 686-695
9. Гречишников О.В., Балакин А.Ю., Росляков А.Д. Обеспечение работоспособности роликового подшипника. Самара: *Вестник*, 2013. №3(41). С. 48-56.

10. Спектор А.Г., Зельбет Б.М., Киселева С.А. Структура и свойства подшипниковых стале́й: учебное пособие. Москва: Металлургия, 1980. 264 с.
11. Методические указания по курсу «Детали машин и основы конструирования»: Подшипники качения / составили: Водейко В.Ф., Шаронов С.К. Москва: МАДИ. 2006. 34с.
12. Спицын Н.А., Якин Б.А., Перегудов В.Н., Забулонов Н.М. Расчет и выбор подшипников качения: справочник. Москва: Машиностроение. 1974. 56 с.
13. Черногоров Е.П. Подшипники качения: учебное пособие. Челябинск. 2013. 32 с.
14. Харина В.К. Методика исследований подшипников и подшипниковых узлов механизации крыла. Москва: *Научный вестник МГТУ ГА*. 2008. №127. С. 167-172.
15. Кравченко В.М., Сидоров В.А. Визуальное диагностирование механического оборудования. Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2004. 120 с.
16. Сидоров В.А., Сотников А.Л. Эксплуатация подшипников качения. Донецк: ООО «Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ»», 2014. 175 с.
17. Кукушкинин Е.В., Меновщиков В.А, Шарофеев М.Р. Механизм усталостного разрушения игольчатых подшипников. Краснодар: *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*, 2017. Т.1. С. 342-344.
18. Спектор Я.И. Влияние новых способов обработки (гомогенизации, ТМО, гидроэкструзии) на структуру и свойства подшипниковых стале́й в странах членах СЭВ. Москва: Металлургия, 1979. С. 35-45.
19. Алифанов А.В., Анисович А.Г., Гагасов А.М. Проблема качества подшипников как следствие металлургического брака. Минск: *Материаловедение*, 2008. №1(45). С. 136-140.
20. Аникеева М.В., Кузнецова В.В. К вопросу о выборе материала для изготовления внутренних колец подшипников скольжения. Гомель: *Материаловедение, Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого*, 2017. №2. С. 55-63.
21. Дзанашвили Г.Ф. Российские подшипники. Новые технологии и материалы. Москва: *Автомобильная промышленность*, 1997. №10. С. 27-28.

22. Гольнштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали: учебное пособие. Москва: Металлургия, 1985. 408 с.
23. Шпис Х.И. Поведение неметаллических включений в сталях при кристаллизации и деформации. Москва: Металлургия, 1971. 129 с.
24. Носенко В.А., Тышкевич, С.В. Орлов С.В., Саразов А.В. Влияние осевых деформаций на отклонение от плоскости торцевой поверхности кольца подшипника при шлифовании. Волжск: *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2015. №9. С. 68-74.
25. Лахтин Ю.М., Леонтьев В.П. Материаловедение. Москва: Машиностроение, 1980. 405 с.
26. Мороз А.Н., Глотка А.А., Боляк В.Р. Влияние карбидной составляющей на стужебные характеристики стали 110Х18М. Зопорожье: ЗНТУ, 2013. С. 26-28.
27. Громов В.И., Курпякова Н.А., Коробова Е.Н., Седов О.В. Новая теплостойкая сталь для авиационных подшипников. Москва: *Труды ВИАМ*, 2019. №2(74). С. 17-23.
28. Зайцев А.М., Коросташевский Р.В. Эксплуатация авиационных подшипников качения. Москва: Транспорт, 1968. 224 с.
29. Рагузин Я.Р. Термическая обработка хромистой стали. Москва: Машгиз, 1963. 384 с.
30. Гурченко П.С. Перспективы применения углеродистых сталей для подшипников и шестерен с упрочнением управляемой объемно-поверхностной закалкой с индукционного нагрева. Минск: *Материаловедение*, 2015. №1(78). С. 91-96.
31. Новиков И.И. Теория термической обработки . Москва: Металлургия, 1986. 480 с.
32. Гуляев А.П. Металознавство: навчальний посібник. Москва: Металургія, 1986. 544 с.
33. Лагунцов И.Н. *Сталь*, 1947 р. № 7. С. 636-638.

34. Чернявская Л.В., Спектор А.Г. *Труды института ВНИПП*. Москва: Специнформцентр подшипниковой промышленности, 1972. № 2 (70) С. 49-69
35. Шейн А.С. Подшипники качения. Москва: Машгиз, 1961. 337 с.
36. Коваленко А.И., Шоцкий А.Н. Подшипники качения. Гродно: ГрГУ, 2013. 40 с.
37. Натапов Б.С. Термическая обработка металлов. Киев, 1980. 287 с.
38. Никулин С.А., Турилина В.Ю. Материаловедение: специальные стали и сплавы: учебное пособие. Москва: Изд. дом МИСиС, 2013. 123 с.
39. ГОСТ 801-78 Сталь подшипниковая. Технические условия ИПК Издательство стандартов. Москва., 1978. 23 с.
40. Раузин Я.Р. Влияние исходной структуры на результаты отжига хромоуглеродистой стали. Москва: *Подшипник*, 1940. №5.
41. Тютеева Н.Д. Сфероидизирующий отжиг стали ШХ15. Екатеринбург: *Известия*, 1951. т. 68. №1. С. 50-56.
42. Раузин Я.Р. Влияние исходной структуры на механические свойства закаленной стали. Москва: *Сталь*, 1941. №4.
43. Губенко С.И. Особенности разрушения подшипниковой стали вблизи евтектик неметаллических включений. *Сталь*, 1984. №1. С. 75-76.
44. Кветной Л.М., Угаров А.А., Шляхов А.Н., Вакула Л.А., Краснопольский В.М. Улучшение качества проката из подшипниковых сталей после ускоренного охлаждения на стане 350. Москва: ОАО ОЭМК, *Сталь*, 2006. №5.
45. Вакула Л.А. Лехтман А.А., Попов А.С. Освоение оборудования для ускоренного охлаждения проката и потоке стана 350. Москва: *Сталь*, 2002. №7. С. 65-67.
46. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної магістерської дипломної роботи для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» усіх форм навчання / Укл.: І.М.Лазечний, В.Я. Грабовський, Ю.І. Кононенко, О.В. Лисиця. Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. 38 с.

47. Методичні вказівки та завдання до лабораторних робіт та контрольної роботи з дисципліни «Машинобудівні матеріали» для студентів спеціальності 8.090101 «Прикладне матеріалознавство» денної та заочної форми навчання / Укл.: О.В. Климов, Ю.І. Кононенко. Запоріжжя: ЗНТУ, 2007. 106 с.

48. Аналіз ринку вальниць за 2 квартал 2018 року URL: <https://1podshipnik.ru/obzor/3626/>.

49. НПАОП (Нормативно правовий акт з охорони праці) 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями згідно охорони праці працівників».

50. Кодекс цивільного захисту України станом на 06.12.2012 року: (Відповідає офіц. текстові), Київ: Алетра, 2012. 120 с.

51. СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания промышленных предприятия. Нормы проектирования» / укл.: Б.С. Ключевич, В.В. Холщевников, Ю.Ф. Розенкранц, Москва. 1991. 17 с.

Додаток А

Ілюстративний матеріал до доповіді

Хімічний склад та механічні
властивості сталі ШХ15СГ

Хімічний склад сталі ШХ15СГ

Марка сталі	Масова частка хімічних елементів								
	C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu	Ni+Cu
	не більше								
ШХ15СГ	0,95- 1,05	0,40- 0,65	0,90- 1,20	1,30- 1,65	0,02	0,027	0,30	0,25	0,50

Механічні властивості сталі ШХ15СГ

Режим термічної обробки	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	KCU, Дж/см ²	HB (HRC)
	МПа		%			
	Не менше					
Відпал 790-810°C, охолодження з піччю до 730°C, від 730 до 650°C зі швидкістю 10-20 град/год, далі на повітрі (ізотермічний відпал)	370- 410	590- 730	15- 25	35- 55	44	179- 217
Гартування 810-840°C, олія. Відпуск 150°C, повітря	-	1960- 2350	-	-	3-7	(61-65)

Мікропори біля неметалевих включень після різних температур прокатки



а



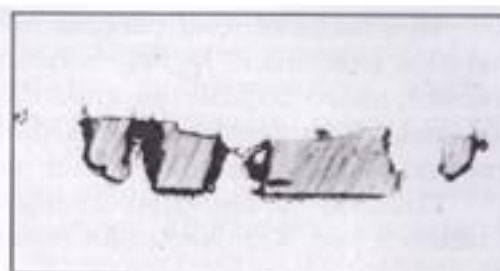
б

а – полірування; б – полірування, травлення, іонне полірування

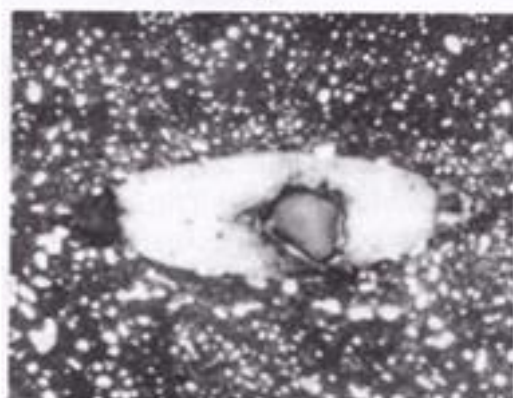
Мікропори біля неметалевих включень сталі ШХ15 $\times 310$



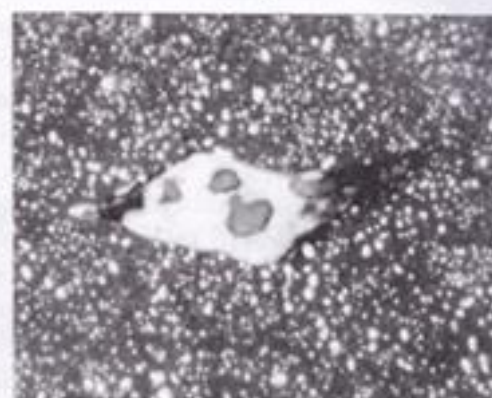
а



в



б

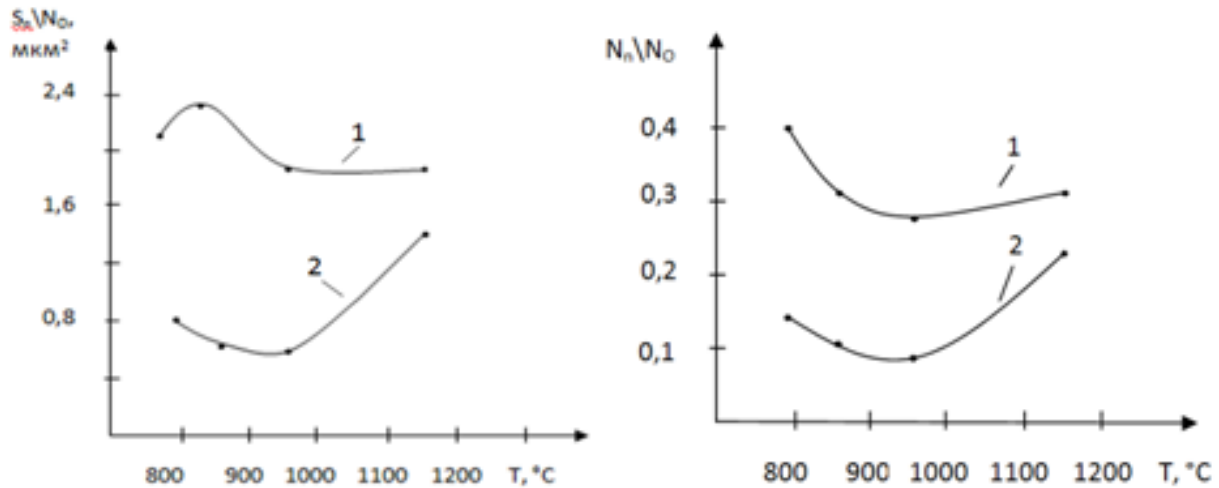


г

а – оксисульфід, температура прокатки 800°C ; б – оксисульфід, температура прокатки 1200°C , в – нітрид, температура прокатки 1200°C ; г – оксисульфід, температура прокатки 1200°C ; а- $\times 1000$; б-г- $\times 800$

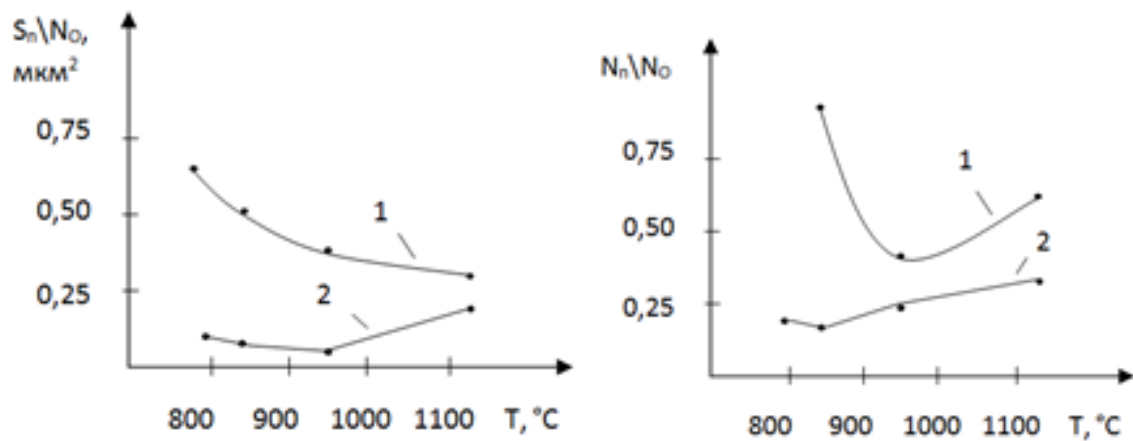
Мікропори біля неметалевих включень після різних температур прокатки

Вплив температури на мікропори біля неметалевих включень



1 - оксиди; 2 – сульфідн

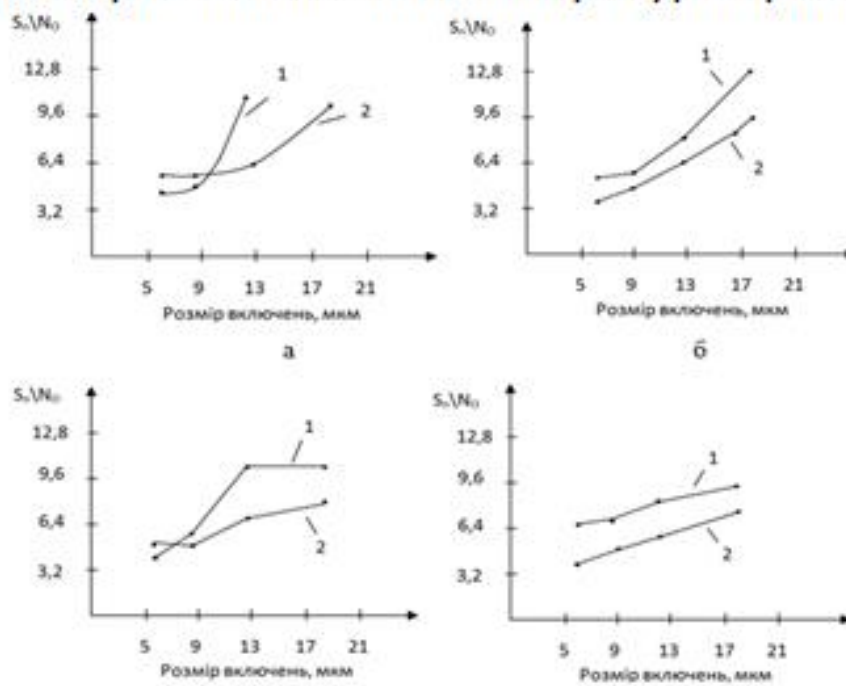
Вплив температури на мікропори біля неметалевих включень



1 - оксиди; 2 – сульфідн

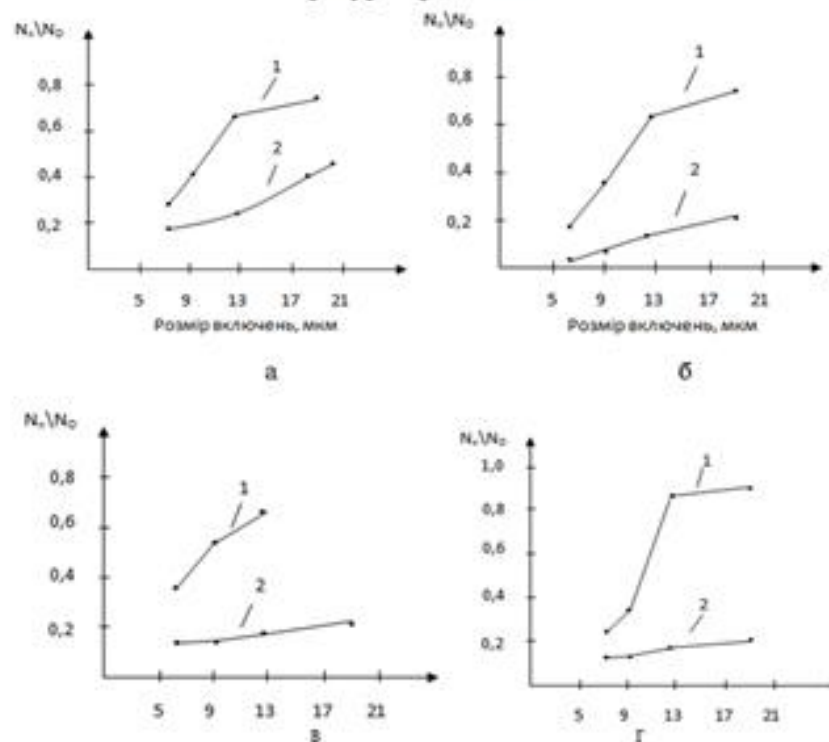
Вплив температури прокатки на мікропори і включення розміром більш 12 мкм

Змінення частки включень з мікропорами в залежності від розмірів включень і температури прокатки



а - 1150°C, б - 950°C, в - 800°C, г - 850°C; 1-оксиди; 2-сульфіди

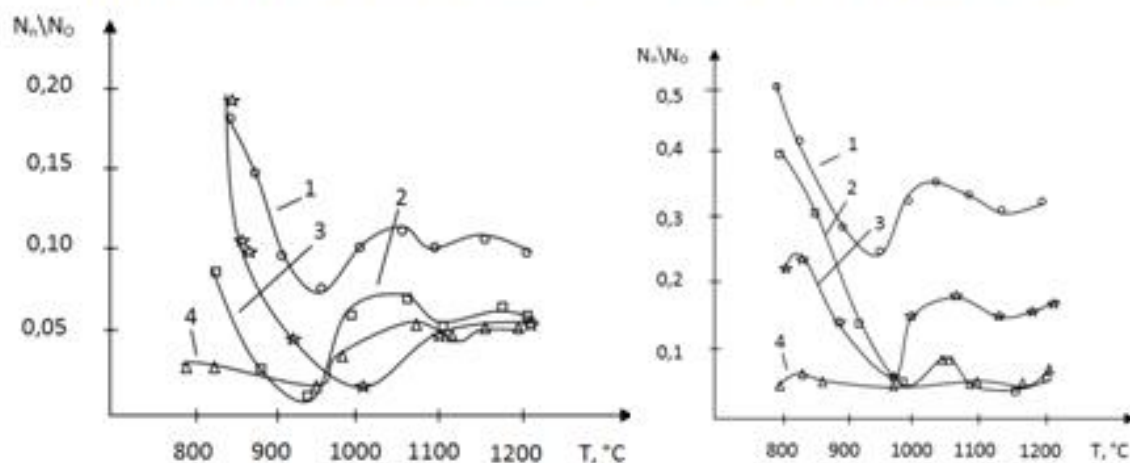
Змінення середньої площі мікропори біля неметалевого включення в залежності від розмірів включень і температури прокатки.



а - 1150°C, б - 950°C, в - 800°C, г - 850°C; 1-оксиди; 2-сульфіди

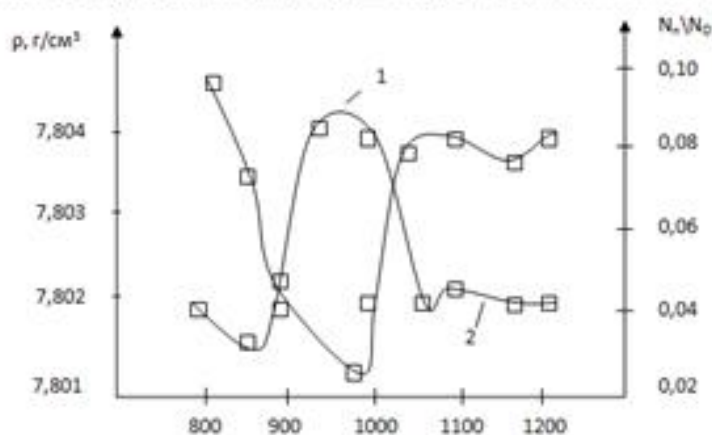
Змінення середньої площі мікропори біля неметалевого включення в залежності від розмірів включень і температури прокатки

Вплив температури прокатки на утворення мікропор біля неметалевих включень



а – включення всіх розмірів; б – включення розміром більше 10 мкм; 1 – оксид; 2 – нітрид; 3 – оксидосульфід; 4 – сульфід.

Вплив температури прокатки на утворення мікропор біля неметалевих включень



Вплив температури прокатки на щільність сталі (1) і утворення мікропор (2) біля неметалевих включень.



а



б

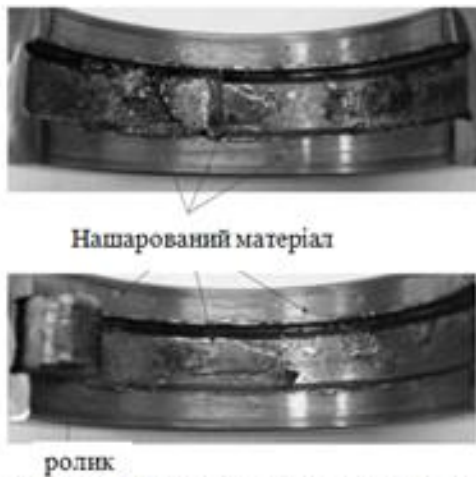


в

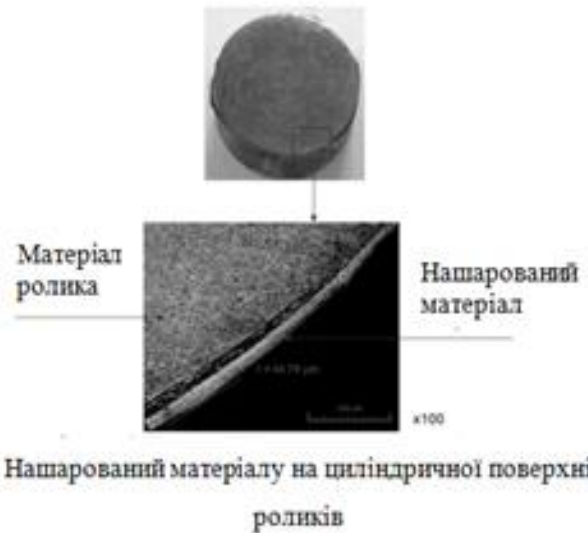
а - 850, б - 950, в - 1150°C

Мікротріщини і несучільності біля оксидосульфідного включень при різних температурах прокатки $\times 1000$

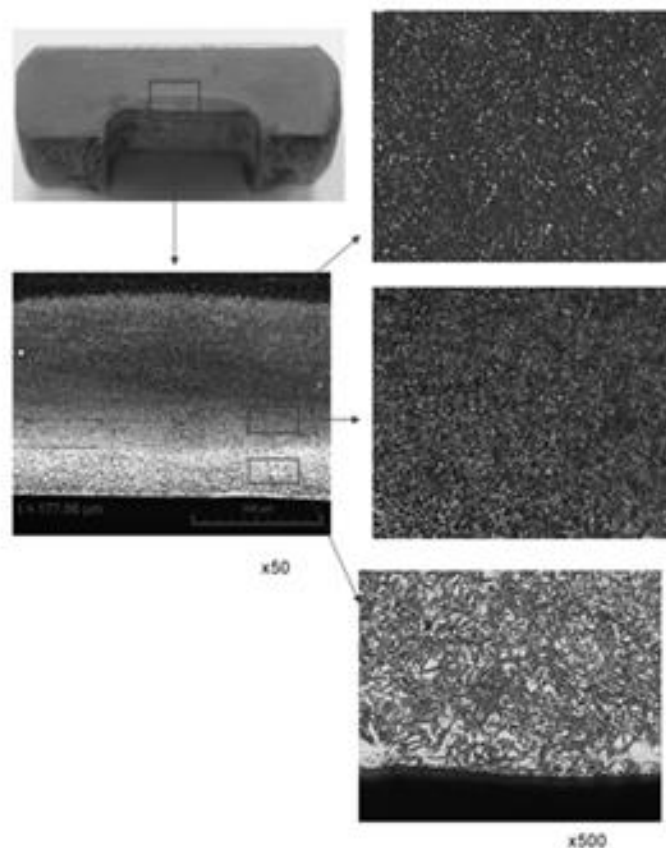
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН РУЙНУВАННЯ ВАЛЬНИЦІ ЗІ СТАЛІ ШХ15СГ



Зовнішній вигляд внутрішньої поверхні зовнішнього кільця вальниці.



Нашарований матеріал на циліндричній поверхні роликів



Мікроструктура внутрішнього кільця вальниці в найбільш ушкоджених місцях