

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО”**

**Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є. О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії**

«На правах рукопису»
УДК 669.017

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Богомол Ю.І.
«___» _____ 20__р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо професійною програмою
«Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»
на тему: "Вплив параметрів зернової структури на величину локального
напруження конструкційних сталей."**

Виконав:
студент VI курсу, групи ФН-01мп
Михайленко Андрій Андрійович _____

Керівник:
Доктор техн. наук, проф.
Котречко Сергій Олексійович _____

Консультант з
розділу охорони праці:
Зав. кафедри ОППЦБ д.т.н., професор
Левченко Олег Григорович _____

Консультант з економічного розділу:
старший викладач, к.е.н.
Нараєвський Сергій Вікторович _____

Консультант з нормоконтролю:
старший викладач, к. т. н. Троснікова І. Ю. _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент Михайленко А.А. _____

Київ – 2021

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
(повна назва)

Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 132 Матеріалознавство
(код і назва)

Спеціалізація нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ю.І. Богомол

(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Михайленко Андрію Андрійовичу

1. Тема магістерської дисертації "Вплив параметрів зеренної структури на величину локального напруження конструкційних сталей", керівник роботи Котречко С.О.; . затвержені наказом по університету від 15.11.2021 р. № 3740-с

2. Термін подання студентом роботи 14.12.2021 р.
3. Вихідні дані до роботи: сучасний стан проблеми конструкційної міцності металів та сплавів на прикладі сталі 12ХНЗМФА;
4. Зміст роботи: літературний огляд по темі дисертації; експериментальна частина, обговорення результатів, розділ охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, енергетичний розділ економічний розділ, розроблення старап-проекту, висновки, перелік використаної літератури.
5. Перелік ілюстративного матеріалу(із зазначенням плакатів, презентацій тощо): тема(слайд); актуальність(слайд); мета(слайд); .Конструкційна міцність(слайд);Локальний підхід(слайд); зародкві тріщини(слайд); узагальнений критерій утворення зародкової тріщини(слайд); інтенсивність генерування зародкових тріщин(слайд); залежність густини ЗТ від величини пластичної деформації та температури(слайд); втрата стабільності зародкових тріщин(слайд); залежність локального напруження руйнування від температури та об'єму металу(слайд); статистичний ефект в ансамблі зародкових тріщин(слайд); вплив градієнта локальних пластичних деформацій на рівень локального напруження руйнування(слайд); дослідження впливу параметрів зереної структури на рівень локального напруження руйнування(слайд); експериментальні дослідження впливу мікроструктурного стану сталі 12ХНЗМФА на її міцність в умовах концентрації напружень(слайд); висновки(слайд).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Зав. кафедри ОППЦБ д.т.н., професор Левченко Олег Григорович	20.11.2021	
Економічний розділ	старший викладач, к.е.н. Нараєвський С.В.	20.11.2021	

7. Дата видачі завдання 01 . 09 .2021 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний пошук за темою роботи	06.10.2021	виконано
2	Зібрати літературний матеріал по впливу параметрів зеренної структури на величину локального напруження	20.09.2021	виконано
3	Отримання та підготовка зразків	27.09.2021	виконано
4	Проведення випробувань на одновісний розтяг	04.10.2021	виконано
5	Комп'ютерне моделювання	11.10.2021	виконано
6	Оформлення роботи	26.11.2021	виконано

Студент

(підпис)

А.А. Михайленко

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

С.О. Котречко

(ініціали, прізви

РЕФЕРАТ

Робота вміщує: 87 с., 17 рис., 19 табл., 30 джерел.

Ключові слова: КОНСТРУКЦІЙНА МІЦНІСТЬ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ, КРИХКЕ РУЙНУВАННЯ МЕТАЛІВ, КОНЦЕНТРАТОРИ НАПРУЖЕНЬ, ЗАРОДКОВІ ТРІЩИНИ.

Об'єкт дослідження: сталь 12ХНЗМФА після швидкісної електро-термообробки.

Мета досліджень полягала в розробці фізичних уявлень щодо особливостей ініціювання крихкого руйнування металу в локальних об'ємах в околі концентраторів напружень та віднаходження ключових факторів, які контролюють цей процес.

Створення однорідних дрібнозернистих структур є дієвим інструментом підвищення величини локального напруження руйнування і, відповідно, забезпечує високий опір крихкому руйнуванню конструкційних сталей.

ABSTRACT

The work contains: p.87, fig.17, tabl.19, refer.30.

Keywords: STRUCTURAL STRENGTH OF METALS AND ALLOYS, BRITTLE FRACTURE OF METALS, STRESS CONCENTRATORS, GERMINAL CRACKS.

Object of research: 12XH3MFA steel is obtained by electron beam sintering.

The aim of the research was to develop physical ideas about the peculiarities of initiating the brittle destruction of metal in local volumes in the vicinity of stress concentrators and to find the key factors that control this process.

The creation of homogeneous fine-grained structures is an effective tool to increase the local stress of failure and, accordingly, to provide high resistance to brittle failure of structural steels.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

σ_1 - максимальне розтягуюче напруження

σ_{th} - порогове напруження руйнування

σ_W - напруження Вейбулла

σ_u - параметр масштабу

m – орієнтаційний фактор

K_{Ic} - тріщиностійкість

ρ - об'ємна густина зародкової тріщини

$\bar{\sigma}$ - інтенсивність макронапружень

\bar{e} - інтенсивність макропластичних деформацій

τ_c і τ_Y - критичні значення дотичних мікронапружень, за яких можливе утворення ЗТ або релаксація несумісності, відповідно

d , d_{\max} - середнє та максимальне значення розміру зерна

e_c - критичне значення макропластичних деформацій

ξ_{ij} - мікронапруження, які обумовлені пружними деформаціями зерен

ξ_{ij}^p - мікронапруження, які створюються дислокаціями

$D_{\xi_{ij}}$ - дисперсія

ξ_{11} , ξ_{22} і ξ_{33} - головні мікронапруження

a - довжина зародкової тріщини 1

ξ_c - критичне напруження втрати стабільності ЗТ на мікрорівні 1

G_c - питома енергія руйнування кристалічної ґратки 1

N_a - кількість зародкових тріщин

R_{MC} – мінімальне значення крихкої міцності

σ_Y - границя плинності

$\sigma_{0.2}$ - умовна границя текучості

σ_B - межа міцності

S_K - істинне напруження руйнування

КН – концентратор напружень

σ_2 – міцність металу при пластичній деформації 2%

σ_{2c} – критична міцність металу в умовах концентрації напружень 1

d_{p_mpv} – найбільш імовірний розмір мартенситного пакету

T_c - температура в'язко-крихкого переходу

R_c - критичний рівень міцності металу

σ_a – атермічна складова напруження плинності σ_2

КС - конструкційні сталі

r – радіус кривизни в вершині параболічних залежностей, параметр,

ЗМІСТ

ВСТУП	11
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	13
1.1 Сучасні уявлення щодо мікромеханізмів крихкого руйнування металів і сплавів	173
1.2 Основні положення дворівневої статистичної моделі крихкого руйнування полікристалічного металу	
1.2.1 Утворення зародкових тріщин в процесі пластичної деформації	17
1.2.2 Втрата стабільності зародкових тріщин	21
Висновки та постановка задач дослідження	25
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	26
2.1 Закономірності впливу інтенсивності генерування ЗТ на величину локального напруження руйнування σ_f	26
2.2 Вплив градієнта локальних пластичних деформацій на величину локального напруження руйнування.....	32
2.3 Вибір матеріалу.....	35
2.4 Підготовка зразків для випробувань.....	38
2.5 Методика експериментальних досліджень впливу зеренної структури на величину локального напруження руйнування σ_f	40
2.6 Моделювання впливу величини найбільш імовірного зерна та ступеню неоднорідності зеренної структури на величину σ_f	42
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.....	44
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	49
4.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори.....	49
4.2 Специфікація технологічного обладнання та план приміщення.....	50

4.3 Оцінка ключових небезпечних та шкідливих виробничих факторів і розроблення заходів поліпшення (нормалізації) умов праці при виконанні роботи (технологічного процесу, робочої операції).....	52
4.4 Електробезпека.....	53
4.4.1 Загальні вимоги до електробезпеки.....	53
4.4.2 Вимоги до експлуатації електричного обладнання.....	54
4.5 Вимоги до безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	55
4.5.1 Пожежна безпека.....	55
4.5.2 Вимоги до безпеки в аварійних ситуаціях.....	56
4.6 Висновки до розділу охорони праці.....	57
5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	58
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	61
6.1 Науково-технічна актуальність НДР	61
6.2 Розрахунок витрат на проведення НДР	62
6.2.1 Витрати на оплату праці.....	62
6.2.2 Єдиний соціальний внесок.....	62
6.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень	63
6.2.4 Енергоносії для проведення досліджень	63
6.2.5 Витрати на спеціальне обладнання	63
6.2.6 Вартість послуг сторонніх організацій.....	64
6.2.7 Витрати на службові відрядження	64
6.2.8 Інші прямі невраховані витрати	64
6.2.9 Накладні витрати.....	65
6.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми....	65
6.3 Науково-технічна ефективність НДР.....	66
7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	70
7.1 Актуальність.....	70

7.2 Мета і завдання стартап проекту	70
7.3 Опис ідеї стартап-проекту.....	71
7.3.1 Технологічний аудит ідеї проекту	71
7.4 Аналіз ринкових можливостей запуску Стартап-проекту.....	72
7.5 Розроблення ринкової стратегії проекту	77
7.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	78
7.7 Формування системи збуту.....	80
7.8 Висновки до розділу	81
ВИСНОВКИ.....	82
CONCLUSION.....	83
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	84

ВСТУП

Локальний підхід (ЛП) до руйнування виник як спроба сформулювати узагальнений підхід до проблеми конструкційної міцності металів та сплавів, оскільки незважаючи на все різноманіття геометрії елементів конструкцій, умов їх навантаження та типів концентраторів напружень, крихке руйнування металу ініціюється саме в локальних об'ємах, де метал знаходиться в умовах дії неоднорідних силових полів, які породжуються різними типами концентраторів напружень. Це можуть бути макродефекти металургійного і технологічного походження, конструкційні концентратори, макротріщини, тощо. Саме дія цих факторів обумовлює те, що пластичний при одновісному розтягу метал руйнується крихко в конструкції. У зв'язку з цим, в локальному підході основний акцент робиться на аналізі процесу квазікрихкого руйнування в околі концентратора напружень і розробці локальних критеріїв ініціювання руйнування, які повинні бути інваріантними до геометрії, параметрів та типу концентраторів (надріз чи гостра тріщина), оскільки лише в цьому випадку можливо реалізувати єдиний підхід до аналізу руйнування зразків і елементів конструкцій, що мають різну геометрію в умовах різних схем навантажень, тощо.

Класична BEREMIN – версія локального підходу [1] та її подальші модифікації [2] ґрунтуються на феноменологічних критеріях ініціювання крихкого руйнування. Це обумовлено, в першу чергу тим, що ці версії локального підходу виникли в рамках механіки руйнування і були спрямовані на прогнозування температурної залежності тріщиностійкості металів і сплавів за результатами випробувань дрібномасштабних зразків з концентраторами напружень. Важливим стимулом таких досліджень стала також проблема прогнозування тріщиностійкості опромінених реакторних сталей та металу їх зварних швів, за результатами випробувань зразків-свідків.

Незважаючи на феноменологічний характер існуючих локальних критеріїв руйнування, вони адекватно описують основну особливість процесу крихкого руйнування, а саме, його стохастичну природу, що забезпечувалось використанням розподілу Вейбулла. Це створило принципову можливість для прогнозування температурної залежності не лише середньої величини тріщиностійкості металу, але і меж його розкиду, що має важливе прикладне значення.

В той же час, практичне використання загальноприйнятих версій локального підходу виявило його принципові недоліки, які обумовлені, в першу чергу, використанням розподілу Вейбулла, який був розроблений для моделювання руйнування крихких матеріалів (кераміки, скла, тощо) і не враховує особливостей квазікрихкого руйнування металів та сплавів. Це, зокрема, проявилось в тому, що параметри розподілу Вейбулла для металів не є константами, а залежать від умов навантаження зразка та його геометрії. Як підкреслювали в своїх оглядах провідні фахівці з локального підходу, все це свідчить про необхідність переходу від феноменологічних до фізичних локальних критеріїв ініціювання руйнування, які ґрунтуються на аналізі реальних мікромеханізмів ініціювання крихкого руйнування в неоднорідних силових полях [3], що дозволить не лише усунути вказаний недолік існуючих версій ЛП, але значно розширить область використання локального підходу.

Мета досліджень полягала в розробці фізичних уявлень щодо особливостей ініціювання крихкого руйнування металу в локальних об'ємах в околі концентраторів напружень та віднаходження ключових факторів, які контролюють цей процес.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Сучасні уявлення щодо мікромеханізмів крихкого руйнування металів і сплавів

В основі сучасної теорії крихкого (квазікрихкого) руйнування металів і сплавів лежать уявлення про зародкові тріщини, які є дефектами кристалічної ґратки і відіграють в процесах крихкого (квазікрихкого) руйнування таку ж фундаментальну роль, як дислокації в процесі пластичної деформації. Ключовою особливістю цих дефектів є те, що вони не існують в металі початково, а безперервно генеруються в процесі пластичної деформації, починаючи із її ранніх стадій. Це означає, що пластична деформація є необхідною умовою крихкого (квазікрихкого) руйнування металів і сплавів. Зокрема, термін «квазікрихке» руйнування вказує на цю особливість процесу ініціювання руйнування в металах.

Вперше положення про пластичну деформацію, як необхідну умову крихкого руйнування металів було сформульовано в роботі [4]. Поява дислокаційних моделей руйнування [5]-[8] дозволило «матеріалізувати» цю ідею, тобто показати, за допомогою яких дислокаційних перебудов в процесі пластичної деформації можливе утворення зародкових тріщин (ЗТ) в кристалах. Це дозволило зрозуміти яким чином в кристалах виникають ЗТ і, що не менш важливо, від чого залежить їх розмір. Для матеріалознавства принциповим виявився той факт, що довжина ЗТ, а значить, і величина напруження втрати її стабільності задаються параметрами мікроструктури сплаву. Для однофазних полікристалічних металів - це розмір зерна, для певних структурних станів сталей – це розміри цементитних (карбідних) частинок. Це дозволяє зрозуміти, яким чином необхідно змінювати мікроструктуру конструкційних сплавів, щоб керувати їх здатністю чинити опір крихкому руйнуванню.

Результати цих досліджень дозволяють зрозуміти фізичну сутність явища крихкого руйнування металів та сплавів, проте цього недостатньо, щоб віднайти міру міцності металу в крихкому стані (крихкої міцності) і запропонувати критерії граничного стану металу в конструкції та на кількісному рівні сформулювати вимоги до оптимального мікроструктурного стану конструкційних сплавів. Причина цього полягає в складності процесу крихкого руйнування полікристалічних металів і сплавів. Це обумовлено, перш за все, тим, що в процесі пластичної деформації утворюється не одна зародкова тріщина, а їх ансамбль, який характеризується широким спектром довжин і орієнтацій ЗТ, значення яких є випадковими величинами. Середовище, в якому поширюються ЗТ, не є однорідним континуумом, як це прийнято розглядати в існуючих моделях. Воно істотно неоднорідне, тому що складається з випадково орієнтованих зерен, що мають випадкові розміри. Все це обумовлює те, що макроскопічне напруження крихкого руйнування не можна розглядати як детерміновану величину. За своєю природою це стохастична характеристика.

Складність врахування всіх цих особливостей руйнування в рамках єдиної теорії привела до виникнення двох підходів до вирішення цієї проблеми.

До першого з них слід віднести феноменологічні статистичні моделі механіки руйнування твердих тіл [9]-[13]. Загальна їх спрямованість полягає в описі масштабного ефекту, а також прогнозуванні середнього напруження руйнування та границь його розкиду, як при одноосьовому розтязі, так і при складному напруженому стані структурно-неоднорідних крихких матеріалів (кераміка, графіт, різні будівельні матеріали).

Спроба врахувати стохастичну природу руйнування металів і сплавів в умовах концентрації напруження знайшла свою реалізацію в «Локальному підході» (ЛП) до крихкого руйнування [1], [3], [10]-[12]. В цьому випадку статистичні методи опису ініціювання крихкого руйнування використовуються для отримання локального критерію крихкого руйнування. В основу цього

підходу покладено принцип найслабшої ланки. Постулюється, що імовірність руйнування твердого тіла об'ємом V , яке складається з N_a представницьких об'ємів V_0 може бути описане розподілом Вейбулла:

$$P_1(\sigma_1) = 1 - \exp \left[-C \frac{V}{V_0} (\sigma_1 - \sigma_{th})^m \right] \quad (1.1)$$

де σ_{th} - порогове напруження руйнування, МПа;

C і m – константи, які не залежать від величини N_a . Їх значення визначається характером зміни функції в припороговій області, тобто при $\sigma_1 \rightarrow \sigma_{th}$.

На практиці крихке руйнування конструкційних сплавів, зазвичай, ініціюється в локальних областях в околі надрізів і тріщиноподібних дефектів, тобто в умовах неоднорідного розподілу напружень і деформацій. Це означає, що залежність (1.1) може бути використана не для всього тіла з концентратором, а лише для досить малої області об'ємом V_i , в межах якої зміною напружень та деформацій можна знехтувати. На сьогодні для визначення розподілу напружень і деформацій в околі концентраторів напружень використовується метод скінченних елементів. При цьому поле напружень і деформацій в межах скінченного елемента є незмінним. Це означає, що під V_i слід розглядати об'єм скінченного елемента. У такій постановці ймовірність руйнування зразка з тріщиною описується залежністю [1]:

$$P_f = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\sigma_w}{\sigma_u} \right)^m \right], \quad (1.2)$$

де σ_w - напруження Вейбулла, яке характеризує міцність металу з урахуванням неоднорідного розподілу максимальних розтягуючих напружень σ_1 , МПа;

$$\sigma_w = \left(\sum_{i=1}^M \sigma_{li}^m \frac{V_i}{V_0} \right)^{1/m}; \quad (1.3)$$

σ_{li} - максимальне розтягуюче напруження, що діє в i -му скінченному елементі, МПа;

M - кількість скінченних елементів в межах області локальної пластичної деформації в околі вершини тріщини або надрізу;

σ_u - параметр масштабу ($\sigma_u = C^{-1/m}$).

У цій версії «Локального підходу» для зменшення кількості констант, які підлягають визначенню за експериментальними даним, припускається, що порогове напруження σ_{th} дорівнює нулю. При цьому постулюється також, що параметри m , σ_u і V_0 константами матеріалу, значення яких не залежать від його напружено-деформованого стану в околі концентратора. Це означає, що залежність (1.2) розглядається в якості статистичного критерію локального руйнування, який повинен бути інваріантним до параметрів концентратора напружень і умов навантаження. У прикладному плані такий підхід передбачає розрахунок параметрів m , σ_u і V_0 за результатами механічних випробувань дрібномасштабних зразків з кільцевими надрізами з подальшим визначенням температурної залежності середнього значення тріщиностійкості K_{Ic} і меж її розкиду з наперед заданою імовірністю.

Аналіз наявних на сьогоднішній день даних щодо використання «Локального підходу» для прогнозування значень K_{Ic} конструкційних сталей показує, що він є коректним при руйнуванні в області дрібномасштабної плинності, тобто в околі нижнього порога на температурної залежності K_{Ic} . В області температур в'язкокрихкого переходу, який є найбільш важливим з прикладної точки зору, параметри m , σ_u втрачають властивість інваріантності до напружено-деформованого стану металу. Як показано в роботах [15]-[16], це

пов'язано з неврахуванням в (1.2) закономірностей мікромеханізму ініціювання руйнування в металах і конструкційних сплавах.

Розв'язання цієї проблеми потребує переходу від феноменологічних моделей ініціювання крихкого руйнування до фізичних моделей, які ґрунтуються на аналізі мікроскопічних процесів утворення і втрати стабільності ЗТ. Саме такий підхід до вирішення даної задачі розглядається в роботі [16]. Його ідея полягає у відмові від постулювання виду функції для імовірності ініціювання крихкого руйнування. Ця функція отримується на основі аналізу елементарних актів утворення та втрати стабільності зародкових тріщин. Це дозволяє отримати не лише критерій ініціювання сколу в умовах концентрації напружень, але – і встановити зв'язок між мікро- і макропроцесами руйнування з урахуванням структурного стану металу.

1.2 Основні положення дворівневої статистичної моделі крихкого руйнування полікристалічного металу

1.2.1 Утворення зародкових тріщин в процесі пластичної деформації

Як підкреслювалось вище, в основі фізичного підходу до моделювання крихкого руйнування полікристалічних металів лежать уявлення щодо властивостей ЗТ, як специфічного дефекту кристалічної ґратки, а саме:

а) ЗТ відносяться до короткоживучих елементів. Тривалість їх життя не перевищує десятих часток секунди. Це спричинено двома основними чинниками. Перший із них тісно пов'язаний з вибухоподібним механізмом утворення ЗТ в результаті виділення накопиченої енергії пружних деформації в дислокаційних скупченнях. Це ж саме має місце при утворенні ЗТ в результаті сколу карбідних частинок. Другий чинник полягає у можливості релаксації напружень в околі ЗТ, що зупинилась. В металі це обумовлює релаксацію напружень в околі її вершини. Як наслідок, таке ЗТ не може в подальшому «конкурувати» з свіжо утвореними

ЗТ, які безперервно генеруються в процесі пластичної деформації, тобто така ЗТ не може бути причиною сколу;

б) Довжина ЗТ є структурно детермінованою, тобто, задається параметрами мікроструктури (розміром зерна в однофазних полікристалічних металах), діаметром мартенситного (бейнітного) пакету, перлітної колонії, товщиною цементитних пластинок в сталях або крихких частинок другої фази в сплавах;

в) ЗТ утворюються в певних кристалографічних площинах. Це є причиною анізотропії крихкої міцності сталей, що мають кристалографічну текстуру;

г) Густина ЗТ суттєво залежить від величини пластичної деформації металу. У більшості випадків при значеннях пластичної деформації 0,01 – 0,30 густина ЗТ така, що середня віддаль між ЗТ не більш, ніж на два порядки перевищує їх довжину. Це дозволяє знехтувати взаємодію між ЗТ, тобто розглядати ансамбль не взаємодіючих ЗТ, що суттєво спрощує розрахунки;

д) Зародкові тріщини – це тріщини нанорівня, тому вони чутливі до дії мікронапружень, які утворюються при пластичних та пружних деформаціях полікристалічного агрегату. Ця властивість є однією з основних причин впливу пластичної деформації на крихку міцність матеріалу.

Причиною утворення ЗТ є несумісність пластичної деформації на межах зерен або несумісність пластичних деформацій матриці і частинок другої фази. По суті, всі існуючі моделі утворення ЗТ, починаючи із моделі Стро, покликані продемонструвати яким саме чином утворюються ці несумісності і пропонують підходи для оцінки потужності цих несумісностей.

В роботі [16] була запропонована модель утворення ЗТ, в яких несумісність пластичних мікродеформацій моделюється дислокаційними скупченнями. У відповідності до цієї моделі розглядаються два альтернативних процеси, а саме: (i) утворення несумісності пластичної деформації критичної потужності, за якої можливо утворення зародкової тріщини, (ii) релаксація мікронапружень в околі цієї несумісності за рахунок мікропластичних деформацій. Саме конкуренція цих

двох процесів і визначає величину імовірності утворення зародкової тріщини і, відповідно, їх об'ємну густину. Спрощений варіант залежності для об'ємної густини ЗТ має вигляд:

$$\rho \approx 2k_p \int_{t_c}^{t_r} g(t) dt = 2[\Phi(t_r) - \Phi(t_c)] \quad (1.4)$$

де Φ_{t_c} і Φ_{t_r} - значення функцій Лапласа при відповідних величинах параметра t ;

t_c - характеризує умови утворення ЗТ, а

t_r - умови, за яких має місце релаксація мікронапружень.

Відповідно

$$t_c = \frac{1}{k_\sigma} \cdot \left[M + \frac{1}{\sigma_i} \cdot \left(\sqrt{\frac{\tau_c}{Ck_d d_{max}}} - \beta \sqrt{\frac{\bar{e}}{d}} \right) \right], \quad \text{при } \bar{e} < e_c \quad (1.5)$$

$$t_c = \frac{1}{k_\sigma} \cdot \left[M + \frac{1}{\sigma_i} \cdot \left(\sqrt{\frac{\tau_c}{Ck_d d_{max}}} - \beta \sqrt{\frac{\bar{e}}{d}} + k_e \left(\frac{\bar{e}}{e_c} - 1 \right) \right) \right], \quad \text{при } \bar{e} \geq e_c \quad (1.6)$$

$$t_r = \frac{1}{k_\sigma} \cdot \left[M + \frac{1}{\sigma_i} \cdot \left(\frac{\tau_Y}{m} \sqrt{\frac{r}{d_{max}}} - \beta \sqrt{\frac{\bar{e}}{d}} \right) \right], \quad \text{при } \bar{e} < e_c \quad (1.7)$$

$$t_r = \frac{1}{k_\sigma} \cdot \left[M + \frac{1}{\sigma_i} \cdot \left(\frac{\tau_Y}{m} \sqrt{\frac{r}{d_{max}}} - \beta \sqrt{\frac{\bar{e}}{d}} + k_e \left(\frac{\bar{e}}{e_c} - 1 \right) \right) \right], \quad \text{при } \bar{e} \geq e_c \quad (1.8)$$

де M - фактор Тейлора (для ОЦК-металів $M=2,75$);

$\bar{\sigma}$ і \bar{e} - інтенсивність мікронапружень та макропластичних деформацій, відповідно;

k_σ - нормативне на $\bar{\sigma}$ значення середнього квадратичного розкиду дотичних мікронапружень $\xi_{n,s}$;

k_d - коефіцієнт ($0,5 \leq k_d \leq 1$);

k_p - коефіцієнт, який характеризує імовірність утворення несумісностей мікропластичних деформацій на межах зерен;

C - константа, величина якої залежить від параметрів ґратки зерен;

τ_c і τ_Y - критичні значення дотичних мікронапружень, за яких можливе утворення ЗТ або релаксація несумісності, відповідно;

β і k_e - коефіцієнти;

m - орієнтаційний фактор площини, в якій можливий релаксаційний зсув;

r - віддаль до дислокаційного джерела;

d , d_{\max} - середнє та максимальне значення розміру зерна;

e_c - критичне значення макропластичних деформацій, за яких досягається максимальне значення потужностей несумісностей мікропластичних деформацій на межах зерен. (Для заліза і вуглецевих конструційних сталей ця величина складає $\approx 2\%$).

Особливість залежності (1.4) полягає в тому, що вона дозволяє прогнозувати вплив на об'ємну густину зародкових тріщин таких факторів, як розмір зерна (середнього d і максимального d_{\max}); кристалографічної текстури (параметр M); температури і швидкості пластичної деформації (параметр τ_Y); величини інтенсивності макропластичної деформації (\bar{e}) та інтенсивності макронапружень $\bar{\sigma}$.

1.2.2 Втрати стабільності зародкових тріщин

Зазвичай, існуючі підходи до прогнозування умов втрати стабільності і катастрофічного росту зародкових тріщин полягають у використанні критерію Гриффітса. При цьому постулюється, що ЗТ втрачає стабільність дією полі макроскопічних напружень. Такий підхід не враховує ключову особливість ЗТ, яка полягає в тому, що ЗТ за розмірами являються тріщинами мікрорівня, тобто вони втрачають стабільність під дією мікронапружень. Як відомо, величина цих напружень може суттєво відрізнятись від значень макронапружень і, що саме головне, поле мікронапружень є стохастичним. У зв'язку з чим в ІМФ ім. Г.В. Курдюмова НАН України була розроблена статистична модель втрати стабільності і поширення ЗТ в полікристалічному металі, яка прогнозує ці процеси в полі мікронапружень. При цьому враховуються дві основні складові поля мікронапружень, які є визначальними щодо їх впливу на поведінку ЗТ в полікристалічному агрегаті, а саме: (1) мікронапруження ξ_{ij} , які обумовлені пружними деформаціями зерен, і (2) мікронапруження ξ_{ij}^p , які створюються дислокаціями. В першому наближенні мікронапруження ξ_{ij} однорідно розподілені в межах зерна і змінюються від зерна до зерна. В цьому випадку принциповим є те, що середні значення (математичні сподівання) цих мікронапружень ξ_{ij} дорівнюють відповідним величинам макронапружень σ_{ij} , а значення їх дисперсії $D_{\xi_{ij}}$ також залежать від величини макронапружень. В першому наближенні ці зв'язки описуються наступним чином [17]:

$$D_{\xi_{11}} = D_I \sigma_1^2 + D_{II} (\sigma_2^2 + \sigma_3^2) + 2[\mu_I (\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_1 \sigma_3) + \mu_{II} \sigma_2 \sigma_3] \quad (1.9)$$

$$D_{\xi_{22}} = D_I \sigma_2^2 + D_{II} (\sigma_1^2 + \sigma_3^2) + 2[\mu_I (\sigma_2 \sigma_1 + \sigma_2 \sigma_3) + \mu_{II} \sigma_1 \sigma_3] \quad (1.10)$$

$$D_{\xi_{33}} = D_I \sigma_3^2 + D_{II} (\sigma_2^2 + \sigma_1^2) + 2[\mu_I (\sigma_3 \sigma_1 + \sigma_3 \sigma_2) + \mu_{II} \sigma_1 \sigma_2] \quad (1.11)$$

де D_I і D_{II} - дисперсії головних мікронапружень ξ_{ii} , які виникають при «прикладенні» одиничних головних макронапружень на взаємно перпендикулярних площинах;

μ_I і μ_{II} - значення коваріації цих напружень. Важливим є те, що значення цих констант визначається типом ґратки та значеннями їх пружних сталей.

Ці залежності наочно демонструють якісну і кількісну відмінність між полем мікро- та макронапружень. Так, наприклад, при одновісному макронапруженому розтязі ($\sigma_1 > 0$ $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$) поле мікронапружень є тривісним, тобто всі три значення головних мікронапружень ξ_{11} , ξ_{22} і ξ_{33} є відмінними від нуля. Розрахунки показують, що для полікристалічного заліза значення ξ_{ii} змінюється від $0,6\sigma_1$ до $1,4\sigma_1$, тобто більш, ніж в 2 рази, а ξ_{22} і ξ_{33} лежать в інтервалі $-1,24\sigma_1 \dots +1,24\sigma_1$.

Мікронапруження, які утворюються дислокаціями можуть бути охарактеризовані широким спектром амплітуд та довжин хвиль, тому при прогнозуванні втрати стабільності ЗТ слід враховувати саме ті мікронапруження, які діють в області, де утворюються ЗТ, тобто в околі меж зерен. Суттєва неоднорідність просторового розподілу є характерною особливістю цих напружень. В цьому випадку вплив дислокаційних напружень на стабільність ЗТ може бути описаний через ефективне напруження ξ_{ef} , вираз для якого можна взяти з роботи [18]:

$$\xi_{ef} = \frac{2}{\pi a} \int_0^a \xi_{ij}^p(x) \sqrt{\frac{x}{a-x}} dx \quad (1.12)$$

де a - довжина ЗТ;

$\xi_{ij}^p(x)$ - функція розподілу розтягуючого мікронапруження вздовж траєкторії росту ЗТ.

Відповідно, критерій втрати стабільності ЗТ в термінах мікронапружень має вигляд:

$$\xi_{11} \geq \xi_c = \sqrt{\frac{k_c}{\sqrt{a}} - \xi_{ef}} / (l_{1n}^2 + \eta l_{2n}^2) \quad (1.13)$$

$$k_c = \sqrt{\frac{G_c E}{k_a (1 - \nu^2)}} \quad (1.14)$$

де ξ_c - критичне напруження втрати стабільності ЗТ на макрорівні;

a - довжина ЗТ;

η - параметр мікронапруженого стану ($\eta = \xi_{22} / \xi_{11}$);

G_c - питома енергія руйнування кристалічної ґратки в околі вершини ЗТ;

l_{1n}, l_{2n} - направляючі косинуси, які характеризують положення площини сколу відносно напрямку дії головних мікронапружень;

k_a - коефіцієнт форми тріщини (для дислокаційних ЗТ $k_a \approx 1,25$);

E - модуль Юнга, МПа;

ν - коефіцієнт Пуассона.

Відповідно, імовірність втрати рівноваги однієї ЗТ при заданому рівні мікронапружень σ_f має вигляд:

$$P_0(\sigma_f) = 0,5 \int_{\xi_c^{min}}^{\xi_c^{max}} g(\xi_c) \left\{ 1 - erf \left[\frac{\xi_c - \sigma_f}{\sqrt{2} J_{\xi_{11}} \sigma_f} \right] \right\} d\xi_c \quad (1.15)$$

де $g(\xi_c)$ - функція щільності розподілу критичного напруження втрати стабільності ЗТ;

$J_{\xi_{11}}$ - коефіцієнт варіації розтягуючих мікронапружень ξ_{11} .

В загальному випадку задача про розподіл напружено-деформованого стану в околі концентратора напружень є нелінійною і немає точного

аналітичного розв'язку. На сьогодні вона розв'язується чисельно методом скінчених елементів (МСЕ). З урахуванням цього можна сформулювати узагальнений критерій ініціювання крихкого руйнування в НСП, тобто руйнування зразка з концентратором наступним чином:

$$P(\sigma_f) = 1 - \prod_{i=1}^{i=M} [1 - P_i(\sigma_f)] \quad (1.16)$$

де $P_i(\sigma_f)$ - імовірність ініціювання крихкого руйнування металу в об'ємі $i^{\text{го}}$ скінченного елемента;

M - кількість скінчених елементів в області, де імовірність руйнування $P_i(\sigma_f) > 0$.

Відповідно, імовірність $P_i(\sigma_f)$ описується залежністю:

$$P_i(\sigma_f) = 1 - [1 - P_0(\sigma_f)]^{\rho_i V_i} \quad (1.17)$$

де V_i - об'єм скінченного елемента;

ρ_i - густина ЗТ, які утворюються в цьому елементі.

Ця модель була використана для віднаходження основних чинників, які визначають особливості крихкого руйнування в неоднорідних силових полях, створюваних концентраторами напружень.

Висновки та постановка задач дослідження

1. Збільшення температури спричинює монотонне зростання величини σ_f , що обумовлене зменшенням інтенсивності генерування ЗТ із зростанням температури.

2. В першому наближенні вплив пластичної деформації на величину σ_f може бути описаний лінійними залежностями, а вплив температури – експоненційною залежністю.

3. В межах «proces szone» » в околі концентратора напружень величина локальної пластичної деформації може змінюватися на порядок – це є причиною залежності σ_f від величини градієнта локальних пластичних деформацій.

Постановка задачі:

- а) Отримати зразки для досліджень після ШЕТО.
- б) Провести одновісний розтяг зразків.
- в) Написати висновки та провести обговорення результатів по виконаній роботі.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Закономірності впливу інтенсивності генерування ЗТ на величину локального напруження руйнування σ_f

Ключову роль в крихкому руйнуванні металів і сплавів в НСП, створюваних концентраторами напружень відіграє інтенсивність генерування ЗТ в області локальної пластичної деформації в околі концентратора напружень. Це обумовлено гранично малими (з макроскопічної точки зору) розмірами області, де генеруються ЗТ (“process zone”). Зазвичай розміри цієї області не перевищують $0,003 \dots 0,05 \text{мм}^3$.

У відповідності до (1.16) і (1.15) це повинно суттєво впливати на імовірність ініціювання крихкого руйнування і, відповідно, на середню величину σ_f та межі його розкиду. На рисунку (2.1) це продемонстровано на прикладі залежності величини імовірності $P(\sigma_f)$ втрати стабільності ЗТ від величини макронапруження σ_f для трьох об’ємів за умови однорідного розподілу макронапружень. У відповідності до цих даних перехід до об’ємів співмірних з об’ємами “process zone” (PZ) повинен супроводжуватися зростанням величини напруження руйнування (при $P_f=0,5$) майже в 1.6 разів. При цьому також зростають межі розкиду напруження руйнування. Згідно з (1.16) це обумовлено суттєвим зменшенням кількості зародкових тріщин N_a ($N_a = \rho V$).

Розміри PZ задаються величиною радіуса концентратора та рівнем відносного навантаження зразка з концентратором. В свою чергу густина зародкових тріщин залежить від температури і величини пластичної деформації. Це безпосередньо впливає із запропонованої моделі (залежності (1.4) - (1.8)). Непрямим доказом цього є експериментальні дані [19] щодо впливу температури на кількість мікротріщин, які спостерігаються в розірваних зразках.

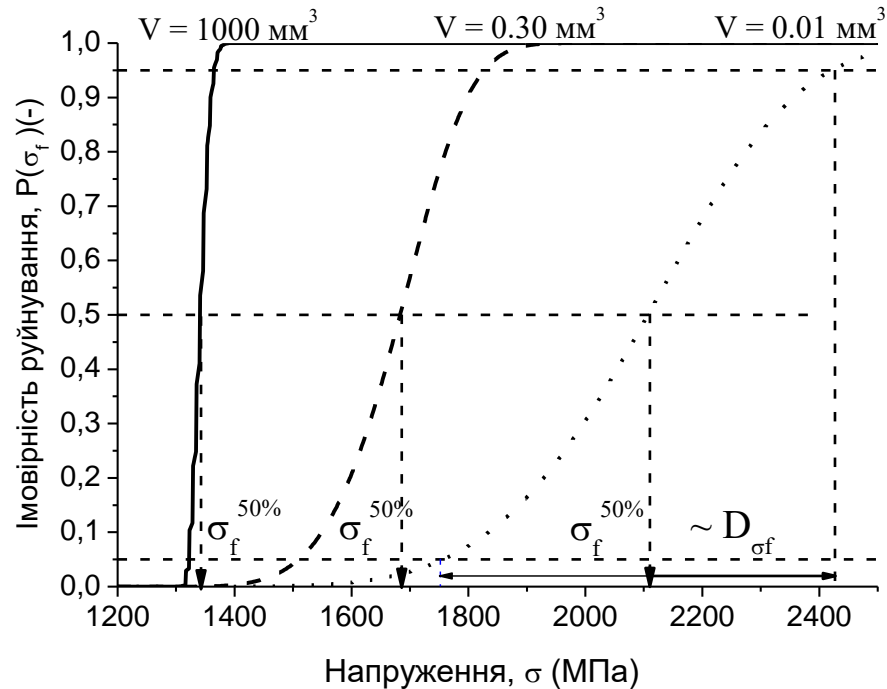


Рисунок 2.1 – Залежність імовірності сколу $P(\sigma_f)$ від величини розтягуючого напруження σ_f для трьох об'ємів V металу

Ці мікротріщини є ніщо інше як частка ЗТ, які доросли до мікроскопічних розмірів (в більшості випадків до розміру зерна) і не змогли поширюватися далі із-за відсутності необхідного рівня мікронапружень. В загальноприйнятій BEREMIN версії Локального підходу цей ефект не враховується [1]. Як результат, це не дозволяє використовувати цю версію для прогнозування руйнування зразків з концентраторами напружень (макротріщинами) в інтервалі температур в'язкокрихкого переходу, який має першочергове значення з практичної точки зору.

Запропонована модель дозволяє на кількісному рівні проаналізувати закономірності впливу температури і величини пластичної деформації на інтенсивність генерування ЗТ.

На рисунку 2.2 наведені результати комп'ютерних розрахунків впливу температури і величини пластичної деформації на ρ . Значення констант, які використовувались при розрахунках, наведені в табл.2.1. Наявність максимуму є характерною особливістю залежності об'ємної густини зародкової тріщини від величини пластичної деформації. Цей максимум досягається при певній (критичній) величині пластичної деформації e_c , за якої має місце максимальна несумісність мікропластичних деформацій на межах зерен. Для заліза і типових конструкційних сталей $e_c \approx 1\% - 2\%$.

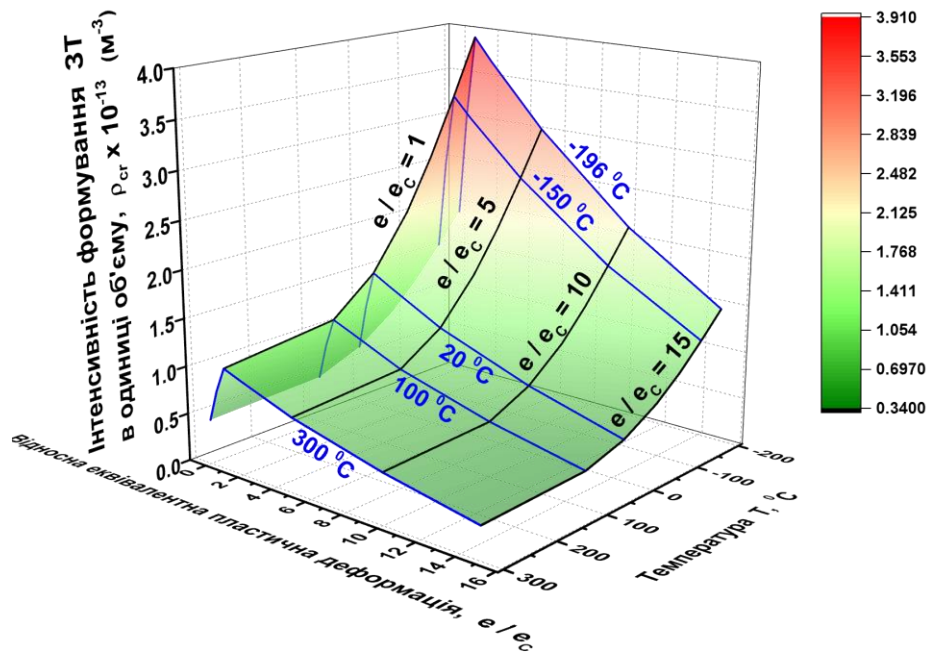


Рисунок 2.2 – Залежність густини ρ ЗТ від нормованої величини пластичної деформації e/e_c (e_c - критична деформація, $e_c = 0,02$) та температури

Підвищення температури обумовлює монотонне зменшення ρ . Причиною цього є зменшення напруження плинності (опору руху дислокацій, параметр τ_y в (1.7)) в результаті чого зменшується величина мікронапружень, за яких відбувається релаксація несумісностей мікропластичних деформацій.

Таблиця 2.1 - Константи, які використовувались при розрахунках

Величина	Значення
Коефіцієнт k_{σ} , (-)	0.225
Коефіцієнт β , (-)	14.4×10^6
Коефіцієнт k_e , (-)	8.57×10^6
Коефіцієнт C , (-)	0.0336
Коефіцієнт k_d , (-)	0.5
Критичне значення коефіцієнта інтенсивності напружень на мікрорівні k_c , (МПа м ^{1/2})	1.95×10^6
Критична деформація e_c , (-)	0.02
Середній розмір зерна d , (м)	10^{-5}
Фактор Шміда M , (-)	2.75

Ці закономірності зміни ρ є причиною впливу температури і величини пластичної деформації на рівень локального напруження руйнування (рис. 2.3 та 2.4). Цей мінімум спостерігається при досягненні критичної деформації e_c , за якої в металі генерується максимальна кількість ЗТ. Вплив на величину σ_f об'єму V металу є результатом стохастичної природи σ_f , оскільки імовірність ініціювання руйнування залежить від кількості N_a зародкових тріщин ($N_a = \rho V$, залежність (1.17)). Це обумовлює збільшення σ_f із зменшенням об'єму металу V .

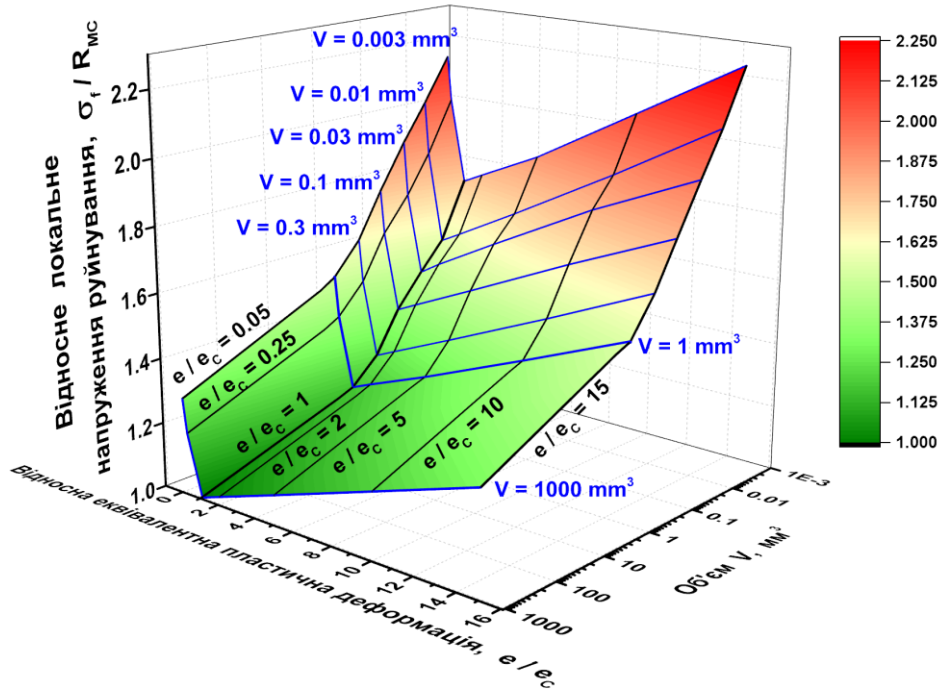


Рисунок 2.3 – Вплив об’єму металу V та величини пластичної деформації e/e_c на рівень локального напруження сколу σ_f/R_{MC}

Враховуючи ключову роль густини зародкових тріщин ρ в формуванні рівня σ_f , а також той факт, що інтеграл (1.4) не можна виразити в елементарних функціях, були отримані апроксимаційні залежності для $\rho = f(e, T)$ у вигляді:

$$\rho = \rho_{\max} - a \left(1 - \frac{\bar{e}}{e_c}\right); \quad \bar{e} < e_c \quad (2.1)$$

$$\rho = \rho_{\max} - b \left(\frac{\bar{e}}{e_c} - 1\right); \quad \bar{e}_{\max} \geq \bar{e} > e_c; \quad (2.2)$$

де e_c - критичне значення інтенсивності пластичних деформацій, за яких ρ досягає свого максимуму (рис. 2.4);

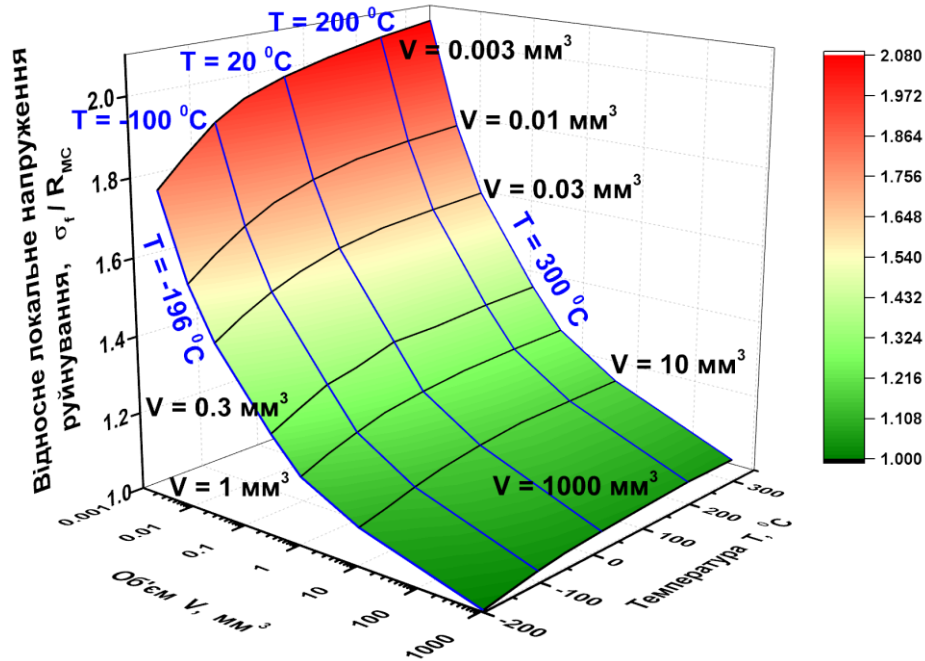


Рисунок 2.4 – Залежність локального напруження сколу σ_f / R_{MC} від температури T та величини об'єму металу V

a і b - коефіцієнти; максимальне значення інтенсивності пластичних деформацій в інтервалі, для якого проводиться апроксимація (для феритних сталей $e_c \approx 0,02$; $a = 1,498 \times 10^{13} \text{ м}^{-3}$; $b = 0,124 \times 10^{13} \text{ м}^{-3}$), $e_{\max} \leq 0,3 \div 0,5$;

ρ_{\max} - максимальне значення ρ при e_c , м^{-3} ;

$$\rho_{\max} = \rho_c [1 - \exp(-\alpha \tau_Y)]; \quad (2.3)$$

α і ρ_c - коефіцієнти, значення яких отримується шляхом калібровки по експериментальним даним руйнування зразків з концентраторами напружень

(типіві значення для конструкційних сталей складають $\alpha \approx 0,01 - 0,04 \text{ МПа}^{-1}$, а $\rho_c \approx (1 \div 8) \times 10^{13} \text{ м}^{-3}$);

τ_y - термічна складова зсувного напруження, яка апроксимується відомою залежністю [20], МПа:

$$\tau_y = 0,5C_1 \exp[(C_2 + C_3 \ln \dot{\epsilon})T]; \quad (2.4)$$

$\dot{\epsilon}$ - швидкість пластичної деформації;

для ферритних сталей $C_1 = 1033 \text{ МПа}$, $C_2 = -0,0068 \text{ К}^{-1}$, $C_3 = 0,000415 \text{ К}^{-1}$.

2.2 Вплив градієнта локальних пластичних деформацій на величину локального напруження руйнування

Як показано вище, вплив абсолютної величини пластичної деформації на σ_f реалізується через зміну значення густини ЗТ, які генеруються в процесі пластичної деформації. Розрахунки, виконані з використанням методу скінченних елементів, показують, що значення інтенсивності локальних пластичних деформацій в “process zone” в околі вершини тріщини в PCVN зразку можуть змінюватися більш, ніж на порядок (рис. 2.5).

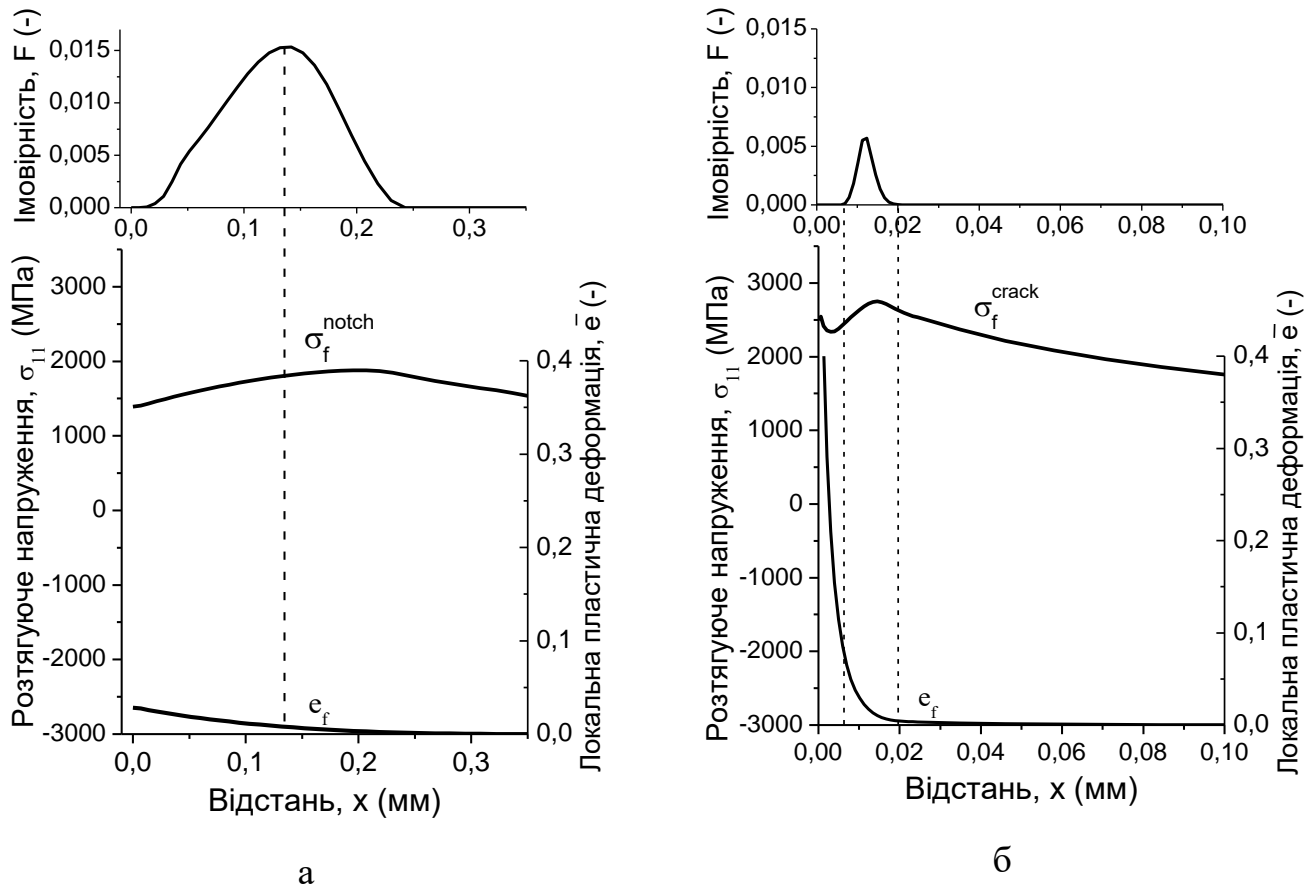


Рисунок 2.5 – Розподіл локальних розтягуючих напружень σ_{11} , інтенсивності локальної пластичної деформації \bar{e} та імовірності P_i ініціювання сколу в околі кільцевого надрізу $r=0,25$ мм (а) та в околі вершини тріщини в PCVN зразку (б)

В запропонованій версії Локального підходу це враховується при визначенні імовірності ініціювання крихкого руйнування зразка з концентратором напружень (залежність (1.16)), проте для аналізу явища руйнування в НСП доцільно виділити вклад неоднорідності пластичної деформації в величину σ_f .

Вплив неоднорідності поля локальних пластичних деформацій на рівень локального напруження σ_f ініціювання крихкого руйнування може бути охарактеризований відношенням величини σ_f до значення напруження

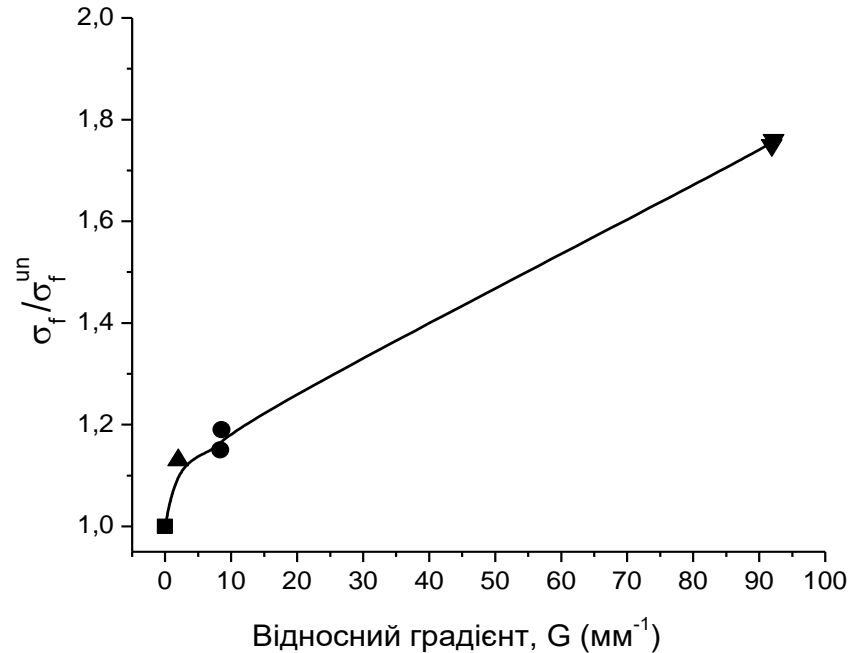
руйнування σ_f^{un} в умовах однорідного розподілу деформацій при певній її величині $\bar{\epsilon}$.

Як було показано вище, густина зародкових тріщин суттєво залежить від величини пластичних деформацій, тому за міру неоднорідності поля деформацій слід обрати не абсолютне, а нормоване значення градієнта деформації, тобто

$$G = \frac{\text{grad}\bar{\epsilon}}{\bar{\epsilon}} \quad (2.5)$$

Залежність величини σ_f / σ_f^{un} від G , отриманих на трьох типах концентраторів (кільцеві надрізи $r = 2$ мм, $r = 0,25$ мм і гостра тріщина) наведені на рис. 2.6. У відповідності до отриманих даних неоднорідність розподілу локальних пластичних деформацій обумовлює суттєве підвищення величини локального напруження руйнування. В околі вершини гострої тріщини перевищення σ_f над відповідним значенням σ_f^{un} при однорідному розподілі деформацій може досягати значень 1,8 разів. Причина цього ефекту полягає в тому, що максимальна кількість ЗТ генерується при критичній деформації $\bar{\epsilon}_c$, а при деформаціях менших, або більших за $\bar{\epsilon}_c$, величина ρ зменшується. З іншого боку, існування значних градієнтів локальних пластичних деформацій в межах “process zone” приводить до того, що значення локальної пластичної деформації

в цій області може змінюватися від $0,5\bar{e}_c$ до $5,0\bar{e}_c$, тобто – на порядок.



■ – гладкий зразок; ▲ – кільцевий надріз $r=2$ мм; ● - кільцевий зразок $r=0,25$ мм; ▼ – гостра тріщина

Рисунок 2.6 – Залежність нормованої величини σ_f / σ_f^{un} локального напруження сколу (σ_f^{un} - напруження сколу при однорідному розподілі деформацій) від величини відносного градієнта G інтенсивності локальних пластичних деформацій.

2.3 Вибір матеріалу

Експериментальні дослідження впливу неоднорідності зереної структури на величину локального напруження σ_f руйнування проводились на економно легованій сталі 12ХНЗМФА. Ця сталь характеризується гарним поєднанням

міцності і пластичності. Хімічний склад досліджуваної сталі наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Хімічний склад досліджуваних сталей 12ХНЗМФА

Класифікація					Сталь конструкційна вуглецева, якісна					
Застосування					Машинобудування					
Хімічний склад, %										
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Al	Ti	V
0.12	0.37	0.29	0.008	0.007	1.03	2.95	0.23	0.009	0.009	0.04

Співставлялись два структурних стани, а саме, після типової термічної обробки, яка реалізується в заводських умовах (нагрів під гартування в печі до $T_a = 870^\circ\text{C}$ з наступним гартуванням і відпуском при $T = 650^\circ\text{C}$ (рис.2.7)) та експериментальна термічна обробка, яка полягала у швидкісному нагріві ($U = 5$ К/с (рис.2.8)) під гартування $T_a = 850^\circ\text{C}$ з відпуском при $T = 650^\circ\text{C}$, при цьому передбачалось потрійне термоциклювання.

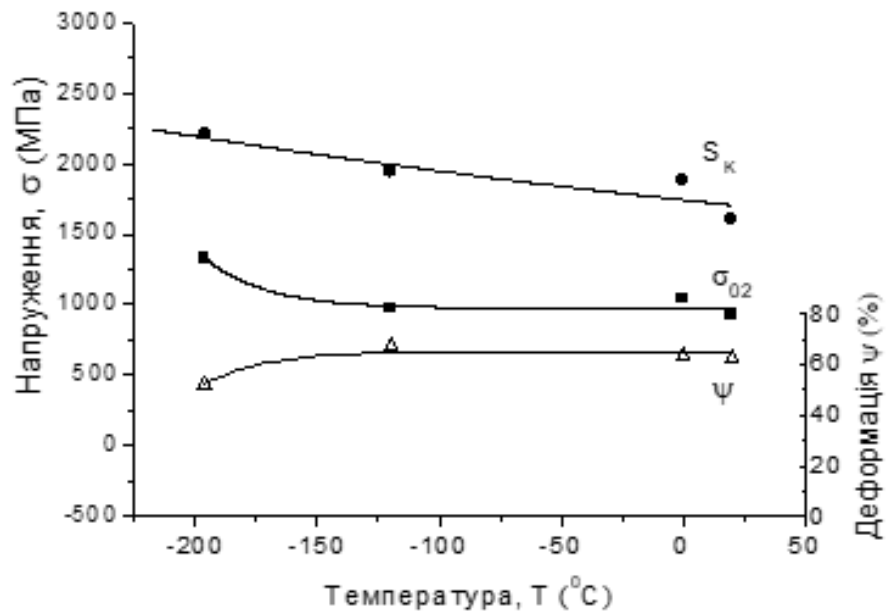


Рисунок 2.7 – Механічні властивості сталі 12ХНЗМФА після заводської термообробки в широкому інтервалі температур.

Така термообробка(рис.2.8.) дозволяла отримати максимально однорідну структуру при мінімальному розмірі найбільш імовірного пакету (табл.2.3) і, відповідно, оцінити потенційні можливості цієї сталі.

Таблиця 2.3 - Режими термічної обробки та параметри мікроструктури сталі 12ХНЗМФА

Режим т.о	$\langle d_{austen} \rangle$, мкм	d_p <small>мрв</small> , мкм	$\sqrt{D_{ln}}$	$\sigma_{0.2}$	σ_B	KCV _{кім} Jcm ⁻²
$T_a=870^\circ\text{C}$, $T_{відп}=650^\circ\text{C}$ заводська обробка	15,4	8,7	0,41	930	990	200
$T_a=850^\circ\text{C}$, $T_{відп}=650^\circ\text{C}$ Швидкісний електронагрів, 5К/с. (3цикли)	4,9	3,3	0.37	950	1100	310

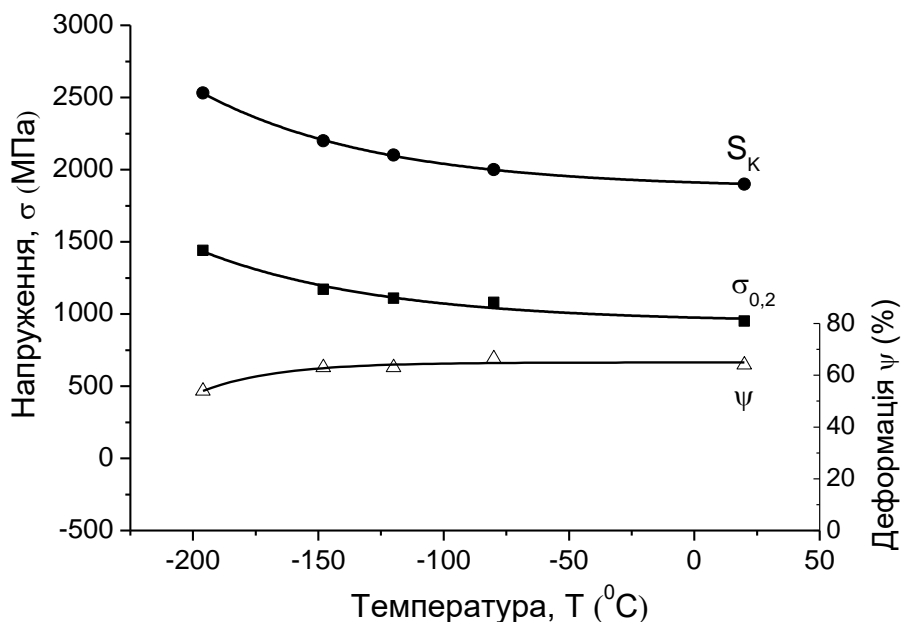


Рисунок 2.8 – Механічні властивості сталі 12ХНЗМФА після ШЕТО з термоциклюванням в широкому інтервалі температур

2.4 Підготовка зразків для випробувань

Поставлені задачі передбачали проведення механічних випробувань при однорідному так і неоднорідному напруженому стані. Тому в роботі були використані кілька типів зразків. Для визначення механічних властивостей матеріалу (зокрема границі плинності, коефіцієнта деформаційного зміцнення, відносного звуження та істинного напруження руйнування) в широкому інтервалі температур $-196 +20^{\circ}\text{C}$ використовувались гладкі циліндричні зразки виточені згідно ГОСТ 22706-77. Геометрія зразка наведено на рисунку 2.9.

Для визначення механічних властивостей сталей в умовах неоднорідних полів напружень використовувались циліндричні зразки, яких виточували кільцеві надрізи різної гостроти ($\rho = 2\text{mm}$ (рис.2) та $\rho = 0.25\text{mm}$ (рис.2.4)). Для визначення впливу жорсткості напруженого стану використовувались

циліндрачні зразки з кільцевим надрізом $\rho = 0.25\text{mm}$ під різними кутами розкриття надрізу $\omega = 45^\circ$ та $\omega = 120^\circ$ (рис.2.9). Варіювання радіусу надрізу та кута його розкриття дозволяє змінювати ступінь тривісності напруженого стану в околі вершини концентратора. При нанесенні надрізу виходили з умови забезпечення необхідної глибини мінімального ступенню пластичного нагартування металу в вершині надрізу.

Концентратори наносились на токарному станку ИЖ-ИС611В з використанням профільних різців. Лінійні розміри зразків контролювались на інструментальному оптичному мікроскопі «ИМЦ-100х50,А» з точністю ± 0.003 мм.

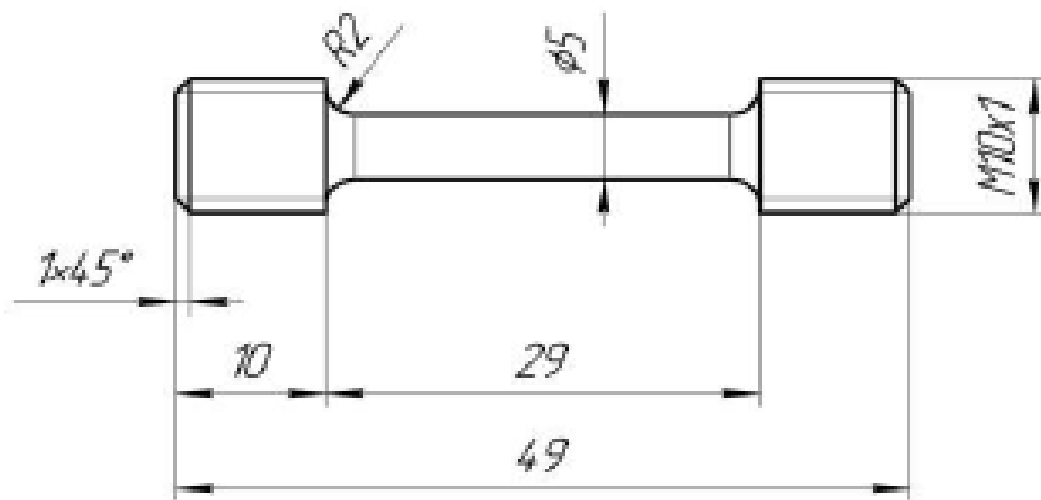


Рисунок 2.9 – Геометрія гладкого циліндричного зразка

Для визначення локального напруження σ_f ініціювання сколу проводились низькотемпературні серіальні випробування зразків з кільцевими надрізами(рис.2.10) радіусом 0,25 мм (глибина надрізу – 1,6 мм, кут розкриття - 45° , максимальний діаметр зразка – 8 мм).

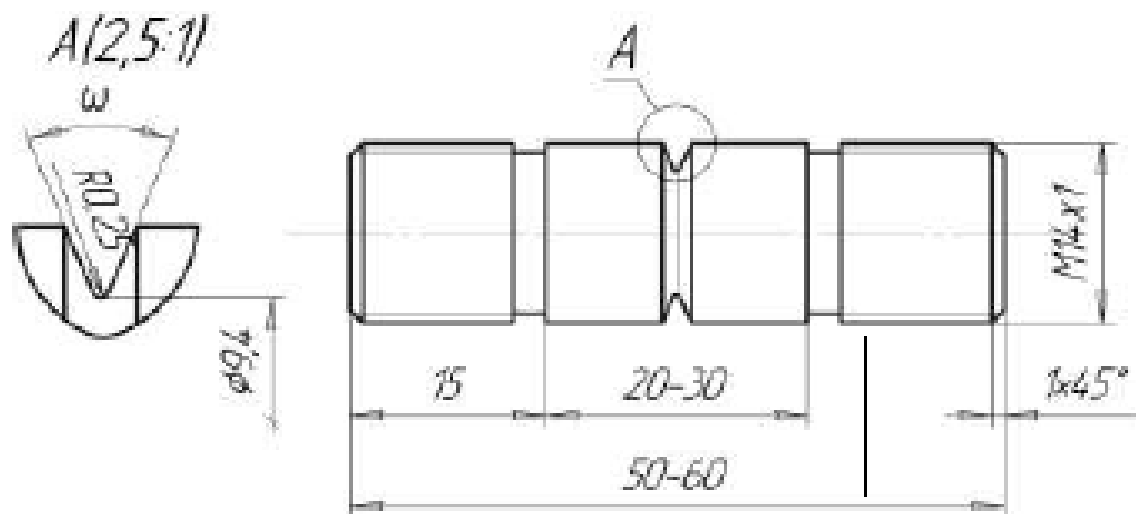


Рисунок 2.10 – Геометрія циліндричного зразка з кільцевим надрізом

2.5 Методика Експериментальних досліджень впливу зеренної структури на величину локального напруження руйнування σ_f

Експериментальні дослідження передбачали проведення серіальних низькотемпературних випробувань на одновісний розтяг циліндричних зразків.

Механічні випробування проводились на розривній машині УММ (Рис.2.70) оснащеною кріокамерою. Зразки в кріокамері охолоджували за допомогою азоту та його парів, температуру контролювали за допомогою мідь-константанової термопари. Безпосередньо в процесі випробувань записувалась діаграма, яка в подальшому перераховувалась в діаграму. Принципова схема розривної машини УММ представлена на рисунку 2.11.

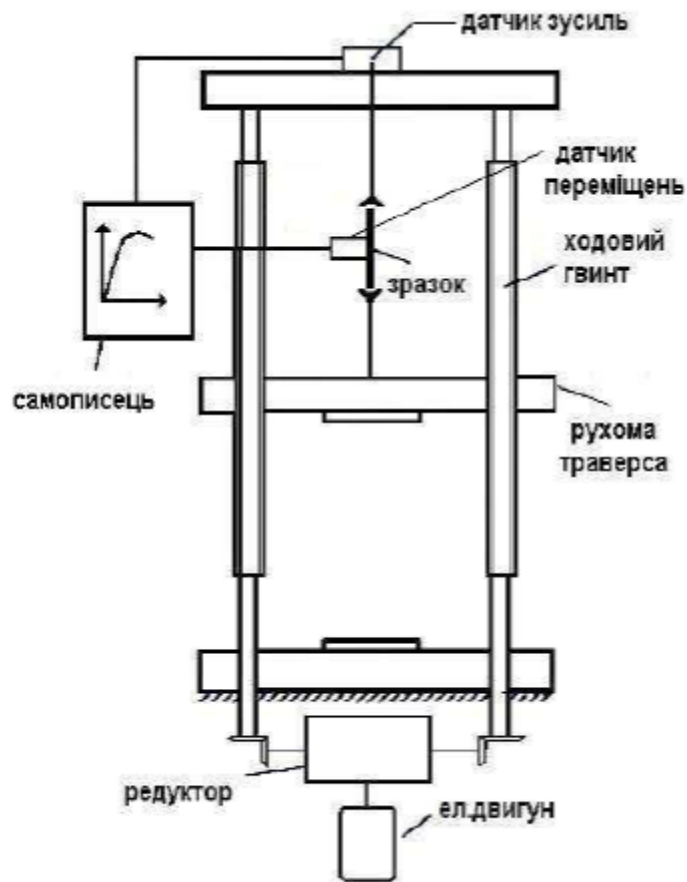


Рисунок 2.11– Схема розривної машини УММ для випробувань на одновісний розтяг

За результатами цих випробувань будувались температурні залежності умовної границі текучості $\sigma_{0,2}$, тимчасового опору руйнування σ_B , істинного напруження руйнування S_K та відносного звуження ψ (рис. 2.4, 2.5). За результатами цих випробувань віднаходились значення номінальних (середніх) значень напружень в мінімальному перерізі зразка в момент розриву (рис. 2.6).

2.6 Моделювання впливу величини найбільш імовірного зерна та ступеню неоднорідності зеренної структури на величину σ_f

На сьогодні існує достатньо експериментальних даних, які свідчать про вплив неоднорідності зеренної структури на здатність металів і сплавів чинити опір крихкому руйнуванню. З метою розробки фізичних уявлень щодо фізичної природи цього явища і встановлення закономірностей впливу на рівень локального напруження σ_f сколу величини найбільш імовірного зерна та ступеню неоднорідності зеренної структури, проводилось комп'ютерне моделювання утворення і втрати стабільності ЗТ в полікристалічному агрегаті, а також, експериментальні дослідження впливу структурного стану конструкційної сталі 12ХНЗМФА на рівень її крихкої міцності R_{MC} та величину σ_f в умовах концентрації напружень за низьких температур.

При моделювання розподіл зерен апроксимувався логарифмічно нормальним розподілом. В цьому випадку величина $\sqrt{D_{ln}}$ (D_{ln} - дисперсія логарифмів розмірів зерен) може використовуватися як кількісна міра неоднорідності зеренної структури. Моделювання проводилось для значень $\sqrt{D_{ln}}$, які відповідають однорідним структурам $\sqrt{D_{ln}} \approx 0,30 - 0,45$; типовим - $\sqrt{D_{ln}} = 0,45 - 0,53$ та неоднорідним структурам $\sqrt{D_{ln}} = 0,53 - 0,60$.

Розрахунки проводились для величини пластичної деформації 0,02, оскільки це типове значення локальної пластичної деформації в точці, де досягається максимальне значення імовірності ініціювання сколу в умовах концентрації напружень. Розподіл мікропластичних деформацій апроксимувався нормальним розподілом. При розрахунках використовувалось типове значення коефіцієнта варіації мікропластичних деформацій $\approx 0,30$. За даними по розподілу зерен розраховувався розподіл ЗТ за розмірами. Значення критичного ξ_c

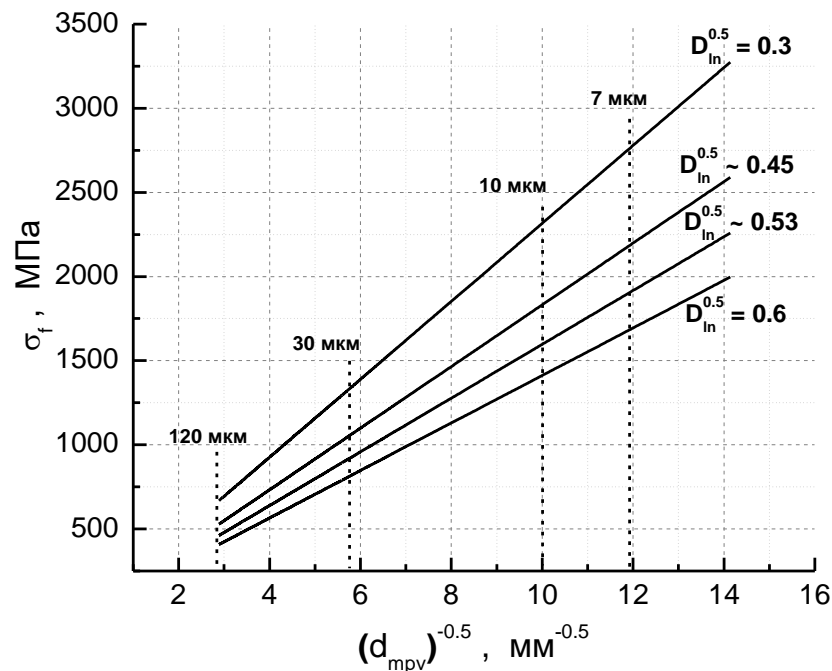
мікронапруження втрати стабільності ЗТ розраховувалось по формулі (1.13). Спираючись на розподіл розмірів ЗТ і розподіл значень мікронапружень при заданому рівні σ_f , розраховувалась повна імовірність ініціювання сколу при цій величині σ_f .

Як було показано вище, характерною особливістю ініціювання крихкого руйнування в умовах концентрації напружень є локалізація цього процесу в граничному малому об'єму («process zone») та неоднорідний розподіл локальних деформацій в межах цього об'єму. Саме локалізація процесу ініціювання руйнування в гранично малому об'ємі є причиною збільшення величини локального напруження сколу σ_f при зменшенні радіуса концентратора напружень. Як було показано вище, це зумовлено статистичним ефектом, який полягає у зменшенні імовірності втрати стабільності ЗТ у зв'язку із зменшенням їх кількості в «process zone» (PZ). Другий ефект – ефект градієнта деформацій (рис. 1.6), який також проявляється у збільшенні величини σ_f при зростанні градієнта локальних пластичних деформацій і кількісно може бути описаний зменшенням величини ρ_{ef} ефективної густини ЗТ. При моделюванні використовувались значення ρ_{ef} , які отримувались шляхом калібрування по експериментальним значенням σ_f , отриманих для концентраторів напружень у вигляді кільцевих надрізів радіусом $R = 0,25$ мм.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

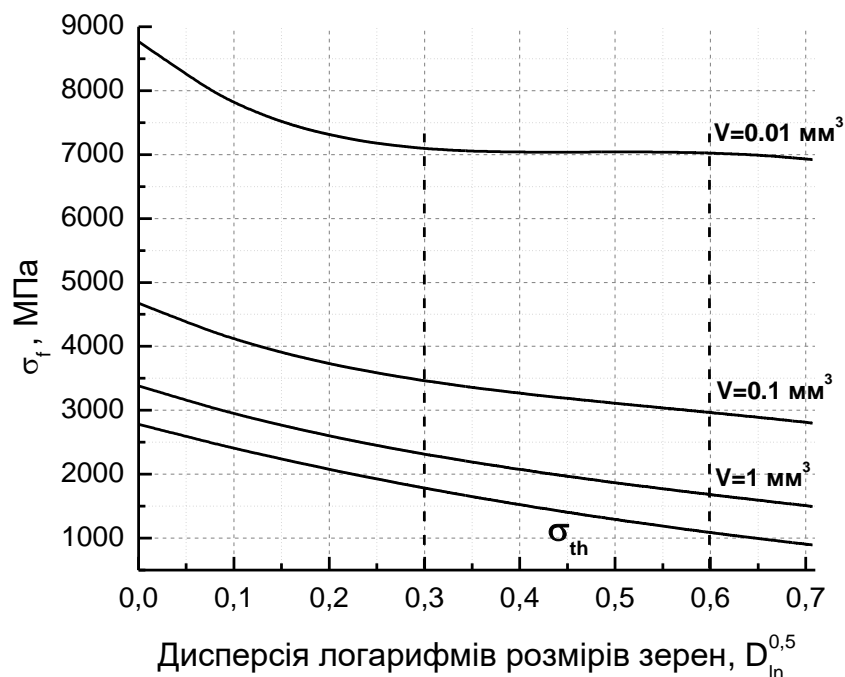
У відповідності до отриманих даних, при фіксованому розмірі найбільш імовірного зерна d_{mpv} перехід від неоднорідних $\sqrt{D_{ln}} = 0,60$ до однорідних структур $\sqrt{D_{ln}} = 0,30$ обумовлює значне (в 1,7 рази) зростання величини локального напруження сколу (рис. 3.1). При цьому ступінь зростання σ_f практично не залежить від розміру d_{mpv} .

Вплив неоднорідності зеренної структури на величину σ_f при різних об'ємах PZ (різній кількості N зародкових тріщин, $N = \rho V$), продемонстровано на рис. 3.1.



D_{ln} - дисперсія логарифмів розмірів зерен

Рисунок 3.1 – Вплив на σ_f величини найбільш імовірного зерна d_{mpv}

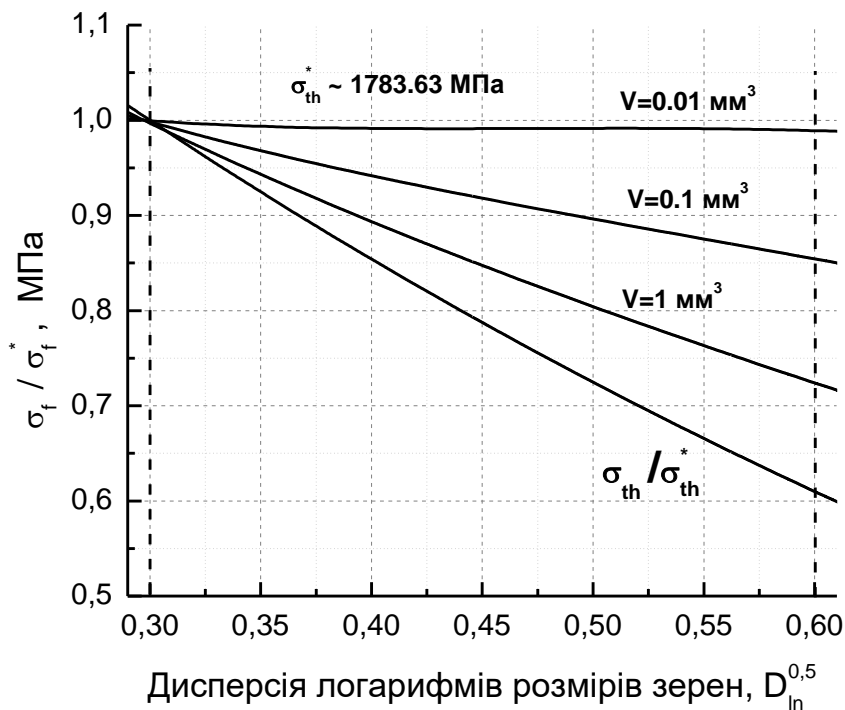


V - об'єм метала

Рисунок 3.2 – Залежність величини σ_f від дисперсії логарифма розмірів зерен

D_{ln}

Ці залежності цікаві тим, що локалізація області ініціювання сколу (зменшення V) обумовлює не лише зростання абсолютної величини σ_f , але і впливає на чутливість σ_f до ступеню неоднорідності зеренної структури. Наочно цей цікавий ефект продемонстровано на рисунку 3.3, де значення σ_f пронормовані на величину σ_f^* при $\sqrt{D_{ln}} = 0,3$ (верхня межа однорідних структур) для різних значень V . На цьому ж графіку наведена залежність від $\sqrt{D_{ln}}$ порогового напруження σ_{th} , яке відповідає нескінченній кількості ЗТ (нескінченно великому об'єму). У відповідності до отриманих даних, ступінь чутливості величини σ_f до неоднорідності зеренної структури зменшується із зменшенням величини V_{pz} .



σ_f^* - значення величини σ_f при $\sqrt{D_{ln}} = 0,3$ (середнє квадратичне відхилення); σ_{th} - порогове напруження руйнування;

σ_{th}^* - значення σ_{th} для зеренної структури, у якої $\sqrt{D_{ln}} = 0,3$

Рисунок 3.3 – Вплив дисперсії розмірів зерен на відносну величину локального напруження руйнування

Таким чином, отримані результати свідчать про наявність двох складових ефекту впливу неоднорідності зеренної структури на опір крихкому руйнуванню металів і сплавів. Перша складова цього ефекту полягає у зменшенні σ_f при зростанні неоднорідності зеренної структури. Цей ефект обумовлений тим, що результатом зростання розкиду розмірів зерен $\sqrt{D_{ln}}$ при постійному значенні d_{mpv} є утворення ЗТ більших розмірів, оскільки ЗТ критичних розмірів (нестабільні ЗТ) утворюються в зернах, які лежать в «хвості» розподілу. В «чистому» вигляді цей ефект проявляється в залежності порогового напруження

– руйнування σ_{th} від величини $\sqrt{D_{ln}}$ (рис.3.2 та рис. 3.3). Фізична сутність другої складової пов'язана з стохастичною природою процесу крихкого руйнування металів і сплавів. Вона полягає у тому, що із зростанням ступеню неоднорідності зеренної структури зростає інтервал зміни величини напруження руйнування, а це обумовлює деяке зростання середньої величини σ_f , тобто, цей ефект має ту ж статистичну природу, що і масштабний статистичний ефект. Величина локального напруження руйнування σ_f розраховувалась методом скінченних елементів (Пакет «Abaqus 6.10»). При цьому використовувались експериментальні значення номінальних напруження руйнування σ_{NF} зразків з концентраторами напружень та істинні діаграми деформації сталі, які отримувались за результатами випробувань на одновісний розтяг гладких циліндричних зразків.

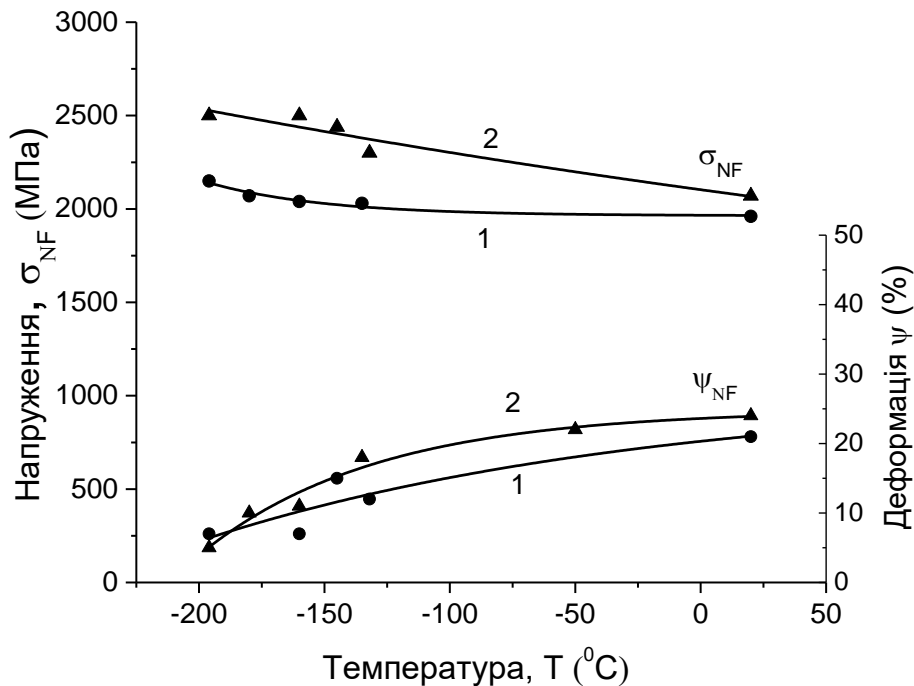


Рисунок 3.4 – Температурна залежність номінальних (середніх) значень напружень σ_{NF} та відносного звуження ψ в мінімальному перерізі зразка із сталі 12ХНЗМФА в момент розриву: 1 - після заводської термічної обробки; 2 – після ШЕТО з термоцикуванням

У відповідності до отриманих даних, сталь 12ХНЗМФА характеризується високим рівнем в'язкості, як після заводської термічної обробки, так і після швидкісної аустенізації з термоцикуванням. Про це, зокрема, свідчить відсутність в'язко – крихкого переходу в області температур від $+20^{\circ}\text{C}$ до -196°C при одновісному розтязі стандартних гладких зразків. В той же час, після швидкісної аустенізації сталь має дещо вищі характеристики міцності і пластичності за низьких температур. Це обумовлено тим, що значення локального напруження руйнування σ_f при $T = -196^{\circ}\text{C}$ складають $\sigma_f = 3160$ МПа (після швидкісної аустенізації) і $\sigma_f = 2790$ МПа (заводська термічна обробка)

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Метою розділу є аналіз небезпечних та шкідливих чинників при технологічних процесах дозування, легування порошків за допомогою планетарного млина, а також розробка засобів захисту від них. У розділі описуються правові та організаційні питання, розглядається науково-дослідна лабораторія, в якій виконувалась робота, аналізується освітлення, рівень шуму, запиленість повітря, електробезпека та пожежна безпека цього приміщення.

При проведенні експерименту важливо дотримуватись вимог та правил безпеки, адже виробництво виробів з твердих сплавів несе багатогранну небезпеку, на кожному етапі є окремі фактори ризику, а саме: подразнення слизистих оболонок носу, горла та захворювання легневих тканин; можливе отримання травм при роботі на розривній машині; можливість бути ураженим електричним струмом у разі відсутності заземлення при роботі з обладнанням; можливість отримати пошкодження різної ступені важкості в разі не своєчасної перевірки балонів та інше. Тому актуальність цього розділу є доцільна.

4.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [14].

Охорона праці включає організаційні і технічні заходи, спрямовані на усунення причин травматизму і захворювань робітників та службовців на виробництві та в науково-дослідних лабораторіях за рахунок дії шуму і вібрацій, запиленості приміщень та інших факторів. Правильний розрахунок і організація заходів по усуненню дії шкідливих факторів на організм людини є одним з

основних елементів, які повинні розроблятися на самому початку науково-дослідницької роботи, оскільки від цього залежить здоров'я та ефективність роботи персоналу.

4.2 Специфікація технологічного обладнання та план приміщення

Специфікацію технологічного обладнання та оснащення наведено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Специфікація технологічного обладнання та оснащення вибраного приміщення

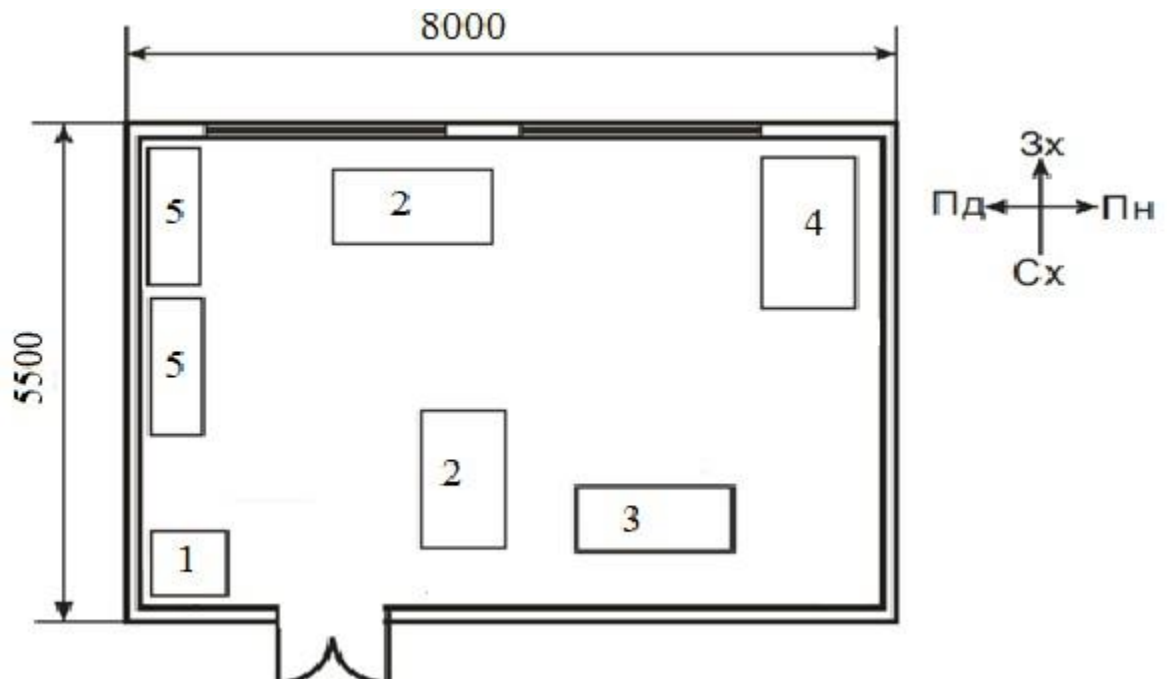
№	Найменування	Розміри Д/Ш/В	Основні характеристики	Позиція на рисунок
1	Електроерозійний станок	630/750/1400	Електроживлення 220В	1
2	Копер маятниковий УТ ІРТ-3	2124x600x1340	Електроживлення 380В	3
3	розривна машина УММ-5	1225x620x2135	Електроживлення 220В	4

Нормативні вимоги до встановлення обладнання щодо об'єму і площі приміщення на 1 працівника та місця розташування технологічного обладнання наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Реальні та нормативні характеристики приміщень і розміщення технологічного обладнання

№	Параметр приміщення	Реальне значення лабораторії 105	Нормативні значення
1	Площа на 1-го працюючого	14.66 м ²	4,5 м ²
2	Об'єм на 1-го працюючого	51.33 м ³	15 м ³
3	Мінімальна ширина проходу	2 м	1,5 м

План приміщення в якому проводились лабораторні дослідження представлено на рисунку 4.1.



1–верстат електро-ерозійного різання; 2– робочий стіл; 3 – Копер маятниковий UIT IPT-3; 4 – розривна машина УММ-5; 5 – шафа

Рисунок 4.1 – Спрощений план науково-дослідницької лабораторії 105

4.3 Оцінка ключових небезпечних та шкідливих виробничих факторів і розроблення заходів поліпшення (нормалізації) умов праці при виконанні роботи (технологічного процесу, робочої операції)

Механічні небезпеки і шкідливості. Даний тип небезпеки присутній при розтягуванні зразків основною небезпекою є те що при високих тисках розриву можливе руйнування пуансонів. Це супроводжується відскоком уламків та нанесенням ушкоджень оператору. Також небезпека рухомих частин полягає в можливості потрапляння частин одягу чи волосся у незакриті механізми розриву.

Шкідливі і небезпечні фактори під час виконання цього процесу – можливе руйнування місць з'єднань гідроприводу, руйнування зразка під час розриву.

Технологічні заходи: використання екрану, який запобігає розлітанням уламків зруйнованого зразка; датчик тиску в гідроприводі та запобіжник перевищення тиску, який автоматично зупинить процес пресування при перевищенні максимального значення тиску.

Недостатня освітленість. Робота проводилась в спеціалізованій лабораторії, та освітленість відповідала нормам, кількість світла, що потрапляє з вулиці та з ламп освітлення є цілком достатньою та відповідає вимогам освітленості робочого місця.

Технологічні заходи: розривна машина має функцію захисту від випадкового ввімкнення, а також запобігає автоматичному включенню інструменту після переривання подачі струму. Використання захисного кожуха для захисту від часток, що відлітають в процесі шліфування.

Організаційні заходи: для запобігання потрапляння пилу в дихальні шляхи та очі рекомендовано використовувати протипилові респіратори та захисні окуляри. Для зменшення рівня шуму рекомендовано використовувати навушники.

4.4 Електробезпека

4.4.1 Загальні вимоги до електробезпеки

Електротехнічні вироби з точки зору безпеки повинні відповідати вимогам ПУЕ-2017 [18].

Для захисту від ураження струмом в аварійному режимі застосовують: заземлення, вимикання, подвійну ізоляцію. Заземлення застосовують завжди при живленні від мереж з ізолюваною нейтраллю та за наявності мережі з глухозаземленою нейтраллю при напрузі понад 1000 В.

У розривній машині УММ5 використовуються елементи електроживлення, що запобігають ураженню електричним струмом та виходу з ладу елементів установки:

а) Захисне вимикання – високонадійна швидкодіюча система захисту, яка застосовується в пересувних електроустановках, які використовують як генератор з ізолюваною нейтраллю, атакож в інших випадках, коли умови експлуатації потребують високого рівня безпеки.

б) Головний автоматичний вимикач – призначений для відключення під навантаженням електричного ланцюга, по якій протікає струм високої напруги. На діючих електропечах застосовують масляні вимикачі, у яких електрична дуга, що виникає при відключенні вимикача під навантаженням, гаситься маслом. Масляні вимикачі автоматично відключають електропіч, коли сила струму перевищує встановлену, наприклад у моменти коротких замикань, при обвалі шихти в процесі плавлення, коли електрод безпосередньо стикається з металом.

в) Автоматичний захист – здійснюється вимиканням у ланцюг захисних реле (реле максимального струму, реле мінімальної напруги, реле максимальної напруги). Дуже часто при роботі електропечі відбуваються замикання у зв'язку із зіткненням електродів із шихтою. Подібні замикання ліквідуються

автоматичними регуляторами, що піднімають електроди. Захисна апаратура вимикає піч тільки при тривалому замиканні, наприклад коли шматок шихти потрапив між електродами.

Весь персонал, що обслуговує обладнання проходить інструктаж про небезпеку, пов'язану з роботою з установками, та способи надання першої до медичної допомоги. Також біля кожної установки прикріплений відповідний плакат з інструкцією та технікою безпеки.

4.4.2 Вимоги до експлуатації електричного обладнання

В розділі необхідно надати характеристику лабораторного приміщення в якому є мережа зі струмом напругою 220 В.

Щоб під час роботи запобігти ураженню електричним струмом потрібно:

- а) здійснити перевірку електросистеми перед експлуатацією устаткування, задля виявлення пошкоджень;
- б) перед використанням уважно прочитати інструкцію з обладнання;
- в) виконувати лабораторні вимоги техніки безпеки;
- г) не використовувати обладнання з порушенням правил.
- д) виконувати перевірку електроприладів та електросистем перед початком виконання робіт, задля виявлення несправності;
- е) бути ознайомленим з правилами використання обладнання;
- ж) у разі знаходження несправності ніякому разі не використовувати його та повідомити про несправність.

4.5 Вимоги до безпеки в надзвичайних ситуаціях

До видів небезпеки, які можуть статися на виробництві, належать: пожежа; вибух (усередині обладнання, будівлях або в навколишньому середовищі); розрив або руйнування обладнання; сполучення перелічених видів небезпеки [60, 61]. З метою запобігання виникненню та ліквідації надзвичайних (аварійних) ситуацій на підприємстві має бути план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій у відповідності до положення [60].

Для евакуації персоналу під час виникнення пожежі передбачено план евакуації, який наведено на рисунку 4.2.

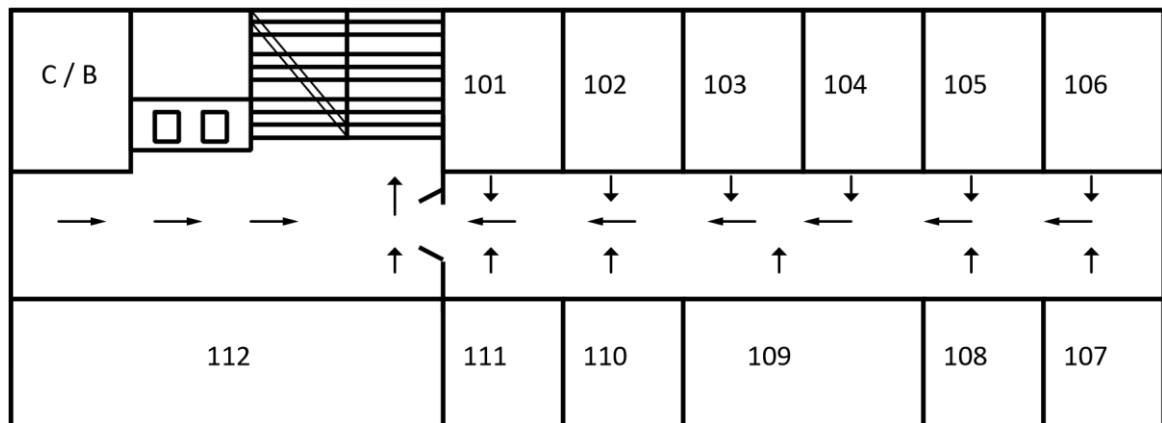


Рисунок 4.2 – План евакуації з першого поверху де знаходиться робоче приміщення 105

4.5.1 Пожежна безпека

Основною причиною пожежі в лабораторії може слугувати: коротке замикання, незаконне використання електрообладнання, використання відкритого вогню та пилу тощо. Щоб уникнути пожеж, необхідно забезпечити місцеву вентиляцію обладнання, а пірофорний матеріал зберігати в герметичній металевій ємкості.

У лабораторії заборонено:

- а) куріння;
- б) використання легкозаймистих матеріалів навколо обладнання;
- в) перевищення часу робочого дня;
- г) використовувати обладнання, не пов'язане з експериментом;
- д) зберігати горючі речовини, такі як алкоголь, бензин та промислова олія без захисного середовища.

Пожежна безпека забезпечується:

- а) запобіганням спалаху ізоляції при КЗ за рахунок максимального струменевого захисту;
- б) запобіганням утворення горючого середовища за рахунок надійної герметизації обладнання, обмеженням застосування і зберігання горючих та вибухонебезпечних речовин;
- в) застосування пожежної сигналізації з датчиком;
- г) використанням вогнегасників.

4.5.2 Вимоги до безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробою електричної напруги на корпус електродугового агрегату необхідно вимкнути рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці.

У випадку потрапляння кого-небудь під дію напруги, необхідно від'єднати обладнання від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, надати потерпілому першу медичну допомогу.

У випадку загорання електродугового агрегату необхідно вимкнути рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

- а) негайно сповістити про це в службу пожежної безпеки за телефоном 101;
 - б) приступити до гасіння вогню наявними в цеху (на ділянці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);
 - в) викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, ділянки).
- У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника ділянки та звернутися в медпункт.

4.6 Висновки до розділу охорони праці

Проведений аналіз шкідливих речовин і небезпечних факторів показав, що всі технологічні операції відповідають нормам. Обладнання устатковане всіма необхідними захисними елементами. Робочі місця – ергономічні, виділені зони відпочинку та є спеціальні місця для спостереження за обладнанням. Більшість процесів автоматизовані. Схема виконання роботи максимально знижує можливість контакту з небезпечними речовинами.

5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Витрати енергії для санітарно-технічних пристроїв (вентиляції, опалення) визначають у відповідності з вимогами по охороні праці та техніки безпеки.

Витрати енергії на розривну установку розраховують на основі потужності встановлених у цеху пристроїв та режимах їхньої роботи.

Обсяг витрат електроенергії визначають на підставі вибору і розрахунку кількості технологічного обладнання, використання його встановленої потужності при запланованому режимі роботи:

$$\mathcal{E} = M\Phi_0\eta_{зв}K_1K_2, \quad (5,1)$$

де M – встановлена потужність обладнання, кВт;

Φ_0 – річний фонд часу роботи обладнання, год.;

$\eta_{зв}$ – коефіцієнт завантаження обладнання;

K_1 – коефіцієнт одночасності роботи (приймається рівним: для електричних печей – 0,6; для електродвигунів – 0,3; для генераторів високочастотного нагріву – 0,8);

K_2 – коефіцієнт використання потужності (приймається рівним 0,7).

Витрати енергії піднімально-транспортного обладнання визначають виходячи з його потужності.

В умовах малотоннажних виробництв транспортувальне обладнання вибирають разом з основним, а його характеристики вносять у відомість основного обладнання.

Витрати енергії на компресійні і вакуумні установки розраховують на основі потужності встановлених у цеху пристроїв та режимах їхньої роботи.

Розрахунок витрат енергії на освітлення для кожного приміщення виконують на основі загального плану цеху. Вихідні данні для розрахунку: площа

приміщення, необхідна освітлюваність і режим роботи освітлювальних пристроїв.

Витрати енергії на освітлення розраховують за формулою:

$$Q = \frac{Sq\tau f}{1000}, \quad (5,2)$$

де S – освітлювальна площа, м²;

q – поверхнева густина теплового потоку, Вт/м²;

τ – число годин горіння на рік;

f – коефіцієнт одночасного горіння.

Величину q зазвичай приймають: для виробничих приміщень – 11...15 Вт/м², для побутових і службових приміщень – 10 Вт/м².

Залежно від тривалості освітлювального періоду значення τ приймають рівним: для двозмінної роботи – 2500 год, для тризмінної роботи – 4700 год.

Коефіцієнт, який враховує одночасність горіння ламп, приймають: для виробничих прогонів – 0,8; для побутових та службових приміщень – 0,7.

Результати розрахунків витрат електроенергії зводять в таблиці 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Витрати електроенергії на освітлення

Найменування споживача	Освітлювальна площа, м ²	Поверхнева щільність теплового потоку, Вт/м ²	Кількість годин горіння на рік, год	Коефіцієнт одночасності горіння	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Виробнича лабораторія	54	11	2500	0,8	1190
Усього витрат, кВт·год					1190

Таблиця 5.2 – Витрати електроенергії на роботу технологічного обладнання

Найменування споживача струму	Кількість споживачів	Потужність, кВт	Фонд робочого часу на рік, год	Коефіцієнт завантаженості	Коефіцієнт одночасності	Коефіцієнт використання потужності	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Електропідпора	1	5кВт	1000	0,5	0,6	0,7	1050
Розривна машина УММ5	1	5кВт	740	0,7	0,3	0,7	542.5
Усього витрат, кВт·год							1592.5

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

6.1 Науково-технічна актуальність НДР

На сьогодні існує достатньо експериментальних даних, які свідчать, що створення однорідних дрібнозернистих структур є дієвим інструментом підвищення величини локального напруження σ_f руйнування і, відповідно, забезпечення високого опору крихкому руйнуванню конструкційних сталей.

Мета досліджень полягала в розробці фізичних уявлень щодо особливостей ініціювання крихкого руйнування металу в локальних об'ємах в околі концентраторів напружень та віднаходження ключових факторів, які контролюють цей процес.

У відповідності до отриманих даних, сталь 12ХНЗМФА характеризується високим рівнем в'язкості, як після заводської термічної обробки, так і після швидкісної аустенізації з термоцикуванням. Про це, зокрема, свідчить відсутність в'язко – крихкого переходу в області температур від $+20^{\circ}\text{C}$ до -196°C при одновісному розтязі стандартних гладких зразків. В той же час, після швидкісної аустенізації сталь має дещо вищі характеристики міцності і пластичності за низьких температур.

На прикладі конструкційної сталі 12ХНЗМФА встановлено, що результатом зростання неоднорідності зеренної структури в сталях і сплавах є утворення зародкових тріщин більших розмірів, оскільки нестабільні ЗТ утворюються в зернах максимальних розмірів, які лежать в «хвості» їх статистичного розподілу.

6.2 Розрахунок витрат на проведення НДР

6.2.1 Витрати на оплату праці

Вартість праці цього експерименту (табл. 5.1) – це основна зарплата учасників (без урахування бонусів та інших витрат на прибуток).

Таблиця 6.1 Розрахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, люд-днів	Заробітна плата, грн		
		Посадовий місячний оклад	Середньоденна зарплата	Усього за виконавцями
Професор кафедри	65	19438	916,88	59597,64
Інженер-дослідник	80	9238	435,75	34860,37
Разом оплата праці з теми				94458,01

6.2.2 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок (ЄСВ) – це обов'язкове відрахування на загальнодержавне соціальне страхування. З 1 січня 2016 р. ставка ЄСВ складає 22 %. Basis для нарахування ЄСВ слугують загальні витрати на оплату праці по темі (підсумок по табл.1.2).

$$\text{ЄСВ} = \text{ЗП} \cdot 0,22, \quad (6.1)$$

де ЗП – загальні витрати на оплату праці по темі.

Наразі ЄСВ буде становити:

$$\text{ЄСВ} = 94458,01 \cdot 0,22 = 20780,76 \text{ грн.}$$

6.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень

В даній статті враховують вартість усіх видів матеріалів, необхідних для проведення НДР, з вирахуванням вартості зворотних відходів. Розрахунки зводять за формою у таблиці 5.2.

Таблиця 6.2 – Розрахунки витрат на матеріали

Найменування матеріалу	Стандарт, технічні умови	Одиниця виміру	Кількість	Ринкова ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Круг сталі 12ХНЗМФА	ГОСТ 1050-88	кг	0.2	2600	130
Загальні витрати на матеріали					130

Матеріал, необхідний для цього дослідження, невеликий і не потребує транспортування. Тому транспортних витрат для матеріалів немає.

6.2.4 Енергоносії для проведення досліджень

Всі роботи проводились безпосередньо в лабораторіях Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» та Інституті металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, тому витрати на енергоносії не передбачені.

6.2.5 Витрати на спеціальне обладнання

В роботі використовується вже існуюче обладнання: розривна машина УММ-5; шліфувально-полірувальний верстат; мікроскоп МІМ-7.

Всі роботи проводились безпосередньо в лабораторіях Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» та Інституті металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, тому витрати на аренду обладнання не передбачені.

6.2.6 Вартість послуг сторонніх організацій

Дана робота не потребувала оренди дослідницьких установок, адже всі вони були наявні. Зразки виготовлялись безпосередньо в лабораторіях Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» та Інституті металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України.

6.2.7 Витрати на службові відрядження

Всі роботи проводились безпосередньо в лабораторіях Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» та Інституті металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України.

6.2.8 Інші прямі невраховані витрати

У цій статті поєднуються всі витрати на проведення НДР, що не увійшли до попередніх статей. При проведенні роботи інші прямі витрати приймаємо на рівні 10 % від суми врахованих витрати на виконання НДР.

$$I_B = (ЗП + ЄСВ + V_M) \cdot 0,1, \quad (6.2)$$

Наразі I_B буде становити:

$$I_B = (94458,01 + 20780,76 + 130) \cdot 0,1 = 11536,87 \text{ грн}$$

6.2.9 Накладні витрати

Ця стаття включає витрати, пов'язані з управлінням організацією-виконавцем теми, витрати на винахідництво і раціоналізацію; витрати на амортизацію основних засобів; витрати на науково-технічну інформацію; витрати на забезпечення нормальних умов праці і техніки безпеки; витрати на оплату послуг банків; податки, збори та інші обов'язкові платежі і витрати тощо.

Розглянемо варіант розрахунку накладних витрат пропорційно сумі прямих витрат на рівні 20 %.

$$H_B = (ЗП + ЄСВ + V_M + I_B) \cdot 0,2, \quad (6.3)$$

Наразі H_B буде становити:

$$H_B = (94458,01 + 20780,76 + 130 + 11536,87) \cdot 0,2 = 25381,12 \text{ грн.}$$

6.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Усі витрати, понесені на виконання роботи (табл. 5.3):

Таблиця 6.3 – Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

Найменування статей витрат	Сума, грн	Обґрунтування
1.Витрати на оплату праці	94458,01	Відповідно до розрахунків
2.Єдиний соціальний внесок	20780,76	22,0 % від загальних витрат на оплату праці
3.Матеріали для проведення досліджень	130	Відповідно до розрахунків
4.Енергоносії для проведення досліджень	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
5.Спецобладнання для наукових цілей	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
6.Вартість послуг сторонніх організацій	–	За договором із сторонніми організаціями (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
7.Витрати на службові відрядження	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку не передбачено)
8.Інші невраховані прямі витрати по темі	11536.87	10 % від суми прямих розрахованих витрат по темі
9.Накладні витрати	18820,0	Відповідно до нормативів організації-виконавця теми (у нашому випадку 20 % від суми прямих витрат)
10.Усього витрат по темі	145725.64	Сума попередніх статей

6.3 Науково-технічна ефективність НДР

Розрахунок очікуваного економічного ефекту НДР необхідно для визначення доцільності проведення даної роботи. Проте він може бути розрахований лише по НДР, які безпосередньо спрямовані на створення нових матеріалів, покращення параметрів якості продукції, а також створення нових конструкцій.

Для визначення річного економічного ефекту скористаємося бальною системою оцінювання економічної ефективності за наступними показниками:

- а) важливість розробки (K_1);
- б) можливість використання результатів розробки (K_2);
- в) теоретичне значення та рівень новизни (K_3);
- г) складність дослідження (K_4).

Коефіцієнт K_1 може приймати наступні значення:

- а) ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;
- б) робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво – 3 бали;
- в) робота являє собою частину відомчої програми – 5 балів;
- г) робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів – 7 балів;
- д) робота є частиною міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт K_2 може приймати такі значення:

- а) результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі – 1 бал;
- б) результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією – 3 бали;
- в) результати розробки можуть бути використані декількома організаціями – 5 балів.
- г) результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі – 8 балів;
- д) результатами розробки можуть користуватися у різних галузях – 10 балів.

Коефіцієнт K_3 може приймати такі значення:

а) робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі – 2 бали;

б) під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів – 3 бали;

в) внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;

г) внаслідок виконання НДР створені нові теорії, методики тощо – 6 балів;

д) отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше – 8 балів.

Коефіцієнт K_4 може приймати такі значення:

а) роботу виконує один підрозділ, витрати до 10 000 гривень – 1 бал;

б) роботу виконує один підрозділ, витрати від 10 000 до 50 000 гривень – 3 бали;

в) роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень – 5 балів;

г) робота виконується декількома підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень – 7 балів;

д) робота виконується декількома організаціями, витрати понад 200 000 гривень – 9 балів.

Загальна бальна оцінка (Б) вираховується перемноженням коефіцієнтів.

$$Б = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

В нашому випадку бальна оцінка ефективності згідно табл. 5.4 становить:

$$Б = 3 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 7 = 1008$$

Таблиця 6.4 – Бальна оцінка ефективності НДР

Показник оцінки ефективності НДР	Умовне позначення показника	Характеристики даної роботи	Кількість балів
1. Важливість розробки	K_1	Робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво	3
2. Можливість використання результатів розробки	K_2	Результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі	8
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K_3	Внаслідок виконання НДР створені нові теорії, методики тощо	6
4. Складність дослідження	K_4	Робота виконується декількома підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень	7

Умовний ефект НДР розраховується за формулою:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \cdot B - E_n \cdot V_{\text{НДР}}, \quad (6.4)$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (може бути в межах 0,1 – 0,3);

$V_{\text{НДР}}$ – сумарні витрати на виконання НДР (підсумок табл. 3.3);

У нашому прикладі умовний ефект виконання НДР буде становити:

$$E_{\text{НДР}} = 500 \cdot 1008 - 0.2 \cdot 145725.64 = 503999,78 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність НДР визначається коефіцієнтом умовної економічної ефективності E_e . Він є відношенням умовного ефекту виконання НДР до сумарних витрат на виконання НДР та розраховується за формулою:

$$E_e = \frac{E_{\text{НДР}}}{B_{\text{НДР}}}. \quad (3.5)$$

У нашому прикладі E_e буде становити:

$$E_e = \frac{503999,78}{145725,64} = 3.45$$

Коефіцієнт умовної економічної ефективності науково-дослідної роботи становить 3.45 (перевищує одиницю), що свідчить про доцільність її виконання.

7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

7.1 Актуальність

Практичне використання загальноприйнятих версій локального підходу виявило його принципові недоліки, які обумовлені, в першу чергу, використанням розподілу Вейбулла, який був розроблений для моделювання руйнування крихких матеріалів (кераміки, скла, тощо) і не враховує особливостей *квазікрихкого* руйнування металів та сплавів. Це, зокрема, проявилось в тому, що параметри розподілу Вейбулла для металів не є константами, а залежать від умов навантаження зразка та його геометрії. Як підкреслювали в своїх оглядах провідні фахівці з локального підходу, все це свідчить про необхідність переходу від феноменологічних до фізичних локальних критеріїв ініціювання руйнування, які ґрунтуються на аналізі реальних мікромеханізмів ініціювання крихкого руйнування в неоднорідних силових полях [3], що дозволить не лише усунути вказаний недолік існуючих версій ЛП, але значно розширить область використання локального підходу.

Ці обставини обумовлюють актуальність задачі дослідження проблеми конструкційної міцності сталі 12ХНЗМФА.

7.2 Мета і завдання стартап проекту

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів. Завдання розділу полягає в маркетинговому

аналізі перспектив реалізації запропонованих магістрантом науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження.

7.3 Опис ідеї стартап-проекту

В межах підпункту слід послідовно проаналізувати певні ідеї:

- а) зміст ідеї (що пропонується);
- б) можливі напрямки застосування;
- в) основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);
- г) чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників.

Таблиця 7.1 – Опис ідеї Стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Дослідження впливу утворення однорідних структур на локальне напруження та руйнування	1) Виготовлення матеріалів для обробки інструментів 2) Виготовлення зносостійких матеріалів	1) Дешевизна процесу; 2) Екологічна чистота процесу; 3) Покращені властивості Fe-Mo сплаву

7.3.1 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Технологічна здійсненність ідеї проекту у таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології і реалізації	Наявність технології	Доступність технології
Дослідження властивостей сталі 12ХНЗМФА	Швидкісна електро-термообробка	Технологія наявна	Технологія доступна

За проведеними дослідженнями можна зробити висновок, що розробка та реалізація даної технології не завдасть жодних перешкод, адже дана технологія існує на ринку та доступна для реалізації.

7.4 Аналіз ринкових можливостей запуску Стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Сегмент споживачів: для аналізу попиту на ринку дослідження звужимо до рівня м. Києва.

Ринок споживачів – нішевий (вузький профіль – виробництва, які використовують матеріали з твердих сплавів).

Канали збуту: використовуються прямі канали збуту. Безпосередній контакт з потенційними покупцями через візити на підприємства та презентації товару. Контакт через тематичні та галузеві виставки та конференції. Збут через інтернет-ресурси (інтернет-магазин).

Взаємодія зі споживачами: особисті контакти, по телефону, електронній пошті. Застосування програм лояльності. Із потенційними споживачами – підтримка інформаційних інтернет-ресурсів: сайт проекту, блог новин проекту, виставки, конференції.

Для визначення актуальності вкладення грошових та матеріальних ресурсів на впровадження даної технології варто зрівняти діючу облікову ставку НБУ та середню норму рентабельності ринку (14 %). З 26.05.2018 р. НБУ прийняло рішення про зниження облікової ставки до 12,5 %. Таким чином, рентабельність ринку є вищою, що свідчить про те, що даний проект є привабливим для інвестування.

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл 7.3).

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 7.2-7.3). Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю п'яти сил М. Портера).

М. Портер вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції. Це:

- а) конкурент, що вже є у галузі;
- б) потенційні конкуренти;
- в) наявність товарів-замінників;
- г) постачальники, що конкурують за ринкову владу;
- д) споживачі.

Таблиця 7.3 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Застосування зносостійких інструментів для обробки матеріалів	Виробництва, заводи	<ul style="list-style-type: none"> - Новітня техніка та технології, які застосовуються; - Швидкість та високий об'єм виготовлення продукції; - Гарантія якості; 	<ul style="list-style-type: none"> ●якість; ●допустима собівартість; ●надання чітких гарантій; ●швидкість виконання

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл.7.4-7.5)

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 7.4 – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Загроза появи нових конкурентів	Нові конкуренти привносять у галузь нові виробничі потужності й прагнуть роздобути частку ринку збуту, тим самим, знижуючи позиційний прибуток	Знижує загальний потенціал прибутковості в галузі. Запекла конкуренція в галузі знижує прибутковість, тому що за те, щоб зберегти конкурентоспроможність, призводить до додаткових витрат.
2	Обмежений ринок	Достатня кількість продукції, яка завоювала статус брэнда	Скорочення обсягів продажів у результаті порушення договірних зобов'язань.
3	Слабкий рівень технічної оснащеності	Зростання кількості потребуючої продукції, в свою чергу збільшення кількості та якості технічного обладнання	- втрати дохідності бізнесу в результаті зниження рівня репутації; - скорочення обсягів виробництва в результаті використання застарілого обладнання.

Таблиця 7.5 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція компанії
1	Вихід на нові ринки або сегменти ринку	Можливості розширення виробництва, збуту.	Збільшує кількість продукції, що у свою чергу призводить до розширення виробничої діяльності
2	Розвиток НДДКР	Можливість розширення якості та швидкості вихідної продукції	Нові технології сприяють зменшенню собівартості послуги, а, відповідно, і її вартості для клієнтів; збільшенню обсягів продажу; створення/видозміна послуги.
3	Високий рівень технічної оснащеності	Можливість завербування висококваліфікаційних спеціалістів. Вихід на новий більш прибутковий ринок	Збільшення якості та кількості продукції

Таблиця 7.6 – SWOT-аналіз стартап-проекту (Слабкі та сильні сторони)

Сильні сторони (S):	Слабкі сторони (W):
<ul style="list-style-type: none"> ● молодий і кваліфікований колектив; ● дуже широкий асортимент послуг ● послуга дешевша наявних на ринку аналогів 	<ul style="list-style-type: none"> ● брак власного устаткування; ● додаткові транспортні витрати; ● наявність на ринку компаній, які мають своїх покупців/клієнтів, і, відповідно, добру репутацію.

Перелік слабких та сильних сторін та властивостей ідеї потенційної послуги є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності та новий метод плавки дає можливість при мінімальних затратах підприємства виготовляти та випускати порівняно якісну та дешеву для клієнта продукцію.

Таблиця 7.7 – SWOT-аналіз стартап-проекту (Можливості та загрози)

Можливості (О):	Загрози (Т):
<ul style="list-style-type: none"> ● посилення позиції на ринку; ● вихід на нові сегменти ринку; ● збільшення різноманітності у взаємозалежних продуктах; ● підвищення кваліфікації персоналу в галузі сучасних технологій, менеджменту та маркетингу. 	<ul style="list-style-type: none"> ● зростаюче конкурентний тиск; ● швидке копіювання конкурентами; ● поява нових конкурентів з товарами-замінниками; ● захвачені частки ринку іншими компаніями перешкоджають залучення клієнтів.

7.5 Розроблення ринкової стратегії проекту

Структура ринкової стратегії, тобто рішень, що визначають взаємовідносини підприємства з ринком ресурсів, багато в чому аналогічна структурі товарно-ринкової стратегії підприємства. Так само як і у випадку товарно-ринкової стратегії, мова тут йде про двох сферах стратегічних рішень: по-перше, рішень, що визначають поведінку підприємства на ринках матеріальних факторів виробництва (засобів і предметів праці); по-друге, рішень про номенклатуру, обсяги та якість придбаних і використовуваних усередині підприємства ресурсів.

Ринкова стратегія підприємства розробляється на основі досліджень і прогнозування кон'юнктури товарного ринку, вивчення покупців, вивчення товарів, конкурентів та інших елементів ринкового господарства. Найбільш поширеними стратегіями маркетингу є:

- а) проникнення на ринок;
- б) розвиток ринку;
- в) розробка товару;
- г) диверсифікація.

Спираючись на основні характеристики послуги, варто визначитись з базовою стратегією розвитку підприємництва. Оскільки дана послуга передбачає менші витрати, порівняно із схожими видами послуг, варто застосувати стратегію спеціалізації. Це є доцільним, оскільки підприємство може завоювати клієнтів як за допомогою меншої вартості наданих послуг, так і за допомогою диференціації.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 7.8).

7.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 7.9 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Методика, яку планується використовувати, є унікальною. Тому задля забезпечення її від копіювання конкурентами, можна запатентувати методику.

Таблиця 7.8 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
Виготовлення інструменту для обробки металів	Висока міцність, дешевизна, швидкість, якість	Новий метод термічної обробки, що призведе до більшої міцності, зносостійкості.

Таблиця 7.9 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Даний проект є «першопрохідцем на ринку»	Компанія буде шукати нових споживачів, з розширенням продукції, компанія буде на вигідних умовах забирати споживачів у конкурентів	Компанія не буде копіювати характеристики товару, а спиратиметься лише на власні розробки	Стратегія спеціалізації

7.7 Формування системи збуту

Аналіз системи збуту передбачає визначення ефективності кожного елемента цієї системи, оцінювання діяльності апарату працівників збуту. Аналіз витрат обігу передбачає зіставлення фактичних збутових витрат за кожним каналом збуту і видом витрат із запланованими показниками для того, щоб виявити необґрунтовані витрати, ліквідувати затрати, що виникають у процесі руху товарів і підвищити рентабельність наявної системи збуту. Організація

збуту в процесі аналізу відіграє дуже важливу роль, оскільки забезпечує зворотний зв'язок виробництва з ринком, є джерелом інформації про попит та потреби споживачів. Ось чому розробку збутової політики кладуть в основу програми аналізу як щодо кожного продукту, так і по виробничому відділенню загалом. Якщо на основі розрахунків з'ясовують, що витрати на реалізацію нового товару дуже високі й не дають змоги забезпечити необхідний рівень рентабельності, то керівництво виробничого відділення може прийняти ухвалу про недоцільність подальшої розробки та впровадження у виробництво певного товару. Фахівці-аналітики можуть не лише визначити майбутню прибутковість виробу, а й внести свої пропозиції щодо його вдосконалення і нових можливостей використання відповідних виробів у інших сферах.

При виборі програми збуту варто звернути увагу на те, що цільова аудиторія включає переважно осіб із середнім рівнем доходів. Таким чином, реклама та збут можуть збільшити витрати, які прямо чи опосередковано впливають на вартість послуги, не більше, ніж на 10 %. Зважаючи на вищевказане, каналами збуту можуть бути реклама в Інтернеті (соціальні мережі, дошки безкоштовних оголошень тощо), рекламні листівки, банери та інші відносно недорогі види реклами.

До завдань реклами відноситься, в першу чергу, інформування про відкриття підприємства, що запровадило унікальну послугу для зміцнення поверхні корпусів.

7.8 Висновки до розділу

Незважаючи на всі за і проти, розробка даного проекту є досить перспективною, оскільки сучасний ринок потребує використання більш довговічних та якісних деталей, а також деталей з вищими механічними та термо-електричними характеристиками. Дані методи обробки дозволять значно

підвищити міцність та зносостійкість деталей. Також вихід сплавів, які здатні працювати при високих температурах та в агресивних середовищах відразу приверне увагу користувачів.

При аналізі ринку виявлено, що бар'єром для успішного розвитку стартап проекту може стати продукція-замінники від конкурентів, а також бренд, який вони створили. Також використання конкурентами новітніх технологій може призвести до зменшення кількості користувачів. В загальному, стартап-проект має переваги над конкурентами, тому має місце до подальшої імплементації.

ВИСНОВКИ

1. Створення однорідних дрібнозернистих структур є дієвим інструментом підвищення величини локального напруження σ_f руйнування і, відповідно, забезпечення високого опору крихкому руйнуванню конструкційних сталей.

2. Ефект впливу неоднорідності зеренної структури металу на σ_f має дві складові. Перша – полягає у зменшенні величини σ_f при зростання неоднорідності зеренної структури. Цей ефект обумовлений тим, що результатом зростання неоднорідності зеренної структури в сталях і сплавах є утворення зародкових тріщин більших розмірів, оскільки нестабільні ЗТ утворюються в зернах максимальних розмірів, які лежать в «хвості» їх статистичного розподілу.

Фізична сутність другої складової пов'язана із стохастичною природою процесу крихкого руйнування металів і сплавів. Вона полягає в тому, що із зростанням ступеню неоднорідності структури зростає інтервал можливих значень величини напруження руйнування σ_f , а це обумовлює певне зростання середнього значення σ_f . Цей ефект має ту ж статистичну природу, що і масштабний статистичний ефект. Він, в певній мірі, «пом'якшує» негативний вплив неоднорідності зеренної структури на σ_f .

Обґрунтована науково-технічна актуальність виконання досліджень по даній темі. Проаналізовано планово-кошторисну собівартість та економічну ефективність проведення НДР з урахуванням витрат всіх видів ресурсів. Проаналізовані виробничі умови та сформульовані основні вимоги до охорони праці під час виконання НДР за заданою тематикою.

CONCLUSION

1. The creation of homogeneous fine-grained structures is an effective tool to increase the value of the local fracture stress and, accordingly, to provide high resistance to brittle fracture of structural steels.

2. The effect of the heterogeneity of the grain structure of the metal on has two components. The first is to reduce the value with increasing heterogeneity of the grain structure. This effect is due to the fact that the result of increasing grain structure heterogeneity in steels and alloys is the formation of germinal cracks of larger sizes, as unstable STs are formed in grains of maximum size, which lie in the "tail" of their statistical distribution.

The physical essence of the second component is related to the stochastic nature of the process of brittle destruction of metals and alloys. It consists in the fact that with the increase of the degree of inhomogeneity of the structure the interval of possible values of the value of the fracture stress increases, and this causes a certain increase in the average value. This effect has the same statistical nature as the large-scale statistical effect. To some extent, it "mitigates" the negative impact of grain structure heterogeneity on.

Substantiated scientific and technical relevance of research on this topic. Planned and estimated cost and economic are analyzed efficiency of research, taking into account the cost of all types of resources.

The production conditions are analyzed and the basic requirements to are formulated labor protection during the implementation of research on a given topic.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. *Beremin F.M.* A local criterion for cleavage fracture of a nuclear pressure vessel steel // *Metallurgical Transactions. A.* — 1983. — **14**. — P. 2277—2287.
2. *Bordet S.R., Karstensen A.D., Knowles D.M., Wiesner C.S.* A new statistical local criterion for cleavage fracture in steel. Part I: model presentation // *Eng Fract Mech.* — 2005. — **72**. — P. 435–452.
3. *Pineau A.* Development of the local approach to fracture over the past 25 years: theory and applications // *International J. Fracture.* — 2006. — 138. — P. 139—166.
4. *Степанов А.В.* Основы практической прочности кристаллов. — М.: Наука, 1974. — 132 с.
5. *Stroh A.N.* The formation of cracks as a result of plastic flow // *Proc. Roy. Soc.* — London. — 1954. — A223. — P. 404—420.
6. *Cottrel A.H.* Theory of fracture in steel and similar metals // *Trans. Met. Soc. AIME.* — 1958. — 212, N 2. — P. 192—195.
7. *Владимиров В.И.* Физическая природа разрушения металлов. — М.: Металлургия, 1984. — 280 с.
8. *Владимиров В.И.* Актуальные задачи теории зарождения дислокационных трещин // *ФММ.* — 1970. — 30, № 3. — С. 490—510.
9. *Витвицкий П.М., Попина С.Ю.* Прочность и критерии хрупкого разрушения стохастически дефектных тел. — Киев: Наук. думка, 1980. — 187 с.
10. *Batdorf S.B., Heinisch H.K.* Ir. Fracture statistics of brittle Materials with surface cracks // *Engineering fracture mechanics.* — 1978. — 10, № 4. — P. 831—841.
11. *Evans A.G., Iones R.L.* Evolution of a Fundamental approach for the statistical analysis of fracture // *J. the american ceramic society.* — 1978. — **61**. — P. 156—160.

12. *Mudry F.* A local approach to cleavage fracture // Nuclear Engineering and Design. — 1987. — **105**. — P. 65—76.
13. *Pineau A., Joly P.* Local versus global approaches to elastic-plastic fracture mechanics: Application to ferritic steels and a cast duplex stainless steel // Defect Assessment in Components; Fundamentals and Applications ESIS/EGF9. — P. 381—414.
14. *Margolin B.Z., Gulenko A.G., Shvetsova V.A.* Improved probabilistic model for fracture toughness prediction for nuclear pressure vessel steels // International J. Pressure Vessel and Piping. — 1998. — **75**. — P. 843—855.
15. *Красовский А.Я.* Хрупкость металлов при низких температурах. — Киев: — Наук. думка, 1980. — 340 с.
16. *Kotrechko S.* The key problems of local approach to cleavage fracture // Journal of Theoretical and Applied Mechanics. — 2013. — **51**. — P. 75-89, Warsaw.
17. *Гурьев А.В., Богданов Е.П.* Влияние структурных напряжений на прочность поликристаллических материалов // Проблемы прочности. — 1984. — № 1. — С. 68—73.
18. *Инденбом В.Л.* О критериях разрушения в дислокационных теориях прочности // ФТТ. — 1961. — **3**, № 7. — С. 2071—2079.
19. *Kaechele L.E, Tetelman A.S.* A statistical investigation of microcrack formation // Acta Metall. — 1969. — **17** — P. 463—75.
20. *Kotrechko S., Zatsarna O., Kozák V., Dlouhý Ivo.* Threshold fracture stress: theory and application // Procedia Structural Integrity. — 2019. — **23** — P. 413—418.
21. *Gao X., Ruggieri C. and Dodds R.H.* Calibration of Weibull stress parameters using fracture toughness data // International Journal of Fracture. — 1998. — **92**— P. 175-200.

22. *Gao X. and Dodds R.H.* Constraint effects on the ductile-to-brittle transition temperature of ferritic steels: a Weibull stress model // *International Journal of Fracture*. — 2000. — 102 — P. 43–69.
23. *Ruggieri C.* Influence of threshold parameters on cleavage fracture predictions using the Weibull stress model // *International Journal of Fracture*. — 2001. — 110 — P. 281–304.
24. Левченко О. Г. Охорона праці та цивільний захист: навч. посіб. для студ. спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 136 «Металургія». – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 337 с. – [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31215>.
25. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
26. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
27. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
28. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.
29. Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій, № 424/3717 від 30.06. 1999 р.
30. ДСТУ 3273-95. Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги.