

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Ужгородський національний університет

(повне найменування інституту, назва факультету)

Ужгородський національний технічний університет

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Теоретичне дослідження розмірного
розподілу в однофазних та складнофазових
металевих системах

Виконав: студент VI курсу, групи ФФ-213
спеціальності (напряму підготовки)

132 "Матеріалознавство"

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Карачко А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Олександрович В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Сіменко В.В.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя

2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Університет матеріалознавства
 Кафедра Фізичне матеріалознавство
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) Магістр
 Спеціальність 132 "Матеріалознавство"
 (код і назва)
 Напрямок підготовки Фізичне матеріалознавство
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Овчинников В. Ю.
 "12" 12 2018 року

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

Коренко Любов Василівна
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Теоретичне дослідження ізотермічного росту зерен в однофазних та багатофазних металевих системах

керівник проекту (роботи) Овчинников Володимир Юхимович, професор
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "18" 10 2018 року № 264

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 14.12.18

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Стаття про конкуренцію між зернами металевих систем у процесі їхнього росту та керування процесом зростання часток металевих зерен

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Експериментальні та теоретичні дослідження щодо впливу параметрів росту на їх ізотермічний ріст. 2. Нові моделі зростання зерен металевих систем. 2.1. Потенціальні та реальні термодинамічні рушійні сили росту зерен. 2.2. Геометричні моделі зростання зерен з урахуванням топографічних факторів. 2.3. Кінетика росту ізотермічного зростання зерен. 2.4. Вплив параметрів росту на кінетичні характеристики процесу зростання. 2.5. Експериментальні дані.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Вивчення фазових та фазових. 2. Кінетика процесу зростання зерен. 3. Кінетика процесу зростання зерен для металевих систем. 4. Вивчення впливу параметрів росту на кінетичні характеристики процесу зростання зерен. 5. Вивчення процесу зростання зерен від кінетичних факторів впливу на процес.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконання завдання
1-2	Овчаренко В.Ю.		
3	Востерів О.В.		
4	Крушкова В.В.		
НК	Тюх А.В.		

7. Дата видачі завдання 03.09.2018р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Експериментальні та теоретичні дослідження, щодо впливу параметрів на процес зварювання	03.09.18 - 15.10.18р.	
2.	Розробка моделі зварювального процесу зварювання металів	16.10 - 16.11.18р.	
3.	Дослідження процесів та безпеки у надзвичайних ситуаціях	17.11 - 26.11.	
4.	Економічне обґрунтування науково-технічних, техніко-економічних, проектних та конструкторських рішень	27.11 - 03.12.18р.	

Студент

Керівник проекту (роботи)

 (підпис)

 Каданко А.В.
 (прізвище та ініціали)

 Овчаренко В.Ю.
 (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 88 с., 14 таблиць, 28 рисунків, 45 джерел.

Мета: теоретичне дослідження ізомерного росту зерен в однофазних та слобкогетерогенних металевих системах.

Розглянута сутність теоретичне дослідження ізомерного росту зерен в однофазних та слобкогетерогенних металевих системах. Визначені залежності розміру зерен від часу зміни механізму міграції та впливу дисперсних частинок надлишкової фази. Кінетика росту ізотермічних зерен, виходячи з модельних уявлень.

ЗЕРНО, ПОТЕНЦІАЛЬНІ ТА РЕАЛЬНІ СИЛИ, МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ,
ТОПОЛОГІЧНІ ДЕФЕКТИ, РУХОМІ ТА НЕ РУХОМІ ЧАСТИНКИ,
КІНЕТИКА РОСТУ ЗЕРЕН, ДИСПЕРСНІ ЧАСТИНКИ.

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Експериментальні та теоретичні дослідження, щодо міграції меж зерен та їх ізомерного росту	8
2. Нові моделі ізомерного росту зерен металевих систем	33
2.1. Потенціальні та реальні термодинамічні рушійні сили росту зерен	33
2.2. Геометричні моделі зеренної структури з урахуванням наявності топологічних дефектів	36
2.3. Кінетика росту ізомерних зерен, виходячи з модельних уявлень ..	44
2.3.1 Кінетика росту зерен за умови присутності з нерухомих дисперсних частинок надлишкових фаз	46
2.3.2 Кінетика росту зерен за умови присутності з рухомих дисперсних частинок надлишкових фаз	49
2.4. Комбінований ріст зерен при наявності частинок залишкових фаз	52
3. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	57
3.1 Аналіз потенційних небезпек	57
3.2 Заходи по забезпеченню безпеки	58
3.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	62
3.4 Заходи з пожежної безпеки	65
3.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях	67
4 Економічне обґрунтування наукового-технічних, технологічних, проектних та конструкторських рішень	71
4.1 Характеристика ринку матеріалу, що досліджується	71

4.2 Розрахунок кошторису витрат на практичну реалізацію дипломного проекту	73
4.2.1 Розрахунок вартості матеріалів	74
4.2.2 Спеціальне устаткування	75
4.2.3 Розрахунок заробітної плати	75
4.2.4 Бальна оцінка економічної ефективності проекту	78
Висновки	83
Перелік літератури	84

ВСТУП

У даному дипломному проекті розглянуто використання найбільш чистих матеріалів (Ni, Fe) і сплавів з додаванням рідкісноземельних металів.

Більш досконало розглянуто потологічний ріст зерен. Враховано ту обставину, що найбільш активними центрами росту кристалічної структури матеріалу, як активних центрів росту. Розглянуто топологічні дефекти будови, бо саме в цих містах виникли найбільш потужні реальні рушійні сили процесу росту зерен.

Але питання впливу надлишкових включень інших фаз розглянуто в науковій літературі достатньо поверхнево. Тому питання міграції міжзеренних границь в процесі росту зерен при наявності рухомих та нерухомих частинок інших фаз в плані конкуренції кінетик такого росту є достатньо нагальним і потребує додаткового розгляду. Цьому питанні присвячено робочі глави цих магістерських досліджень.

1 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ, ЩОДО МІГРАЦІЇ МЕЖ ЗЕРЕН ТА ЇХ ІЗОМЕРНОГО РОСТУ

Існують данні в літературних джерелах, які стосуються проведення з використання найбільш чистих матеріалів (Ni, Fe), в тому числі сплавів на підставі цих елементів з додаванням рідкісноземельних металів та ітрію, лантану, церконію.

Нікель і залізо є базовими елементами для жароміцних нікелевих матеріалів і широкого спектра сталей різного призначення. Ці елементи відрізняються типом кристалічної ґратки, що пояснює перелік відмінностей механізму знеміцнення сплавів на основі цих базових металів (знеміцнення залізних сплавів, як і інших з ГЦК-ґраткою, відбувається, в до рекристалізаційний період унаслідок розвитку полігонізаційних процесів і перерозподілу домішок впровадження між об'ємом і дефектами структури [3, 4]). Наявність у таких сплавах певних мікролегувальних добавок якимось позначиться на розвитку процесів знеміцнення. Тому спеціальний розгляд впливу мікродобавок, збагатить уявлення про механізм знеміцнення в мікролегованих металах. Особливий інтерес в цьому плані становлять рідкісноземельні елементи, оскільки останнім часом їх часто застосовують як мікродобавки, що істотно поліпшують властивості сплавів [5, 6].

Основні фізико-хімічні механізми дії рідкісно земельних металів (РЗМ) на властивості сплавів під час мікролегування і модифікування приведено в літературі (наприклад [7]), однак залишаються ще нез'ясовані моменти, що стосуються передусім мікролегувального ефекту від введення РЗМ, що потребує детальнішого опрацювання цього питання і передовсім уточнення особливостей взаємодії РЗМ із внутрішніми межами поділу в сплавах. Разом з елементами групи лантану, становить певний інтерес і розгляд мікролегувального впливу ітрію, який, незважаючи на різницю в

атомній масі, за хмічними вастивостями і значенням розмірного фактора близького до рідкісноземельних металів.

Як мікролегувальні елементи-антиподи (позитивно розмірні фактори або розчинності в металевій матриці), а також елементи з проміжними характеристиками, було вибрано реній і цирконій. Згідно з діаграмами стану, наведеними в роботах [8, 9], перший елемент в області розглядуваних концентрацій розчиняється у нікелі і залізі (в твердому стані) повністю, а другий – дуже обмежено. Крім того, обидва елементи мають високі температури плавлення і цікаві як мікродобавки, що підвищують жароміцність деяких сплавів [10, 11].

Набір основних характеристик базових металів і мікролегувальних елементів, використовуваних як найважливіші об'єкти дослідження, наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Властивості елементі, що входять до складу модельних сплавів

Елемент	Порядковий номер	Тем-ра плавлення, °C	Атомний радіус (K12), М ($\times 10^{-10}$)	Розчинність у нікелі (17,18)	Розчинність у залізі (17-19)
Нікель	28	1433	1,25	-	-
Залізо	26	1535	1,27	-	-
Лантан	57	920 $\pm$ 5	1,87	практично відсутня	<0,1% (ат.)
Церій	58	797	1,82	-	<0,4% (ат.)
Ітрій	39	1525 $\pm$ 25	1,81	0,14% (ат.); 0,28% (мас.)	<<1,0%(мас.)
Цирконій	40	1850	1,60	0,3% (ат.); <0,5% (мас.)	<0,3%(мас.)
Реній	75	3160	1,37	5,0% (ат.); 15,0% (мас.)	12% (ат.); 30% (мас.) при 680°C

Як показано в роботах [5, 12] невеликі добавки РЗМ у жароміцні сплави на нікелевій основі сприяють сфероїдизації примежових виділень іншої фази, що побічно підтверджує позитивну адсорбційну активність (горофільність) важкорозчинних РЗМ відносно нікелевої матриці складного складу. Практично ж, з огляду на нерозчинність таких мікродобавок у чистому нікелі (див. табл. 1.1) можна припустити їх горофільність і щодо останнього.

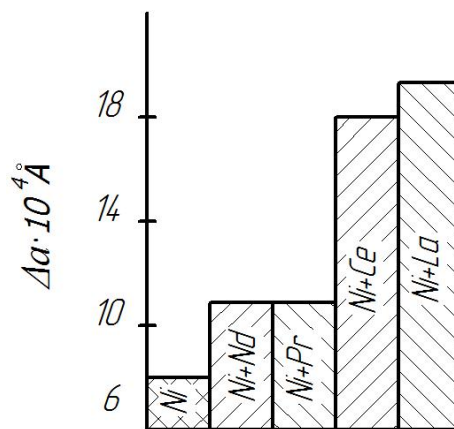


Рисунок 1.1 – Зміна періоду кристалічної ґратки нікелю під час мікролегування РЗМ (сплави 0-4)

На рис. 1.1 показано зміни періоду ґратки нікелю під час легування його РЗМ. Збільшення періоду ґратки у разі зменшення загальної протяжності меж зерен, тобто зменшення об'єму міжкристалітних перехідних зон, очевидно, підтверджує горофільність Nd, Pr, Ce і La відносно нікелю.

Таким самим доказом горофільності атомів РЗМ є чітко виражена дифузія їх по межах зерен, що виявляється в особливому характері фронту дифузії церію (поява виступів на мікрофотографії нікелю рис. 1.2)

Сегрегація горофільних домішок по межах зерен, як прийнято вважати, сприяє зменшенню термодинамічного стимулу до росту зерен у процесі

збиральної рекристалізації, оскільки накопичення домішок у примежових зонах пов'язують зі зменшенням надлишкової вільної енергії останніх.

Крім того, окрім коттрелівської та електричної взаємодії розчинених атомів із межею зерна, міграція останньої в процесі росту зерен повинна сильно змінитися, оскільки переміщуючись, межа повинна захоплювати атмосферу домішок.

Тому слід очікувати, що введення мікродобавок РЗМ у нікель повинно уповільнити процес міграції меж за збиральної рекристалізації (порівняно з нікелем без добавок).

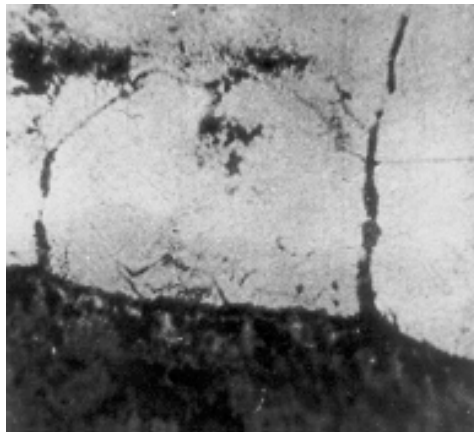


Рисунок 1.2 – Дифузія церію по межах зерен карбонільного нікелю при 850 °C за 32 год ($\times 300$)

Проте дані, отримані для електrolітичного нікелю і його сплавів із концентрацією мікродобавок Nd, Pr, Ce, La 0,21 ат.% показали, що всі без винятку мікродобавки зменшують питому поверхню меж зерен (зниження ступеня впливу відповідає зазначеній послідовності), що приводить, зрештою, до збільшення розміру зерна сплаву нікель-РЗМ (після закінчення збиральної рекристалізації).

Введення мікродобавок РЗМ у вказаній кількості підвищує відносну енергію меж зерен, причому в деяких випадках це підвищення досягає 17%.

Розрахунок відносної зерномежової енергії різними вказаними вище способами показав ідентичність характеру її зміни і задовільне узгодження отриманих результатів.

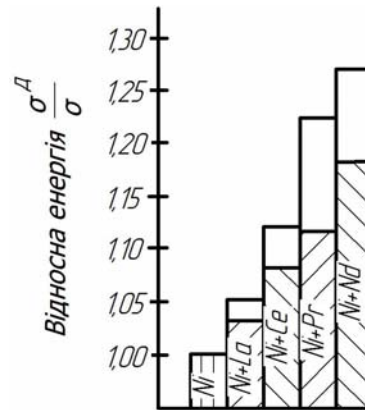


Рисунок 1.3 – Зміна відносної енергії меж зерен у разі мікролегування його РЗМ (сплави 0-4)

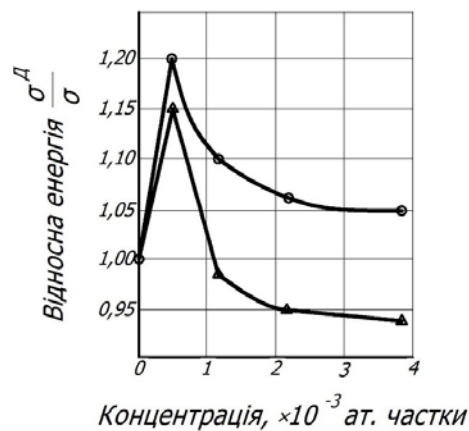
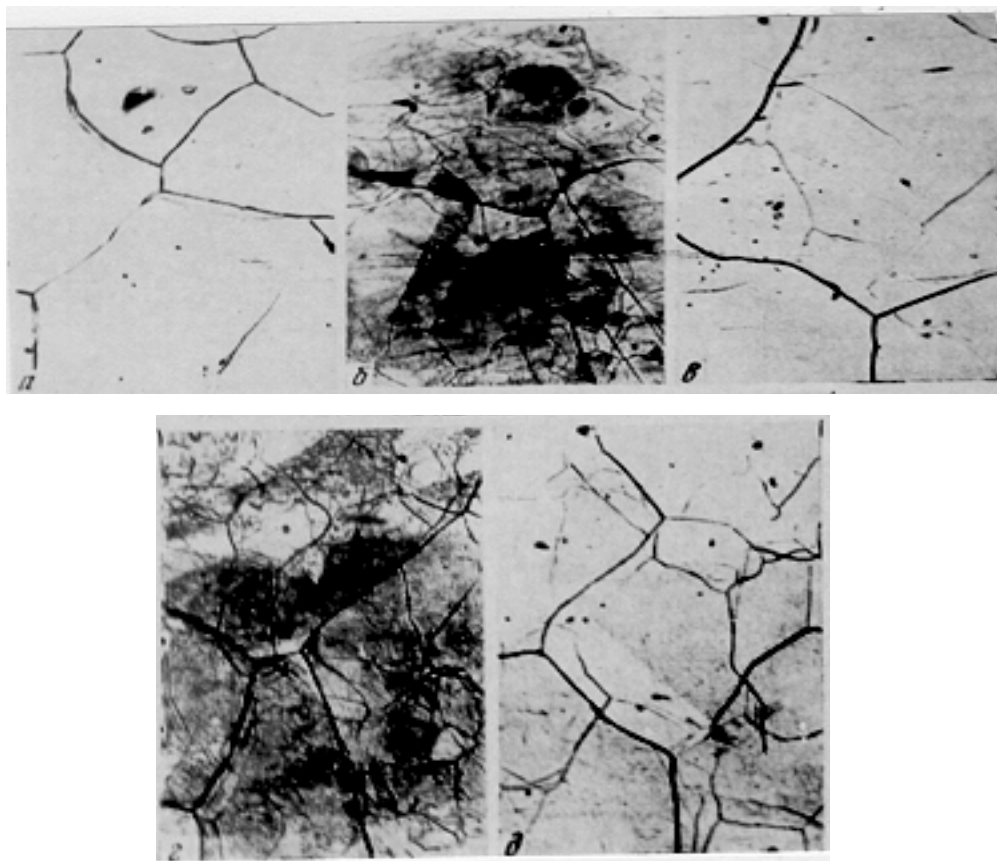


Рисунок 1.4 – Концентраційні криві відносної зерномежової енергії карбонільного нікелю, мікролегованого РЗМ

Визначення концентраційної залежності в середовищі мікродобавки Се або La 0,05 ат.% (рис. 1.4) [1,2]. Подальше підвищення вмісту мікродобавок вже приводить до зниження відносної енергії меж зерен нікелю. Однак розмір зерен карбонільного нікелю, які вирости в процесі збиральної рекристалізації, пропорційний до величини відносної енергії (рис. 1.5).

Аналогічна картина спостерігається і у разі мікролегування РЗМ карбонільного заліза [13, 14].



а – чистий (99,99% нікель; б – $\text{Ni} + 4,0 \times 10^{-4}$ ат. частки Nd;
в – $\text{Ni} + 4,0 \times 10^{-4}$ ат. частки Pr; г – $\text{Ni} + 4,0 \times 10^{-4}$ ат. частки Se;
д – $\text{Ni} + 4,0 \times 10^{-4}$ ат. частки La)

Рисунок 1.5 – Мікроструктура чистого і мікролегованого нікелю після відпалення за 1000°C ($\times 150$)

Невеликі добавки РЗМ внаслідок малої розчинності в нікелі (через високу невідповідність атомних діаметрів 35) розташовуються переважно по межах зерен різко збільшуючи зерномежову енергію (якщо припустити, що товщина межі зерна – тільки 3%ат. шари 36) рис 1.4. Проте ступінь підвищення вільної енергії при цьому має біти меншим, ніж, у разі

підвищення атомів РЗМ у твердому розчині, тобто розподіл таких атомів уздовж різних меж забезпечує системі відносний мінімум вільної енергії.

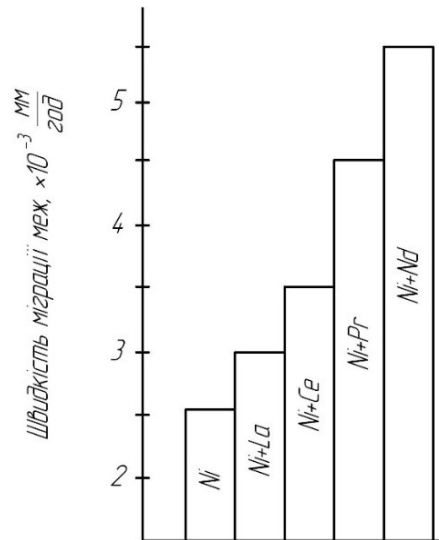


Рисунок 1.6 – Вплив мікродобавок РЗМ на швидкість міграції меж зерен нікелю (99,99% чистота)

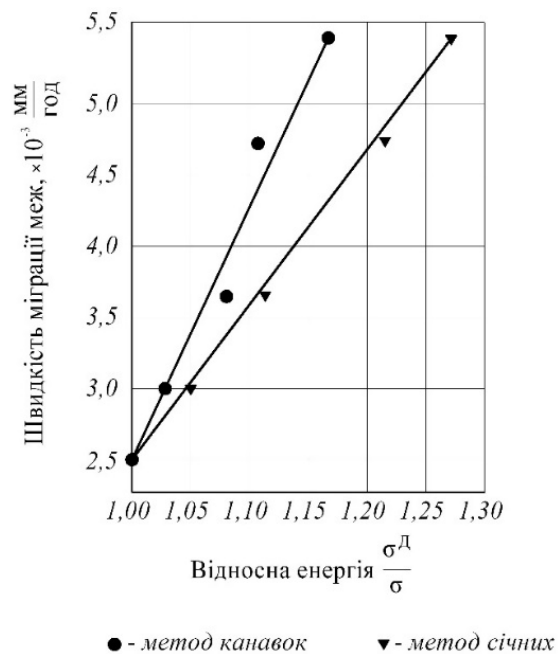


Рисунок 1.7 – Залежність швидкості міграції меж мікролегованого електролітичного нікелю ($\text{Срзм} = 4,0 \times 10^{-4}$ ат. частки) від відносної зерномежової енергії

Отже, після введення деякої критичної кількості РЗМ у нікель або залізо помітно пришвидшується процес міграції меж зерен [15-18] (рис 1.6, 1.7) Поряд з цим, підвищується (згідно з розрахунку) і відносна зерномежова енергія (за умови горофільності РЗМ ця енергія повинна знижуватися) [наприклад, 12]

Подальше збільшення кількості мікродобавок РЗМ призводить до зростання їх концентрації по межах, що сприяє, утворенню (починаючи з певного вмісту) в примежовій зоні субмікроевиділень хімічної сполуки типу MeNi_6 , які зв'язують мікродобавки, раніше розташовані по межах зерен. Наслідком цього буде зниження зерномежової енергії рушійної сили міграції.

Зі сказаного вище випливає, що невеликі добавки РЗМ у нікель (залізо) збільшують термодинамічний стимул до росту зерна. За деякого вмісту добавки ($C_{\text{кр}}$) рушійна сила міграції може стати значно більшою за силу, що стримує міграцію, завдяки взаємодії меж з мікродобавками. В цьому випадку швидкість росту зерна в системі метал-РЗМ буде вищою. Ніж у чистому металі.

Якщо вміст РЗМ більший за критичну концентрацію, сила опору міграції значно збільшується, а термодинамічний стимул росту зменшується (внаслідок зменшення величини зерномежової енергії). Це істотно уповільнює темп міграції меж.

Отже, будь-які малі добавки РЗМ в нікель або залізо, сегрегуючи на міжзеренних межах, збільшують їх вільну енергію. Скоріш за все головною причиною такого підвищення енергії меж є збільшення рівня їх пружних спотворень (і без того доволі значного) [21, 22]. Хоча наші подальші міркування стосуватимуться тільки одного домішкового (мікролегувального) елемента лантану, вони залишаться правильними і для всіх інших елементів його ряду, а також близького до них за фізичними характеристиками ітрію.

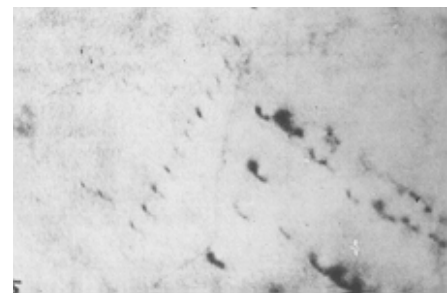
Незважаючи на збільшення зерномежової енергії, така сегрегація атомів лантану термодинамічно вигідна, оскільки забезпечує системі

найменший запас сумарної вільної енергії (хоча цей запас і підвищений порівняно з енергією чистої системи). А випадковий розподіл вказаних атомів у ґратці матриці (в разі утворення твердого розчину заміщення) повинен спричиняти (як показано вище) суттєве збільшення вільної енергії системи через додатковий вплив її пружної компоненти, оскільки фактор розмірної невідповідності атомів нікелю і лантану відіграє в цій ситуації вирішальну роль. При цьому внесок пружної енергії в загальний баланс системи помітно перекидає сприятливий для неї вплив фактора конфігураційної ентропії навіть для дуже низького вмісту лантану.

Зниження зерномежової енергії нікелю за вмісту лантану, що перевищує екстремальне значення, мабуть, можна пов'язати з пересиченням цих елементом меж зерен, що приводить до утворення субмікроевиділень типа LaNi_5 [8] (рис. 1.8а) завдяки чому зменшується гранична концентрація РЗМ. Таке ж явище повинне спостерігатися на мало кутових межах і окремих дислокаціях(рис. 1.8 б)



а



б

Рисунок 1.8 – Субмікроевиділення по межах зерен блоків нікелю при вмісті лантану (церію) $4,0 \times 10^{-4}$ ат. часток ($T=1000$ К, $\tau=3$ год); $\times 3000$

Оцінимо сутність заповнення меж зерен матриці лантаном внаслідок проявлення ним ефекту позитивної адсорбції.

Об'єм атомів нікелю і лантану за атомної концентрації лантану дорівнює

$$V_N = V_{La}cN + V_M(1-c)N, \quad (1.1)$$

де V_{La} і V_M - об'єм ГЦК ґратки, що припадає відповідно на один атом лантану і металу матриці (нікель, залізо) ($V_{La} = 36,5\text{\AA}^3$; $V_{Ni} = 11\text{\AA}^3$; $V_{Fe} = 11,7\text{\AA}^3$); c – атомна концентрація лантану в нікелі; N – загальна кількість атомів у системі.

Тоді кількість атомів лантану в одиниці об'єму буде такою

$$n_{La}' = c / (V_{La}c + V_M(1-c)) \quad (1.2)$$

А кількість атомів лантану, що сегрегують до повного насичення на крайових компонентах дислокацій в одиниці об'єму, можна оцінити за допомогою рівняння

$$n_{La}' = \rho / (2mb) = 3 / (2mbD^2) \quad (1.3)$$

де; D – величина блоків; b – вектор Бюргерса; m – коефіцієнт, що враховує невідповідність атомів обох металів ($m=1,5$); ρ – середня густина крайових та гвинтових дислокацій.

Очевидно, що кількість атомів лантану (в межах одиниці об'єму), які сегрегують на міжзеренних межах, становитиме різницю

$$n_{La}^{\Gamma} = n_{La} - n_{La}'$$

Якщо допустити [19], що одна третина вузлових позицій на межі має збільшений об'єм, одна третина зменшений і одна третина не зазнала

жодних помітних змін порівняно з вузловими позиціями у внутрішніх областях матриці, то кількість вакантних місць, в яких можуть розміщуватися атоми лантану, становитиме

$$N_V^\Gamma = S_V t / 3V_M \quad (1.4)$$

Де S_V – питома поверхня меж зерен; t – ширина межі.

«Граничну концентрацію» лантану (ступінь заповнення вакантних місць) можна записати у вигляді співвідношення

$$c_{La}^\Gamma = (n_{La} - n_{La}^0) / n_V^\Gamma \quad (1.5)$$

Очевидно, що рівність $c_{La}^\Gamma = 1$ означає заповнення лантаном вакантних вузлів на мжах матриці. Якщо $c_{La}^\Gamma = 1$, ймовірно, легко виникатимуть концентраційні флуктуації, які полегшують утворення надлишкової фази з лантаном ($LaNi_5$), що повинно приводити до зниження зерномежової енергії.

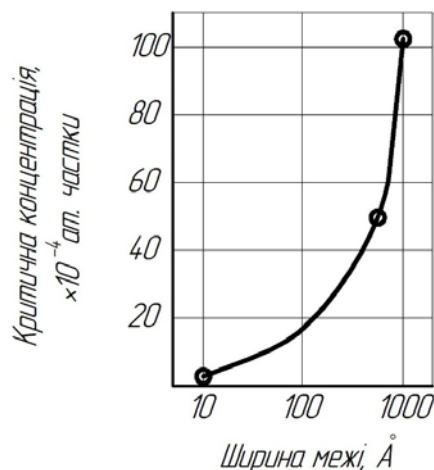


Рисунок 1.9 – Залежність критичної концентрації від фізичної ширини міжзеренної межі

З рівнянь 1.4 та 1.5 випливає, що «Гранична концентрація» лантану обернено залежить від ширини межі, тобто від її розрихленості, яка, своєю чергою, залежить від ступеня і виду легування. Чим розрихленішою є межа, тим вищою має бути критична концентрація лантану в сплавi Скр, що забезпечує рівність $c_{La}^{\Gamma}=1$. На рис. 1.9 показано залежність Скр від ширини межі. Основні експериментальні дані для розрахунку: $D = 10^{-4}$ мм; $b = 3,53 \text{ \AA}$; $S_v = 300 \text{ мм}^2/\text{мм}^3$.

З розрахунків випливає, що для чистого нікелю, ширина меж якого становить величину 3-4 атомних діаметри [19], тобто близько $10 \text{ \AA}$, $S_{cr} = 1,06 \cdot 10^{-4}$ ат. Часток, що наближається до концентрації РЗМ, за якої спостерігається максимальне збільшення відносної зерномежової енергії рис.1.4.

Аналогічні розрахунки можна зробити і для ітрію, церію, як добавки і заліза як розчинника. Критична концентрація ітрію в нікелі, згідно з ідентичним розрахунком (якщо $S_v = 100 \text{ мм}^2/\text{мм}^3$), становить $S_{cr} = 0,6 \cdot 10^{-4}$ ат. частот приблизно в два рази менше, ніж у разі присутності в тому є нікелі лантану, оскільки експериментальні значення питомої поверхні меж у сплавах нікелю з лантаном втричі вищі ($300 \text{ мм}^2/\text{мм}^3$)

Таблиця 1.2 – Критична концентрація лантану, церію та ітрію в залізі

Питома поверхня меж $\text{мм}^2/\text{мм}^3$	Розмір субзерен (блоків) D, мм		
	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}
	$S_{cr} \times 10^4$, ат. частка		
30	8,4	0,2	0,19
100	8,5	0,4	0,51
300	9,2	1,1	0,92

Отже, експериментальні дані й оцінювальні розрахунки показують, що додавання малих кількостей лантану або інших РЗМ у нікель, залізо

приводить до утворення стійких сегрегацій на межах зерен, незважаючи на підвищення зерномежової енергії. Цей факт підтверджує висновок роботи [20] про те, що похідна вільної енергії за концентрацією не обов'язково має бути від'ємною. У разі суцільного заповнення меж атомами лантану подальше утворення хімічних сполук приводить до зменшення зерномежової енергії.

Залежність границі міцності та відносного поперечного звуження від концентрації РЗМ (рис. 1.10). Різке зменшення міцності й пластичності спостерігається за такого загального вмісту лантану, церію або інших РЗМ, коли на межах утворюється майже моноатомний шар, що призводить до їх окрихчування (тобто провал властивостей спостерігається після досягнення критичної концентрації).

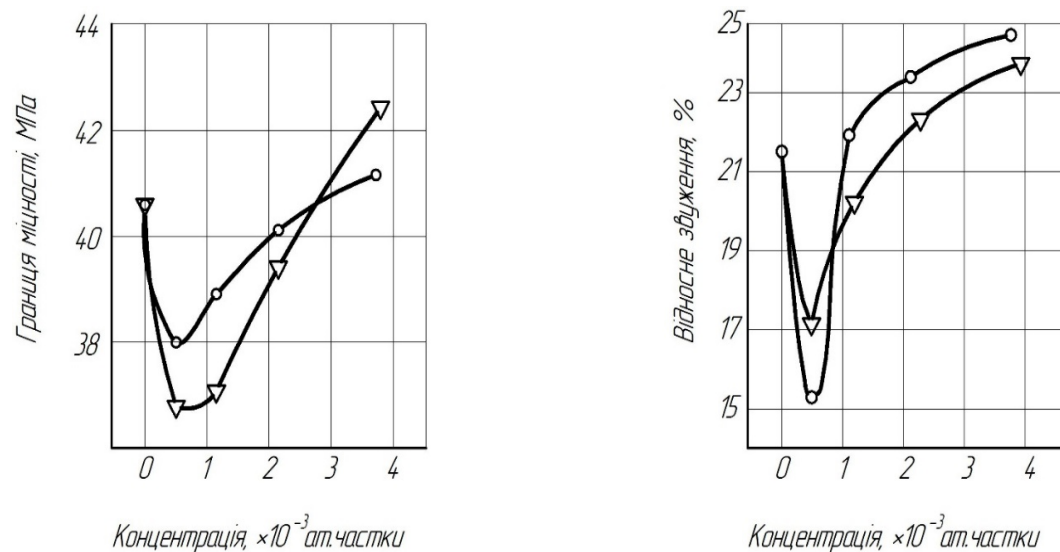


Рисунок 1.10 – Вплив лантану і церію на механічні властивості нікелю високої вихідної чистоти (99,9999%)

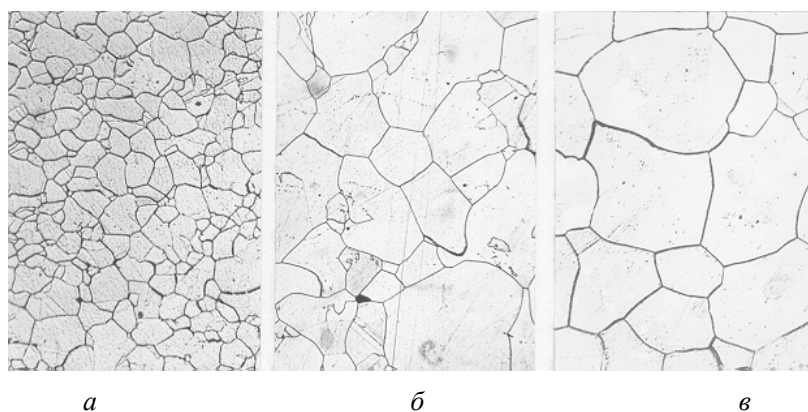
Як наголошено вище, добавки лантаноїдів у електролітичний нікель приводили до підвищення відносно зерномежової енергії (ВЗМ). Проте вичленення чистих та індивідуалізованих ефектів, які пов'язані з цим цікавим, і, на нашу думку, важливим проявом наслідків процесу

мікролегування, можна здійснити тільки у разі використання гранично чистих базових металів (нікелю, заліза) для отримання різних модельних систем метал-мікродобавка.

Всі перераховані вище елементи-добавки розрізняються як розчинністю в металі-основі (лантаноїди та ітрій слабо або практично нерозчинні в обох металах-основах), так і декількома іншими фізико-хімічними характеристиками (температура плавлення, питомий об'єм, атомна маса тощо (див. табл. 1.1)). Це, природно, повинно в нести до загальної або часткової тенденцій впливи елементів-адсорбатів на енергетичні характеристики міжзеренних меж й інші важливі параметри, які так або інакше пов'язані з внутрішніми межами поділу, певні корективи, неоднакові для різних мікролегувальних елементів.

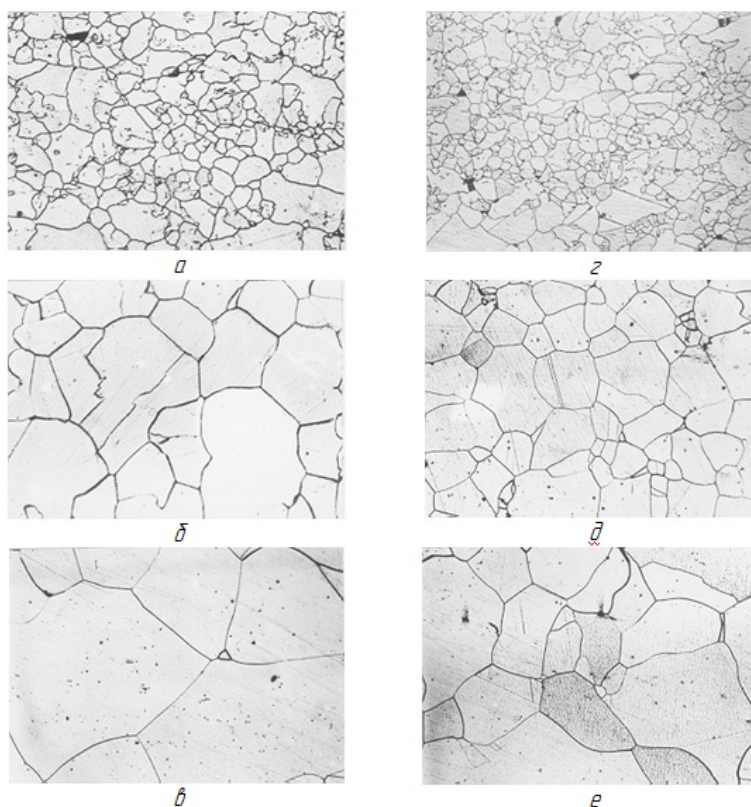
Останнім завданням цього дослідження була побудова концентраційних кривих ВЗЕ; причому визначати відносну зерномежову енергію планували як з використанням спеціально розробленої для цієї та аналогічних цілей методики, так і за методом канавок (з метою незалежного підтвердження тенденцій, що виявляються). Крім того, було цікаво зіставити характер зміни ВЗЕ з мікроструктурною картиною розвитку процесу росту зерен (особливо на стадії збиральної рекристалізації).

Рекристалізаційний нагрів заздалегідь деформованих стискуванням (50%) зразків мікролегованого нікелю (сплави 100-111) і заліза (сплави 200-218) здійснювали за температур 500...620 у соляній ванна. Зраки відпалювали і зупиняли для визначення питомої поверхні меж зерен. [див. також 24-26]. Про зміну розміру зерен у часі (на стадії збирального росту) в деяких з вибраних для вивчення модельних бінарних системах можна робити висновки на підставі мікроструктур, наведених на рис. 1.11-1.13.



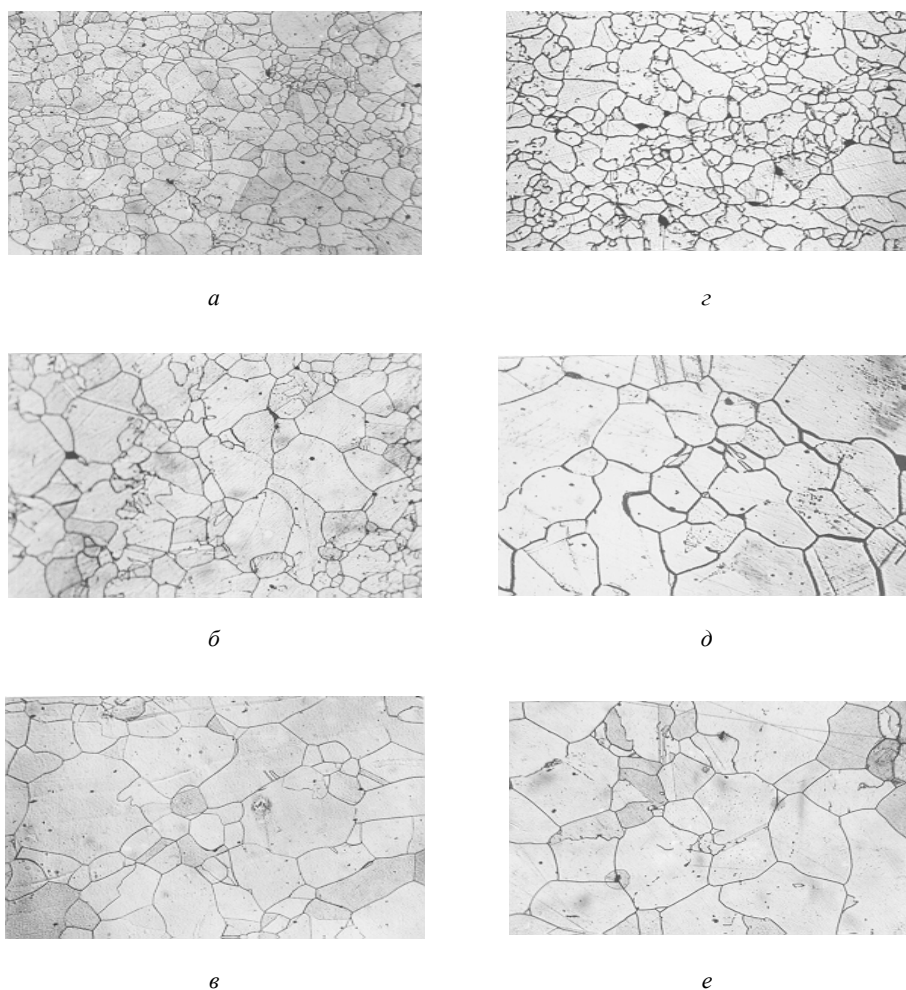
a – 4 хв.; *б* – 10 хв.; *в* – 180 хв

Рисунок 1.11 – Мікроструктура чистого нікелю після відпалу за температури 600°C; $\times 200$



a, г – 4 хв., *б, д* – 10 хв., *в, е* – 180 хв.

Рисунок 1.12 – мікроструктура нікелю, міеролегованого ітрієм (а, б, в – $0,8 \times 10^{-4}$ ат. часток мікродобавки; г, д, е – $6,0 \times 10^{-4}$ ат. часток мікродобавки), після відпалу за температури 600°; $\times 200$



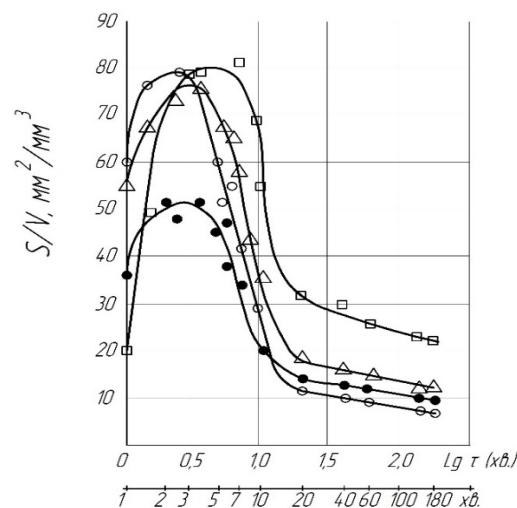
a, г – 10 хв.; б, д – 60 хв.; в, е – 250 хв.

Рисунок 1.13 – мікроструктура нікелю, мікролегованого 60×10^{-4} ат. часток ренію (а, б, в) і 30×10^{-4} ат. часток цирконію (г. д, е) після відпалу за 600° ; $\times 115$

Максимум кривих $S_v(\tau)$ практично для всіх систем нікель-мікродобавка легувального елемента мають більші за величиною ординати, ніж у випадку чистого нікелю (рис.1.14); це свідчить про подрібнення зерна мікродомішками на стадії завершення первинної рекристалізації. Така є тенденція простежується і в системі Fe-Y (рис. 1.15) а також у сплавах систем Fe-Se та Fe-La, проте вона у всіх цих випадках виражена слабше. Сильніше подрібнення зерна в нікелевих сплавах порівняно з системами на основі

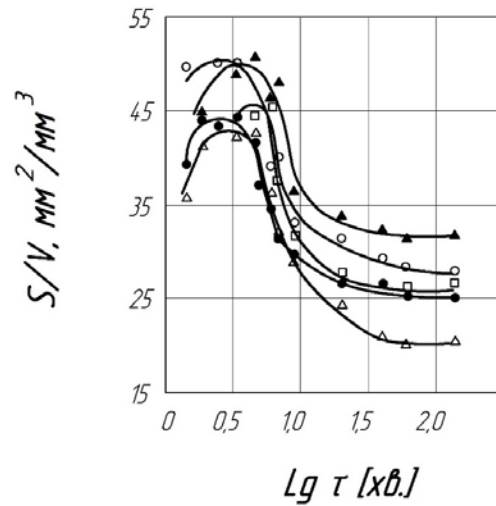
заліза зумовлено, ймовірно, певними відмінностями у перебігу рекристалізаційних процесі у металах з ОЦК і ГЦК ґратками, що не останньою чергою, пов'язано і з відмінностями в значеннях питомої зерномежової енергії зародків рекристалізації. Є інформація про те [23], що за однакових приведених (гомологічних) температур коефіцієнти самодифузії в ОЦК-металах вище, ніж в металах з ГЦК ґраткою, а це полегшує проходження початкових стадій рекристалізаційного процесу. Вказується також, що значне подрібнення зерна в зоноочищеному залізі відбувається, лише якщо деформації перевищують 50%.

Зазначимо, що за вмісту в нікелі та залізі мікродобавки РЗМ (церію, лантану) або ітрію, дорівнює або приближається до критичної концентрації $0,8 \cdot 10^{-4}$ ат. частки, кінці кривих S_v (завершальний етап збирального росту зерен) розташовується нижче, ніж відповідні ділянки тих самих кривих для чистого нікелю або заліза.



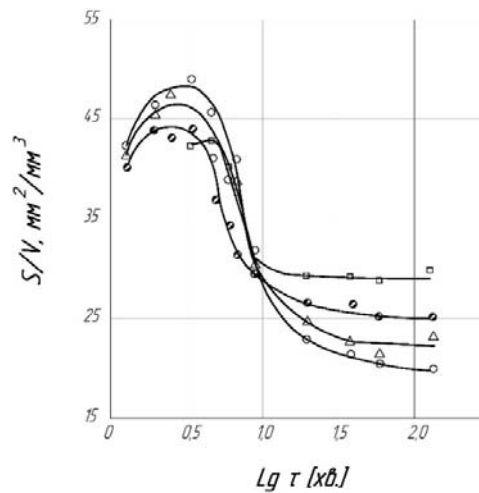
● – нікель; ○ – нікель + $0,8 \cdot 10^{-4}$ ат. частки ітрію;
 Δ – нікель + $2,0 \cdot 10^{-4}$ ат. частки ітрію; □ – нікель + $6,0 \cdot 10^{-4}$ ат. частки ітрію

Рисунок 1.14 – Залежність питомої поверхні меж зерен чистого та мікролегованого нікелю від часу відпалу при 600°C



● – залізо; Δ – залізо + $0,4 \cdot 10^{-4}$ ат. частки ітрію; $\square$ – залізо + $0,8 \cdot 10^{-4}$ ат. частки ітрію; $\circ$ – залізо + $2,0 \cdot 10^{-4}$ ат. частки ітрію; $\blacktriangle$ – залізо + $6,0 \cdot 10^{-4}$ ат. частки ітрію

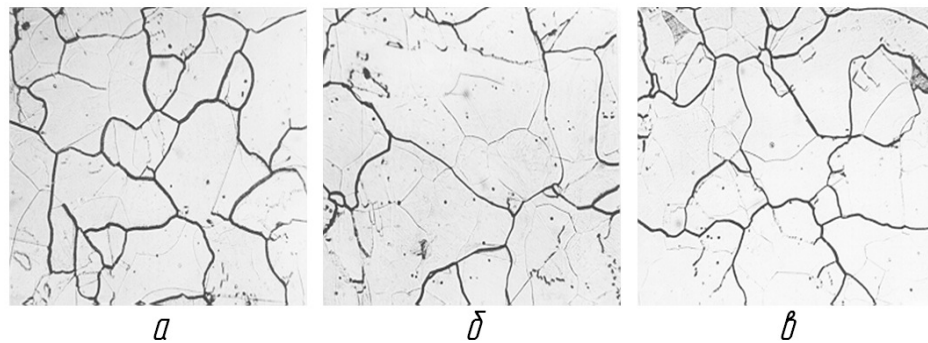
Рисунок 1.15 – Залежність питомої поверхні меж зерен чистого та мікролегованого заліза від часу відпалу при 600°C



● – залізо; Δ – залізо + $0,4 \cdot 10^{-4}$ ат. частки лантану; $\circ$ – залізо + $0,8 \cdot 10^{-4}$ ат. частки лантану; $\square$ – залізо + $6,0 \cdot 10^{-4}$ ат. частки лантану

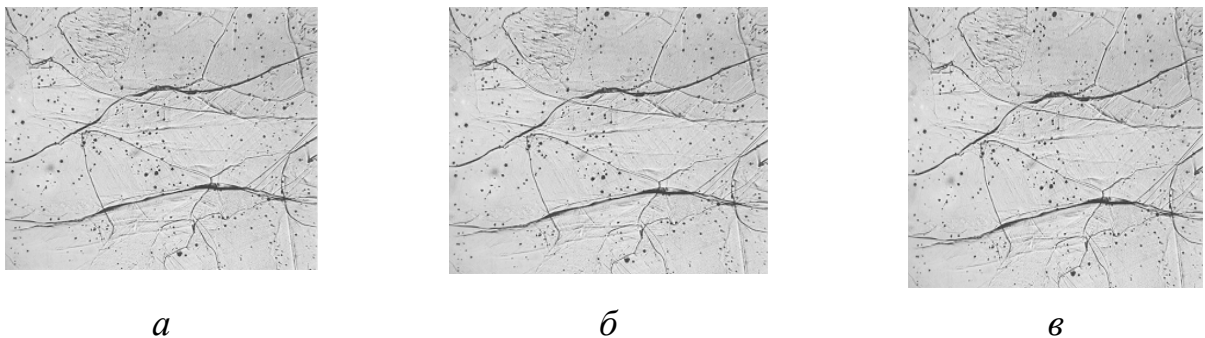
Рисунок 1.16 – Залежність питомої поверхні меж зерен чистого та мікролегованого заліза від часу відпалу при 600°

Усі залежності питомої поверхні меж зерен S_v від часу відпалу τ були кривими з максимумами (рис. 1.14-1.16). Ділянки таких кривих, що простягаються до максимальної ординати, відповідають етапу первинної рекристалізації праві ж, спадні їх кривих характеризують кінетику росту зерен у процесі вже збиральної рекристалізації.



a – чистий Ni; *б* – Ni + $0,8 \cdot 10^{-4}$ ат. частки Y; *в* – Ni + $6,0 \cdot 10^{-4}$ ат. частки Y

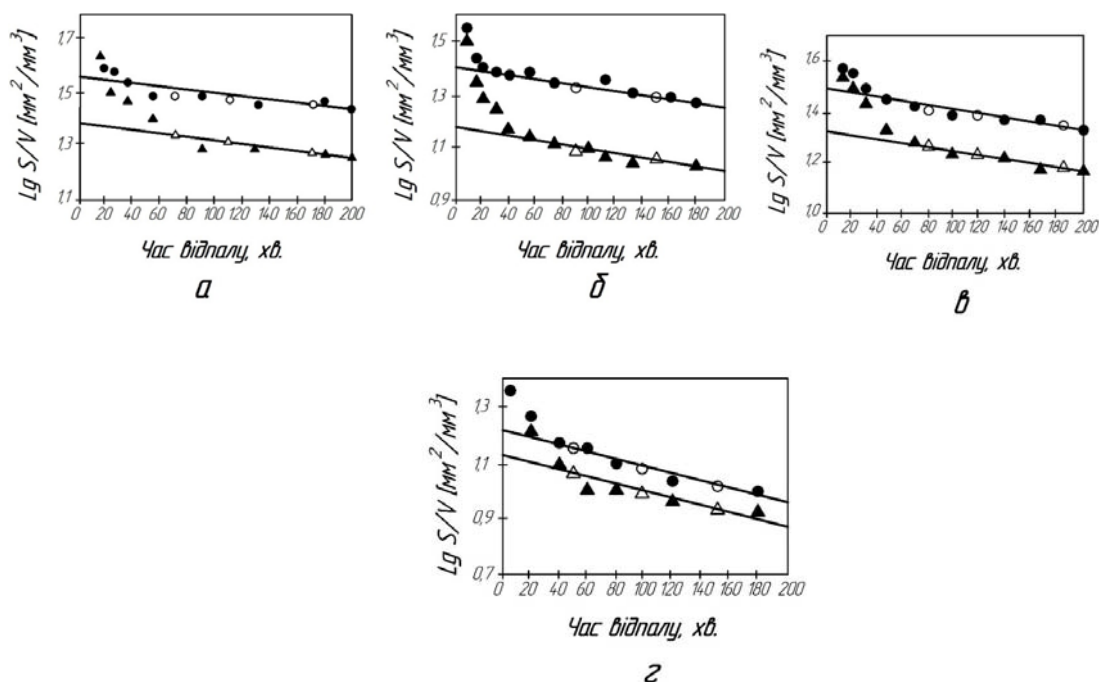
Рисунок 1.17 – мікроструктура нікелевих сплавів після вакуумного травлення (950°C, 2 год); $\times 70$



a – чисте Fe; *б* - Fe + $0,8 \cdot 10^{-4}$ ат частки Se; *в* – залізо + $6,0 \cdot 10^{-4}$ ат частки Se

Рисунок 1.18 – Мікроструктура залізних сплавів після вакуумного травлення (900°C, 2 год), $\times 70$

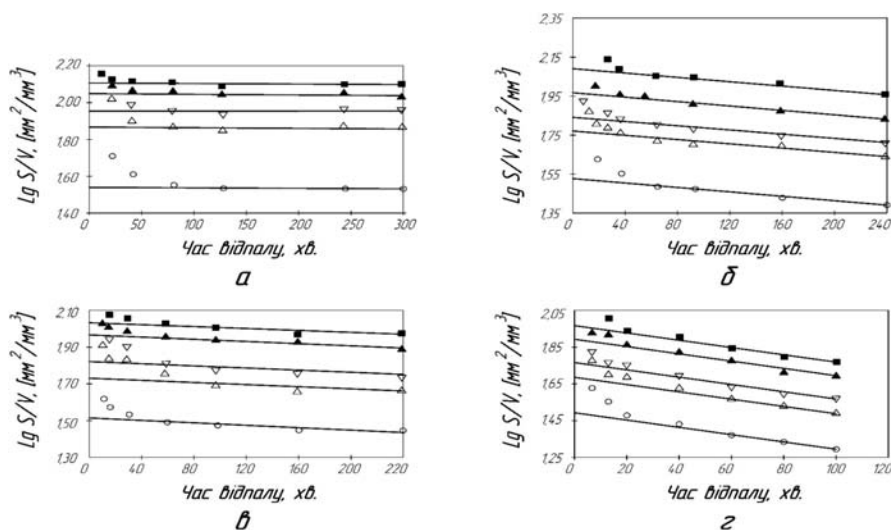
На рис. 1.17-1.18 зображено мікроструктури чистих і мікролегованих ітрієм і церієм металів після високотемпературного вакуумного травлення.



●, ○ – чистий Ni; ▲, △ – Ni + 0,8·10⁻⁴ ат. частки Y (темні точки відповідають експериментальним даним, світлі – згладженим кривим $S_v(\tau)$)

Температура відпалу: а – 540 °C; б – 560 °C; в – 580 °C; г – 620 °C

Рисунок 1.19 – Часові залежності логарифма питомої поверхні меж зерен

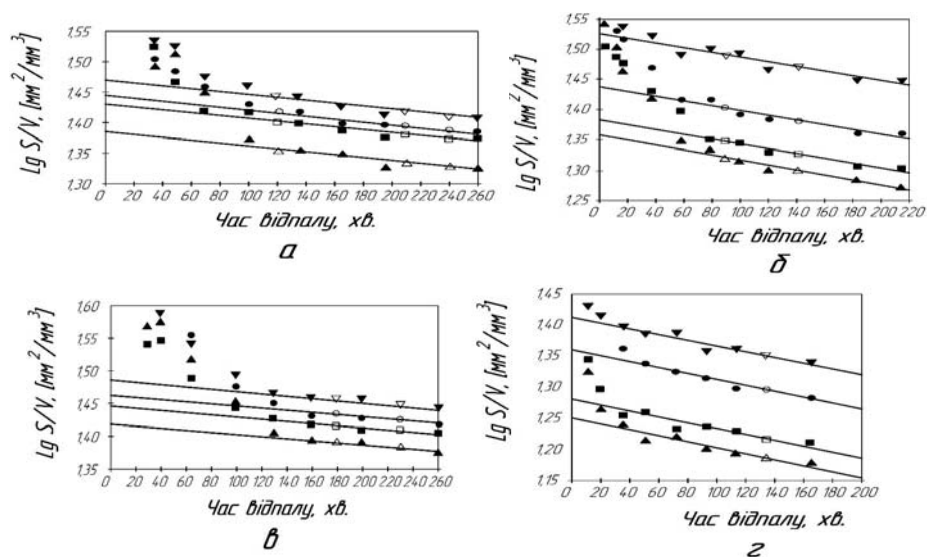


○ – чистий Ni; △ – Ni + 0,4·10⁻⁴ ат. частки Ce; ▽ – Ni + 0,8·10⁻⁴ ат. частки Ce;

▲ – Ni + 0,4·10⁻⁴ ат. частки Re; ■ – Ni + 2,0·10⁻⁴ ат. частки Re

температура відпалу: а – 500 °C; б – 550 °C; в – 580 °C; г – 620 °C

Рисунок 1.20 – Часові залежності логарифма питомої поверхні меж зерен

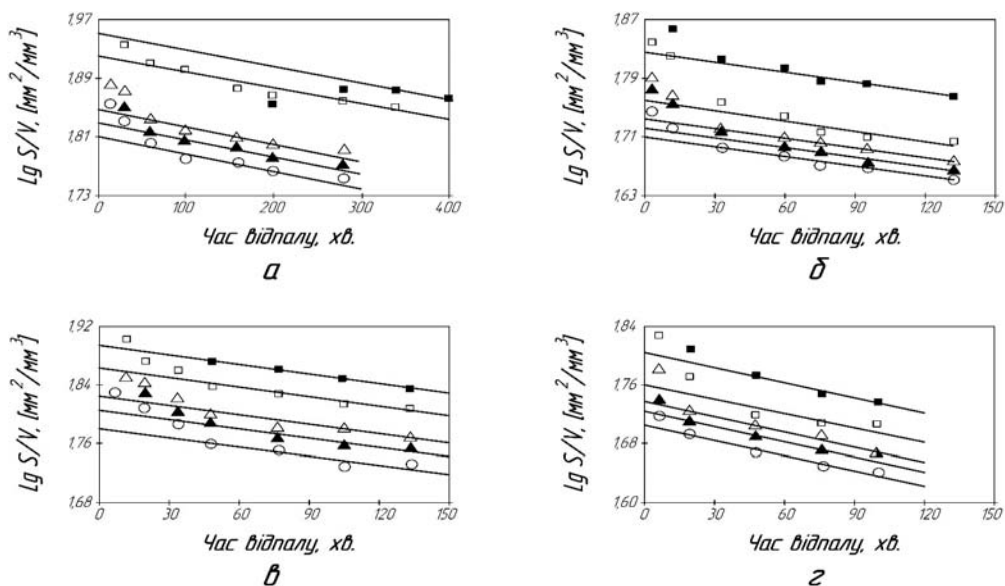


●, ○ – чисте Fe; ■, □ – Fe + $0,4 \cdot 10^{-4}$ ат. частки La;

▲, Δ – Fe + $0,8 \cdot 10^{-4}$ ат. частки La; ▼, ▽ – Fe + $0,4 \cdot 10^{-4}$ ат. частки Y

Температура відпалу: а – 540 °C; б – 560 °C; в – 580 °C; г – 620 °C

Рисунок 1.21 – Часові залежності логарифма питомої поверхні меж зерен



○ – чисте Fe; ▲ – Fe + $0,8 \cdot 10^{-4}$ ат. частки Re;

■ – Fe + $60,0 \cdot 10^{-4}$ ат. частки Re; Δ – Fe + $0,8 \cdot 10^{-4}$ ат. частки Zr;

□ – Fe + $30,0 \cdot 10^{-4}$ ат. частки Zr

Температура відпалу: а – 550 °C; б – 570 °C; в – 600 °C; г – 620 °C

Рисунок 1.22 – Часові залежності логарифма питомої поверхні меж зерен

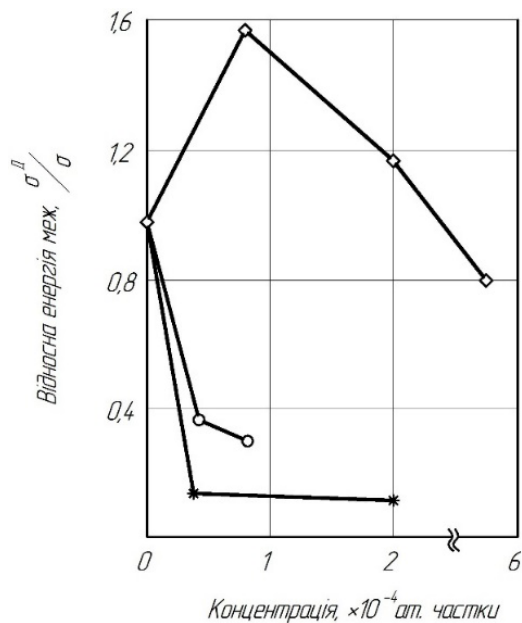


Рисунок 1.23 – Концентраційні залежності відносної зерномежової енергії в системах нікель-ітрій ($\square$), нікель-цирконій ($\circ$), нікель-реній ($*$)

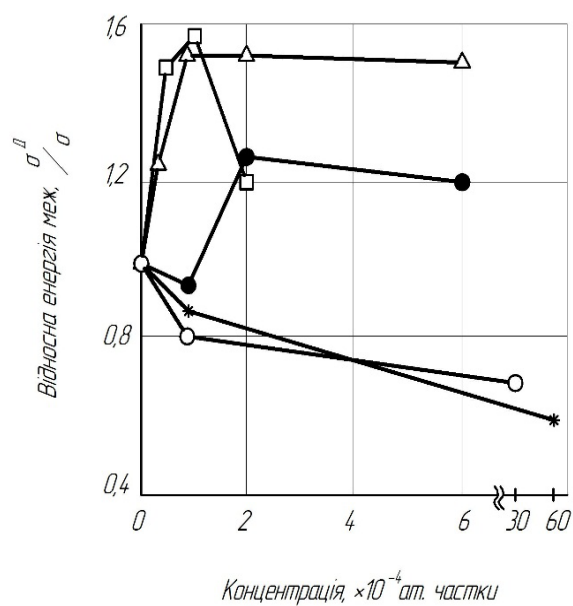


Рисунок 1.24 – концентраційні залежності відносної зерномежової енергії в системах залізо-ітрій ($\square$), залізо-цирконій ($\circ$), залізо-реній ($*$), залізо-церій ($\bullet$), залізо-лантан (Δ)

Отже, величина зерна до кінця відпалу, а значить, і швидкість міграції меж у зразків сплавів з таким вмістом мікролегувального елемента більша, ніж у чистого нікелю (заліза). Це видно на рис. 1.12 мікроструктурами зразків після тривалого відпалу. Головну причину такої поведінки матерів під час нагрівання, мабуть, треба шукати в екстремальному "виписку" зерномежової енергії, що і підтвердилося відповідними розрахунками і вимірюваннями. Аналогічні результати, що ілюструють гранично інтенсивних ріст зерен за заданих умов експерименту, отримано і на зразках після відпалу у вакуумі.

Невелике додавання РЗМ у нікель (залізо) збільшує термодинамічний стимул до росту зерна. Швидкість росту зерна в системі РЗМ-метала вище, ніж у чистому металі.

Якщо вміст РЗМ більший за критичну концентрацію, сила опору міграції збільшується, а термодинамічний стимул росту зменшується, внаслідок зменшення величини зерномежової енергії.

Отже, будь-які малі додавання РЗМ в нікель або залізо, сегрегують на межзерених межах, збільшують їх вільну енергію.

Виходячи з експериментальних даних й розрахунків показують, що додавання малих кількостей лантану або інших РЗМ у нікель (залізо), призводить до утворення стійкості сегрегацій на межах зерен незважаючи на підвищення зерномежової енергії. Уразі суцільного заповнення меж атомами лантану подальше утворення хімічної сполуки призводить до зниження зерномежової енергії.

Залежність границі міцності та відносного поперечного звуження від концентрації РЗМ.

Різьке зниження міцності й пластичності спостерігається за вмістом лантану, церію та інших РЗМ, коли на межах утворюються моноатальний шар, що призводить до окрихчування.

Таблиця 1.3 – Числові оцінки відносної зерномежової енергії (ВЗМ) отримані за допомогою аналізу кривих $S_v(\tau)$ і методу канавок

№	Склад (базовий метал + Л.Е., ат частка $\times 10^{-4}$)	Температура , °C	ВЗЕ	
			З кривих $S_v(\tau)$	Метод канавок
1	Fe+0,4La	600	1,26±0,05	1,26±0,08
2	Fe+0,8La	600	1,54±0,06	-
3	Fe+2,0La	600	1,54±0,12	1,13±0,10
4	Fe+6,0La	600	1,52±0,12	1,03±0,11
5	Fe+0,8Ce	600	0,92±0,04	1,25±0,12
6	Fe+2,0Ce	600	1,26±0,07	1,04±0,12
7	Fe+6,0Ce	600	1,20±0,09	1,01±0,09
8	Fe+0,4Y	600	1,51±0,07	1,29±0,07
9	Fe+0,8Y	600	1,55±0,08	1,22±0,09
10	Fe+2,0Y	600	1,19±0,07	1,01±0,09
11	Fe+0,8Re	570	0,88±0,14	1,98±0,10
12	Fe+60,0Re	570	0,59±0,16	-
13	Fe+0,8Zr	570	0,80±0,12	-
14	Fe+30,0Zr	570	0,67±0,13	-
15	Ni+0,8Y	600	1,58±0,09	1,13±0,05
16	Ni+2,0Y	600	1,18±0,11	1,04±0,08
17	Ni+6,0Y	600	0,79±0,13	1,01±0,09
18	Ni+0,4Zr	620	0,37±0,08	-
19	Ni+0,8Zr	620	0,30±0,07	-
20	Ni+0,4Re	620	0,13±0,09	-
21	Ni+0,8Re	620	0,11±0,12	-

С даних слідує, що вплив РЗМ та інтію на ВЗЕ за характером абсолютно протилежних до впливу ренію і цирконію (особливо чітко це виявляється за малого (до критичного) вмісту елементів першої групи в металах – основах (нікелі та заліза)).

Виходячи з вище викладеного, можемо зробити висновок, що треба, де що з іншого більш досконалого боку, розглянути питомій ріст зерен. Враховувати ту обставину, що найбільш активними центрами росту кристалічній структурі матеріалу, в якості активних центрів росту, треба розглянути топологічні дефекти будови. Бо саме в цих містах виникли найбільш потужні реальні рушійні сили процесу росту зерен.

2 НОВІ МОДЕЛІ ІЗОМЕРНОГО РОСТУ ЗЕРЕН МЕТАЛЕВИХ СИСТЕМ

2.1 Потенціальні та реальні термодинамічні рушійні сили росту зерен

Поняття потенціальної рушійної сили міграції міжзеренних меж в науковій літературі введено з метою оцінки схильності до росту ізомірних зерен. Потенціальні рушійні сили визначаються за допомогою термодинамічного аналізу поведінки зерен при їх рості та можуть відповідати простим співвідношенням енергетичних та розмірних (лінійних) параметрів, якщо прийняти, що всі розглядаємі зерна характеризуються однаковими формою та розміром. При цьому, форма плоского чи об'ємного зерна буде визначатися типом конкретної моделі зеренної структури [28].

Стосовно до процесів росту потенціальна рушійна сила міграції меж зерен буде дорівнювати від'ємній зміні питомого значення вільної енергії при уявній реалізації переміщення межі обраного ізомірного зерна в напрямку збільшення лінійного розміру.

В загальному вигляді потенціальна рушійна сила росту зерен (P) є похідною межевої енергії за простором, мірність якого відповідає мірності його структурного елемента. Для двовимірного структурного простору ця рушійна сила визначається похідною

$$\frac{dF_L}{dS} = \varepsilon \frac{dL}{dS} = P_{(S)}, \quad (2.1)$$

де F_L – вільна енергія лінійних меж комірок структури; L – загальна довжина таких меж; S – площа ділянки комірчастої структури, що розглядається; ε – питома вільна енергія лінійної межі поділу зерен.

Для об'ємної зеренної структури потенціальна рушійна сила росту вже визначається як

$$\frac{dF_S}{dV} = \gamma \frac{dS}{dV} = P_{(V)}, \quad (2.2)$$

де F_S – вільна поверхнева енергія зеренної структури; S – загальна площа меж; V – об'єм розглядаємої ділянки зеренної структури; γ – питома вільна енергія поверхні поділу зерен (поверхневий міжзеренний натяг).

Фізична розмірність рушійної сили відповідає лапласівській силі. У випадку двовимірного простору ця сила діє по нормалі на одиницю довжини викривленої лінії межі; у випадку тривимірного – діє на двічі викривлену межеву поверхню.

Нижче розглядається об'ємна модель зеренної структури (як більш реальна) та її потенціальні рушійні сили.

Згідно вимогам енергетичного критерію, зерна тривимірного полікристалічного агрегату повинні мати форму, що забезпечує для них можливість щільно (без зазорів) прилягати одне до одного; така форма зерен повинна забезпечувати мінімум сумарної зерномежової енергії. Відповідними елементарними тілами є зерна у формі кубооктаедра [31], який має 14 граней мінімальної сумарної площі (вісім шестикутних і шість квадратних граней). Його можна легко отримати зі стандартного кубооктаедра, в якому дещо зігнуті ребра і надана невелика подвійна кривина шестикутним граням. При цьому формується четверний стик межевих ребер з кутом (між будь-якою парою ребер), який дорівнює $109^{\circ}28'$, що задовольняє умовам теоретичного правила Плато [32]: рівновага меж спостерігається лише у випадку, якщо двогранні кути потрійних стиків зерен дорівнюють 120° , а при формуванні четверного стику зерен (4 ребра і 6 граней

перетинаються в одній точці) кути між ребрами відповідають кутам між чотирма висотами кубічного тетраедра (тобто $109^{\circ}28'$).

Однак в реальній зеренній структурі кубооктаедри (як домінуючий тип багатогранника) не зустрічаються через надто низьку ймовірність їх утворення. Ретельне експериментальне дослідження реальних тривимірних комірок піни і металевих зерен в α -латуні [33], показало, що ті та інші за формою наближуються до правильного п'ятикутного додекаедра, ребра якого стикаються під кутом 108° , а кут між суміжними гранями наближується до 120° . Після невеликого викривлення граней цей багатогранник буде задовольняти умові мінімуму поверхневої енергії. Хоча такі багатогранники самі по собі не в змозі заповнити простір без зазорів, вони можуть це здійснити в симбіозі з іншими фігурами, що задовольняють двом умовам правила Плато.

Таким чином, можна зробити висновок, що реальна зеренна структура (гомогенний варіант), в рівновазі є скупченням різних за формою багатогранників, що заповнюють без зазорів тривимірний простір та задовольняють вимогам правила Плато.

Необхідно відмітити, що аналіз поведінки об'ємних моделей зручно проводити на їх двовимірних моделях; найбільш простою є модель тетрагона з вбудованими в її простір «топологічними дефектами» (згідно термінології Мартіна і Доєрті [30]) – тобто комірками з кількістю сторін більшою або меншою за чотири і прилеглими до них прошарками – дещо видозмінених комірок.

Кожний межовий сегмент багатобічного топологічного дефекту будемо розглядати як двічі і в протилежні сторони викривлений межовий елемент. Вираз для рушійної сили лінійного для такого межового сегмента має вигляд

$$P = \varepsilon \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right), \quad (2.3)$$

де r – та R відповідно радіуси кривини окремого кругового сегмента та самого межового фронту.

2.2 Геометричні моделі зеренної структури з урахуванням наявності топологічних дефектів

Розглянемо модель двовимірної структури, що уявляє собою скупчення комірок у формі тетрагона (зовнішні шари) або трапецій (перехідний шар – обідок зерен), що оточують відносно велике (багатосегментне) зерно у формі фігури із двома осями симетрії (типу еліпса); при цьому потрібні стики викривленого межового фронту збалансовані по лінійним натягам (рис. 2.1). Таке велике зерно будемо вважати за топологічний дефект, що в процесі росту поступово видозмінюється, а зрештою, і самоусувається.

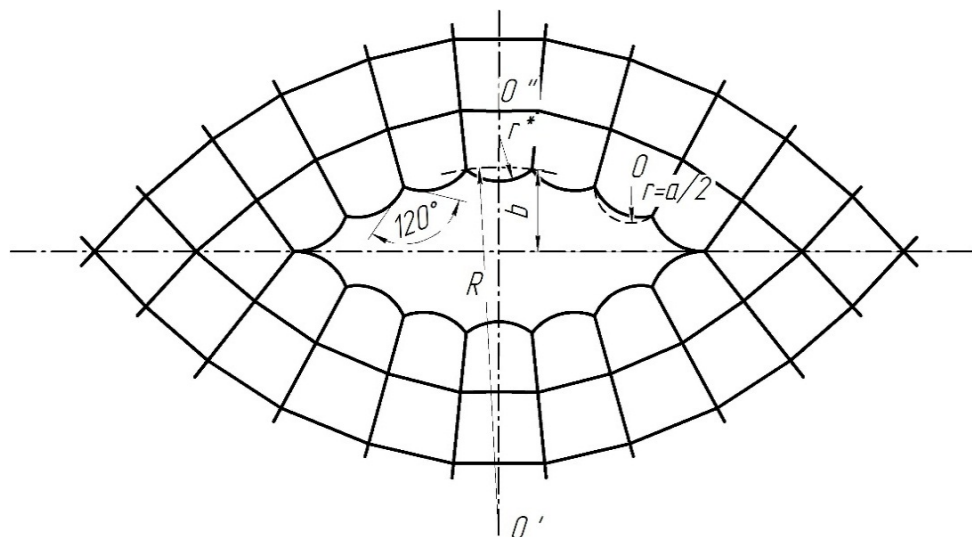


Рисунок 2.1– Фрагмент моделі двовимірної структури з топологічним дефектом у вигляді багатосегментного зерна еліпсного типу

Якщо такі топологічні дефекти еліпсного типу розподілені в двовимірному просторі статично рівномірно, то в процесі міграції межових сегментів (за участю механізму переключення їх з одних точок закріплення на інші [35]) дрібні комірки будуть поступово зникати, а самі топологічні дефекти, видозмінюючись, будуть об'єднуватися в нове метастабільне скупчення ізомірних зерен, яке з часом через різні локальні порушення топологічного характеру породжує в своєму середовищі нові дефектні комірки з більшою або меншою кількістю сторін, ніж чотири (рис.2.2)). Виключно великі (багатосегментні) еліпсні зерна в процесі свого росту інколи перетворюються в шари пластинчастої форми з невикривленими межовими фронтами, які здатні зростати, збільшуючи свою товщину.

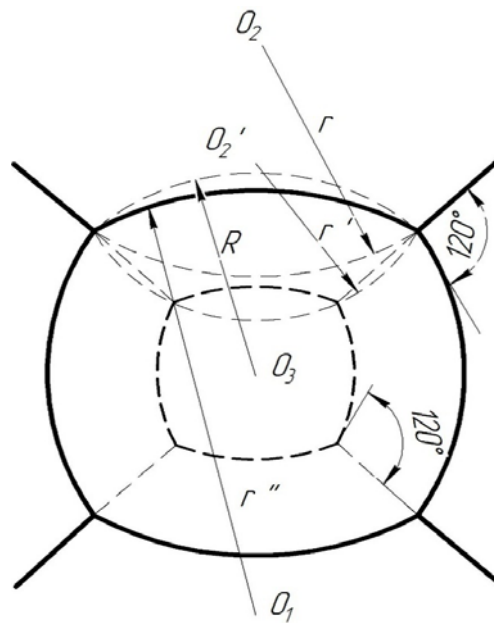


Рисунок 2.2– Топологічний дефект у вигляді криволінійного тетрагону зі збалансованими по натягам потрійними стиками (120°)

Основу об'ємної моделі складають зерна, що мають форму гексаєдрів або гексаєдрів із гранями ромбододекаедра (тобто куба зі зрізаними ребрами). Така модель включає і топологічні дефекти – зерна, які відрізняються за формою від гексаєдрів, а також проміжні шари із зернами

пірамідального типу. Однак детальний аналіз таких моделей не є доцільним через свою складність і до того ж є зайвим, оскільки опис поведінки двовимірної моделі зеренної структури з деякими незначними змінами постулюється і на випадок тривимірної моделі зеренної структури (обидві моделі такими, щоб допускалися їх адекватні взаємні відображення).

Оскільки будь-який спільний сегмент фронту росту є двічі і рівнозначно викривленим (через невідповідність лінійних розмірів великого зерна та оточуючих дрібних зерен), необхідно розглянути зміну обох радіусів кривини фронту росту, що поступово пересувається, і встановити хоча б наближений взаємозв'язок в поведінці цих радіусів у часі. У випадку малих і рівноосних топологічних дефектів (тобто зерен із кількістю однакових сторін, що дорівнюють, наприклад, трьом) межовий фронт реакції буде в часі швидко скорочуватися, а саме таке дефектне зерно – зменшувати лінійний розмір (аж до повного свого зникнення). При цьому, між обома радіусами кривини r (радіус кривини окремого кругового сегмента) та R (радіус кривини межового фронту) також повинна існувати певна взаємозалежність, в якій би обидва згадані кривини межового сегмента були б якось пов'язані з лінійними параметрами a і b , які пропорційні розмірам комірок, що мають загальну межу по лінії цього сегменту (a – висота (розмір) комірки у вигляді трапеції або сторона межової нормальної комірки (тетрагона) при $R = \infty$; b – половина меншого розміру зростаючої комірки еліпсного типу (параметри a і b обираються за умов рівноваги натягів в стиках комірок по лінії межового фронту) [37].

Шукане співвідношення між обома радіусами кривини межового сегмента r та R і параметрами суміжних зерен, що змінюються у часі (великого зростаючого зерна і малого, що ним «знищується», відповідно b і a), має вигляд [34]

$$r = a - \frac{b^2}{R} \quad (2.4)$$

Нижче представлені вирази для швидкостей росту зерен розглядаємої моделі двовимірної структури. Для отримання таких рівнянь необхідно використати вирази для рушійної сили (2.3), математична умова-зв'язка (2.4) та вираз для швидкості міграції межового сегмента [29, 42]:

$$v = mP. \quad (2.5)$$

де m – середня мікроскопічна рухомість сегмента.

Надалі приймаємо, що параметри a і b , які задовольняють рівнянню-зв'язці, поволі і плавно зростають у часі (будуть практично незмінними в часових інтервалах, що розглядаються), а також монотонно змінюють характер свого відношення (a/b).

Спочатку розглянемо більш простий випадок, коли $R = \infty$ і топологічний дефект (центр росту) є двовимірною пластиною (рис. 2.6). Об'єднуючи рівняння (2.3) та (2.5), отримуємо диференціальне рівняння росту виду

$$v = \frac{dr}{d\tau} = m\varepsilon \frac{1}{r}, \quad (2.6)$$

розв'язання якого приводить до отримання параболічного закону зміни радіусу кривини будь-якого сегмента межового фронту у часі.

З рівняння (2.6) отримується вираз

$$\int_{r_0}^r r dr = m\varepsilon \int_0^\tau d\tau, \quad (2.7)$$

де r_0 – початкове значення радіуса сегмента, при якому міжсегментний кут складає 120° . Після інтегрування маємо

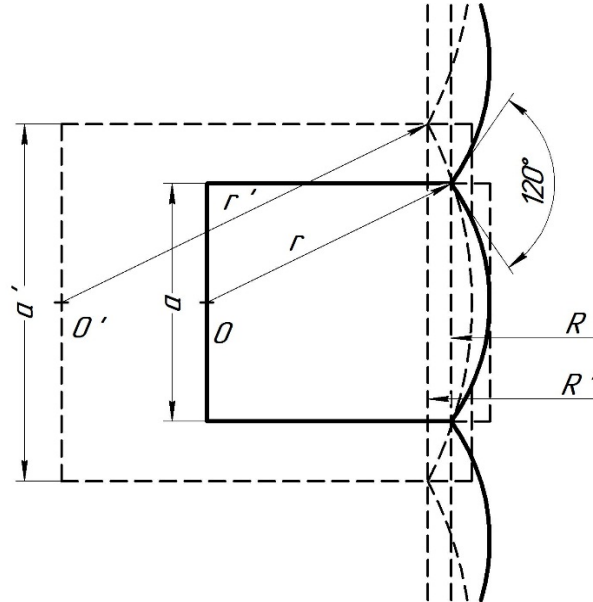


Рисунок 2.3 – Фрагмент моделі двовимірної зеренної структури тетрагонального типу з топологічним дефектом у вигляді двовимірної пластини (пунктирні лінії відповідають новій рівноважній ситуації з комірками більшими за попередні)

$$r^2 = a^2 + 2m\epsilon\tau, \quad (2.8)$$

оскільки $r_0 = a$ (рис. 2.6).

Розглядаємий процес параболічної зміни сегментів межового фронту є згасаючим через те, що рушійна сила процесу P постійно тільки зменшується. При цьому, оскільки відбувається поступове збільшення радіуса кривини, буде порушуватися умова рівноваги в межових стиках фронту росту; це приводить до зростання рушійної сили, діючої на ці стики (P_{cm}). В момент встановлення рівності двох рушійних сил ($P=P_{cm}$) згасаючий (або нестационарний) процес росту змінюється на стаціонарний, при якому весь межовий фронт переміщується як єдине ціле (разом зі стиками) з

постійною швидкістю. При цьому обов'язково змінюється конфігурація і самих стиків.

Нехай $1/a$ – кількість стиків на одиницю довжини базової лінії межового фронту (позначена пунктирною лінією), яка проходить крізь потрібні межові вузли на рис. 2.3 Тоді рушійна сила, що діє на стики, дорівнює

$$P_{cm} = \frac{1}{a} \left(1 - 2 \cos \frac{\theta}{2} \right) \varepsilon = \frac{1}{a} \left(1 - \frac{a}{r} \right) \varepsilon; \quad (2.9)$$

а оскільки $\cos \frac{\theta}{2} = \frac{a}{2r}$ (рис. 2.3) і $P = \varepsilon/r$, синхронізація руху сегментів і стиків межового фронту здійснюється в такий момент часу, коли поточне значення r буде дорівнювати $2a$. Підставляючи це порогове значення радіуса кривини ($r_{nop} = 2a$) в (2.6), отримуємо вираз для швидкості переміщення межового фронту в стаціонарному режимі

$$v_{стац} = \frac{1}{2} m \frac{\varepsilon}{a}. \quad (2.10)$$

Порогове значення міжсегментного кута θ_{nop} визначається із умови $\cos \frac{\theta_{nop}}{2} = \frac{a}{2r_{nop}} = \frac{1}{4}$ і складає $\theta_{nop} \cong 151^\circ$.

Тепер розглянемо більш складний варіант: радіус викривлення базової лінії межового фронту буде кінцевим, а двовимірний топологічний дефект структури (центр росту) є зерном еліпсного типу. В цьому випадку для розгляду процесу росту необхідно скористуватися вже всіма трьома вищезазначеними виразами (2.3), (2.4) та (2.5).

Спочатку необхідно перетворити умову «зв'язки», яка входить до цієї групи виразів, до вигляду $\frac{1}{R} \cong \frac{a-r}{b^2}$, що дозволить перетворити вираз для рушійної сили у функцію однієї змінної (r). Тоді після підстановки у формулу для P значення R^{-1} з рівняння-зв'язки, будемо мати

$$P(r) = \varepsilon \left(\frac{1}{r} - \frac{a-r}{b^2} \right) = \varepsilon \frac{r^2 - ar + b^2}{b^2 r}. \quad (2.11)$$

Далі для швидкості зміни радіусу r можна отримати таке диференціальне рівняння:

$$\frac{dr}{d\tau} = m\varepsilon \frac{r^2 - ar + b^2}{b^2 r} \quad (2.12)$$

Вираз (2.12) можна привести до вигляду, що є зручним до інтегрування:

$$\int_{r_0}^r \frac{rdr}{r^2 - ar + b^2} = \frac{m\varepsilon}{b^2} \int_0^\tau d\tau, \quad (2.13)$$

де r_0 – початкове значення радіуса кривини дуги зерна-тетрагона;
 a і b – деякі середні у часовому інтервалі росту розмірні характеристики зерен, що контактують по лінії фронту реакції (трапецієвидних і топологічно дефектних).

Після часткового інтегрування (2.13) отримується загальний розв'язок рівняння росту двовимірних комірок в неявній формі

$$\ln \frac{r^2 - ar + b^2}{r_0^2 - ar_0 + b^2} + \int_{r_0}^r \frac{adr}{r^2 - ar + b^2} = \frac{2m\varepsilon}{b^2} \tau. \quad (2.14)$$

Якщо межовий фронт не є викривленим, то $R = R_0 = \infty$ і $r^2 - ar \cong r_0^2 - ar_0 \cong 0$ ($r \cong a$, $r_0 \cong a_0$).

В такому випадку рівняння (2.14) переходить в більш простий вираз

$$\int_{r_0}^r r dr = \int_{a_0}^a a da = 2m\varepsilon \tau, \quad (2.15)$$

де a – вже поточний розмір плоского зерна тетрагона. Це рівняння відповідає за формою рівнянню, що отримується при стандартному описанні процесу росту [29], коли вважають, що всі зерна мають однаковий розмір і форму (найчастіше спрощують ситуацію до зерен-сфер, припускаючи при цьому, що радіус кривини межі поділу визначає не тільки розмір зерна, але і величину рушійної сили процесу росту структурних елементів). Розв'язання останнього рівняння (2.15) дає параболічний закон зростання зерен для двовимірного

$$r^2 - r_0^2 = a^2 - a_0^2 = 4m\varepsilon \tau \quad (2.16)$$

та об'ємного варіанта структури

$$r^2 - r_0^2 = a^2 - a_0^2 = 8m\gamma \tau. \quad (2.17)$$

Необхідно відмітити, що розглянутий підхід до встановлення в аналітичній формі тенденції в зміні у часі середніх характеристик розглядаємої структури (таких як $\bar{r}$ або $\bar{a}$) не передбачає аналізу яких-

небудь деталей механізму росту зерен (механізм росту визначається міграцією межових сегментів і стиків), через те, що в процесі росту обов'язково змінюється вихідна (рівноважна) конфігурація зростаючого межового фронту (в процесі міграції умова рівноваги в потрібних стиках $\theta = 120^\circ$ не виконується). Деталізація механізму росту в рамках зазначеного підходу неможлива через те, що рівняння (2.3) та (2.4) функціонують лише при дотриманні розглянутої контактної умови.

2.3 Кінетика росту ізомерних зерен, виходячи з модельних уявлень

В цьому розділі із використанням вже розглянутих рівнянь (2.3), (2.4) та (2.5), отримується залежність, що уявляє собою експоненціальний закон росту зерен в часі

$$r=r(\tau)$$

При досягненні зростаючим зерном достатньо великого розміру, поведінку приведенного розміру такого крупного зерна гомогенної системи у часі можна описати за допомогою такої аналітичної функції [45]:

$$a \cong a_0 \exp(k\tau), \quad (2.18)$$

де a – поточний приведений розмір зерна, що дорівнює половині його середнього «діаметра», a_0 – початковий приведений розмір (рівний половині середнього значення початкового «діаметра»); k – деяка константа; τ – час. Оскільки, як показав експеримент [45], показник $k\tau$ в виразі (2.18) є дуже малим ($k\tau \ll 1$).

Після розкладання в ряд виразу (2.18) та залишивши лише його лінійний член, отримаємо по суті квадратичний закон росту зерен у вигляді

$$a^2 - a_0^2 \cong 2a_0^2\tau. \quad (2.18 \text{ a})$$

Далі, після порівняння рівнянь (2.17) та (2.18 a), отримаємо такий вираз росту зерен у випадку об'ємного варіанта структури

$$a^2 - a_0^2 = 2m\gamma\tau. \quad (2.19)$$

Із використанням рівнянь (2.17), (2.18) - (2.19), отримаємо для константи k («крутизни» експоненти) таке співвідношення

$$k = m\gamma / a_0^2. \quad (2.20)$$

Тепер рівняння (2.18) перетвориться в такий експоненціальний вираз:

$$a \cong a_0 \exp\left(\frac{m\gamma\tau}{a_0^2}\right). \quad (2.21)$$

Закон росту у формі (2.21) відноситься до категорії наближених функцій; це що обумовлено тим, що процес росту зерен є за характером згасаючим (для нього $\frac{d^2a}{d\tau^2} > 0$).

Отримане рівняння (2.21) можна достатньо легко перетворити на остаточний варіант експоненціального закону росту зерен у часі з використанням деяких перетворень, наведених в роботі [45]:

$$r = r_0 \exp\left(\frac{m\gamma\tau}{r_0^2}\right). \quad (2.22 \text{ a})$$

2.3.1 Кінетика росту зерен за умови присутності з нерухомих дисперсних частинок надлишкових фаз

В цьому розділі розглядається випадок наявності в матричній фазі частинок надлишкової фази, і при цьому вони не настільки дрібні, щоб переміщуватися разом з мігруючими межами (шляхом дифузійного "перекачування" своєї маси). Будемо вважати, що такі частинки є сферичними, мають однакові розміри і статистично рівномірно розподілені в об'ємі матриці.

Тоді в процесі міграції деякої міжзеренної межі їй буде протидіяти практично постійна термодинамічна сила («протivotиск») з боку частинок другої фази. Відповідно в цій ситуації реальна рушійна сила росту зерен дорівнює різниці між лапласівською силою P_γ , що визначається кривиною межі поділу, і середньою силою опору «сповзанню» цієї межі з частинок надлишкової фази (P_N).

Завдяки фактору «протivotиску» з боку надлишкових частинок рівняння (2.3), скореговане на об'ємний варіант структури (модель кубічних зерен), буде мати вигляд

$$\bar{P} = P_\gamma - \bar{P}_N = \frac{2\gamma}{r} \left(1 - \frac{r}{R} - \frac{rq}{2}\right) > 0 \quad (2.23)$$

(при $\bar{P} > 0$ частинки надлишкової фази будуть стопорами меж). Тут,

$\bar{P}_N = 1/2P_N^{\max} = \gamma q$, а $q = \frac{3\beta}{2\rho}$, де β – об'ємна частка частинок надлишкової фази; ρ – радіус сферичних частинок.

З урахуванням рівняння-зв'язки (2.23) цей вираз буде мати вигляд

$$\bar{P} = \frac{\gamma}{rb^2} [2r^2 - r(2a + qb^2) + 2b^2]. \quad (2.24)$$

Далі, оскільки $v = dr/d\tau = m\bar{P}$, то після підстановки (2.24) і часткового інтегрування за часом можна отримати розв'язок диференціального рівняння росту кубічних зерен в загальній формі:

$$\int_{r_0}^r \frac{rdr}{2r^2 - r(2a + qb^2) + 2b^2} = \frac{m\gamma\tau}{b^2}. \quad (2.25)$$

Після виділення логарифмічного члену вираз (2.25) переходить в рівняння

$$\ln \frac{2r^2 - r(2a + qb^2) + 2b^2}{2r_0^2 - r_0(2a + qb^2) + 2b^2} + (2a + qb^2) \int_{r_0}^r \frac{dr}{2r^2 - r(2a + qb^2) + 2b^2} = \frac{4m\gamma\tau}{b^2} \quad (2.26)$$

в якому конкретне значення інтегрального доданку визначається характером співвідношення лінійних параметрів a і b .

З урахуванням, що $a \cong \sqrt{2}b$ і $b^2 - \frac{a^2}{4} > 0$, а також $r_0 \cong a/2$ і $b^2 \cong 2r_0^2$,

можна отримати залежність, що описує поведінку зерен в умовах стабілізованого росту, тобто коли зеренна структура сплаву вже практично

рівномірна; при цьому логарифмічний член рівняння (2.26) спрощується до вигляду

$$\ln \frac{r^2 - rr_0(2 + qr_0) + 2r_0^2}{r_0^2(1 + qr_0)}, \quad (2.27)$$

а для вузького інтервалу зміни r (коли $r \cong r_0$) вираз (2.27) замінюється на такий

$$\ln \frac{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - qr_0}{1 - qr_0} \quad (2.27 \text{ a})$$

Другий доданок рівняння (2.25) перетворюється на вираз виду

$$r_0(2 + qr_0) \int_{r_0}^r \frac{d\left[r - r_0\left(1 - \frac{qr_0}{2}\right)\right]}{\left[r - r_0\left(1 - \frac{qr_0}{2}\right)\right]^2 + r_0^2(1 - qr_0)} \quad (2.28)$$

Тут знехтували членом $(1/4) \cdot (qr_0)^2$, оскільки з міркувань фізичної реальності $qr_0 < 1$.

Після інтегрування останнього виразу та деяких спрощень [38], отримуємо достатньо простий вираз закону росту зерен в умовах рівномірної структури та наявності нерухомих частинок:

$$\frac{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - qr_0}{1 - qr_0} \cong \exp\left(\frac{2m\gamma\tau}{r_0^2}\right) \quad (2.29)$$

З урахуванням того, що при достатньо великих r_0 і відносно короткому часі τ , показник експоненти рівняння (2.29) істотно малий (принаймні менше одиниці), цьому рівнянню можна надати ще компактнішого вигляду; при цьому використаємо наближене співвідношення $\exp\left(\frac{2m\gamma\tau}{r_0^2}\right) \cong 1 + \frac{2m\gamma\tau}{r_0^2}$, а також те, що в розглядаємих умовах $1 - qr_0 \cong 1/(1 + qr_0)$

$$r = r_0 \left[1 + \frac{2m\gamma\tau}{r_0^2(1 + qr_0)} \right]^{1/2} \cong r_0 \exp\left(\frac{m\gamma\tau}{r_0^2 + qr_0^3}\right) \quad (2.30)$$

Аналіз виразу (2.30), що є напівкубічним законом росту зерен, показує, що чим більша величина фактору вкраплень q , тим повільніше відбувається зміна r , а отже, і зміна приведенного поточного розміру кубічного (або реального) зерна.

2.3.2 Кінетика росту зерен за умови присутності з рухомих дисперсних частинок надлишкових фаз

Тепер розглянемо випадок, коли розмір надлишкових частинок є таким малим, що вони можуть захоплюватися межами в процесі їх міграції. Вперше на такий механізм міграції зерен було вказано Смітом [39], детальний аналіз цього процесу проведений в роботі [40]. Як відмічено в останній роботі, рух

сферичних частинок разом з межами зерен може бути пов'язаний із дифузійними потоками вакансій від однієї частини поверхні сфери до іншої. Швидкість міграції меж зерен в такому випадку

$$v \approx \frac{D\omega}{kT} \cdot \frac{P}{\rho^3 n_s}, \quad (2.31)$$

де D – коефіцієнт об'ємної дифузії в матричній фазі; ω – атомний об'єм; k – стала Больцмана; T – температура за Кельвіном; ρ – радіус частинки; P – рушійна сила міграції вільної межі; n_s – поверхнева густина частинок.

Згідно виразу (2.31), швидкість міграції визначається лише загальним об'ємом частинок, що знаходяться в одиниці площі поверхні межі, і не змінюється при їх коалесценції.

Оскільки і в цьому випадку, вираз (2.3) зберігає свою форму, то з урахуванням рівняння-зв'язки рушійна сила міграції, що задається подвійною кривиною міжзеренної межі, має вигляд (для кубічної моделі зерен)

$$P_\gamma = \frac{2\gamma}{r} \left(\frac{r^2 - ar + b^2}{b^2} \right) \quad (2.32)$$

Припустимо, що частинки розташовуються тільки на міжзеренних межах. Тоді загальний розв'язок диференціального рівняння росту $dr/d\tau = f(r)$ може бути представлений у вигляді

$$\int_{r_0}^r \frac{r^2 dr}{r^2 - ar + b^2} = \alpha \frac{D\omega}{kT} \cdot \frac{4\pi\gamma\tau}{b^2\beta}, \quad (2.33)$$

де $\beta = 4/3\pi r^3 n_v$ – об'ємна частка частинок другої фази, а n_v – об'ємна густина таких частинок ($n_s = \frac{2}{3} n_v r$ [41]); α – коефіцієнт пропорційності наближений до одиниці.

Інтеграл в лівій частині отриманого рівняння можна привести до виразу:

$$\int_{r_0}^r \frac{r^2 dr}{r^2 - \alpha r + b^2} = r - r_0 + \frac{a}{2} \ln \frac{r^2 - \alpha r + b^2}{r_0^2 - \alpha r_0 + b^2} + \left(\frac{a}{2} - b^2 \right) \int_{r_0}^r \frac{dr}{r^2 - \alpha r + b^2} \quad (2.34)$$

Будемо також розглядати випадок практично рівномірної структури, тобто $r_0 \cong a/2$ і $\alpha = \sqrt{2}b$.

Тоді загальний розв'язок диференціального рівняння росту зерен набуває такого вигляду (з урахуванням (2.34)):

$$r_0 \left(\frac{r - r_0}{r_0} + \ln \frac{r^2 - 2rr_0 + 2r_0^2}{r_0^2} \right) = 2\alpha\pi \frac{D\omega}{kT} \cdot \frac{\gamma\tau}{r_0^2\beta} \quad (2.35)$$

Якщо зробити припущення, що стану практично рівномірної структури відповідає достатньо крупний розмір початкового зерна, то внаслідок того, що в помітному у часі інтервалі росту $r \cong r_0$ остаточно отримуємо вираз [36]

$$r = r_0 \exp \left(\frac{\alpha\pi D\omega\gamma\tau}{r_0^3\beta kT} \right) \quad (2.36)$$

2.4 Комбінований ріст зерен при наявності частинок залишкових фаз

Як показано в розділі 2.3, межі зерен можуть рухатися у два способи: або, долаючи при своєму русі опір примежових нерухомих частинок, або разом з частинками, якщо останні тягнуться разом із межами зерен. З цього приводу постає питання щодо умов здійснення обох процесів і визначення того часу, коли переважним (тобто більш динамічним) стає один з цих процесів з урахуванням розмірів примежових частинок надлишкової фази. Тобто виглядає достатньо цікавим з'ясувати розмір частинок надлишкової фази в той часовий момент, коли така зміна відбувається.

Для розв'язання означеного питання можна використати математичні залежності (2.26) та (2.36), які пов'язані із розмірами надлишкових частинок (вважатимемо їх сферичними з радіусом ρ) і іншими факторами, що фігурують в згаданих залежностях, та співставити їх в момент, коли зміни у часі радіусів зерен, на межах яких знаходяться частинки надлишкової фази, стануть однаковими. Можна вважати, що такого роду зміна відбудеться при досягненні рівних значень середніх розмірів самих зерен (ці середні розміри пов'язані з певними значеннями радіусів кривини поверхонь поділу).

Формули (2.26) та (2.36) після деяких незначних змін мають такий вигляд відповідно для випадків нерухомих та рухомих частинок (за умови, що розміри початкових середніх та кінцевих зерен для певного проміжку часу мало відрізняються між собою):

$$r_{н.ч.} = r_0 \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{2 \cdot D \cdot \omega \cdot \gamma \cdot \tau}{r_0^2 \cdot b \cdot k \cdot T \left(1 + 2\pi \cdot \rho^2 \cdot n_V \cdot r_0\right)}\right)}; \quad (2.37)$$

$$r_{p.ч.} = r_0 \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{3 \cdot \alpha \cdot D \cdot \omega \cdot \gamma \cdot \tau}{2 \cdot k \cdot T \cdot \rho^3 \cdot n_V \cdot r_0^3}\right)}, \quad (2.38)$$

де D – коефіцієнт об'ємної дифузії в матричній фазі [$\text{см}^2/\text{с}$];
 ω – атомний об'єм [см^3]; k – стала Больцмана, $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ [Дж/К];
 T – температура за Кельвіном [К]; b – товщина межі поділу (приймали, що вона втричі більша за параметр ґратки) [см]; ρ – радіус частинок [см];
 γ – поверхневий міжзеренний натяг [Дж/ см^2]; r_0 – початкове значення радіусу зерна [см]; α – коефіцієнт пропорційності (~ 1); τ – час [с];
 n_V – об'ємна густина частинок [$1/\text{см}^3$].

Для того, щоб досягнути поставленої мети, зручно розглянути зміну квадратів середніх розмірів зерен у часі відповідно для випадків наявності в матричній фазі нерухомих та рухомих частинок

$$r_{н.ч.}^2 = r_0^2 + \frac{2 \cdot D \cdot \omega \cdot \gamma \cdot \tau}{b \cdot k \cdot T \left(1 + 2\pi \cdot \rho^2 \cdot n_V \cdot r_0\right)}; \quad (2.39)$$

$$r_{p.ч.}^2 = r_0^2 + \frac{3 \cdot \alpha \cdot D \cdot \omega \cdot \gamma \cdot \tau}{2 \cdot k \cdot T \cdot \rho^3 \cdot n_V \cdot r_0}, \quad (2.40)$$

які лінеаризовані відносно фактору часу τ .

Тоді, обравши деяку незначну різницю в значеннях початкових розмірів зерен в двох конгломератах зерен з примезовими дрібними частинками будь-якої іншої фази, знайдемо перетин цих лінійних залежностей від часу і отримаємо порогове значення τ для точки перетину (рис.2.4), яка відповідає однаковості характеру росту зерен за вищезгаданими механізмами міграції меж. Нагадаємо, що зміна цього механізму може

приводити до більш відчутного зменшення вільної поверхневої енергії зростаючих зерен.

Наведені графіки показують, що навіть при наявності однакових розмірів надлишкових частинок, можна відчутти різницю в динаміці двох процесів зростання зерен.

Примітка: при розрахунках приймали, що $D=5 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$; $\gamma=10^{-4} \text{ Дж/см}^2$; $\omega=1,413 \cdot 10^{-23} \text{ см}^3$; $T=1000 \text{ К}$; $n_V=5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$; $b=0,9 \cdot 10^{-9} \text{ см}$; $\rho=0,001 \text{ см}$; початкові радіуси зерен r_0 для випадків нерухомих (1) та рухомих (2) частинок відповідно становлять 0,5 та 0,50001 см (використовували дані, що притаманні металевим системам)

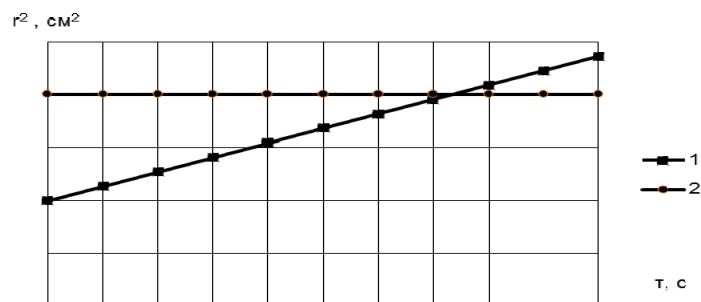


Рисунок 2.4 – Графічні залежності квадратів середніх розмірів зерен r^2 в залежності від часу τ .

Тепер, щоб визначити конкретну роль розмірів примезових частинок щодо їх гальмівного впливу на темп зростання зерен в обох конгломератах с різними значеннями розмірів частинок, можна скористатися методом порівняння двох часових залежностей від ρ , що відповідають такого роду точкам часового перетину для однаковорозмірних скупчень зерен. В результаті відповідної графічної побудови маємо також точку перетину, тільки вже нелінійних залежностей розмірів частинок при однакових значеннях розмірів самих зерен для будь-якого критичного часу стосовно моментів співпадання розмірів зростаючих зерен. У цьому випадку треба

перетворити формули (2.39) та (2.40) у графічні нелінійні залежності, кожна з яких пов'язана зі своїми значеннями ρ , і знайти загальну точку перетину, яка буде відповідати конкретному розміру частинок надлишкової фази, що відповідає тому конкретному значенню ρ , котре забезпечує початок більш ефективного гальмівного ефекту для руху двох конгломератів рівних зерен при подальшому їх зростанні:

$$\tau_{н.ч.} = \frac{(r_n^2 - r_0^2) \cdot b \cdot k \cdot T (1 + 2\pi \cdot \rho^2 \cdot n_V \cdot r_0)}{2 \cdot D \cdot \omega \cdot \gamma}, \quad (2.41)$$

$$\tau_{р.ч.} = \frac{(r_n^2 - r_0^2) \cdot 2 \cdot \rho^3 \cdot n_V \cdot k \cdot T \cdot r_0}{3 \cdot \alpha \cdot D \cdot \omega \cdot \gamma}. \quad (2.42)$$

Таким чином, різним варіантам однаковості зерен будуть відповідати різні значення ρ (рис.2.5).

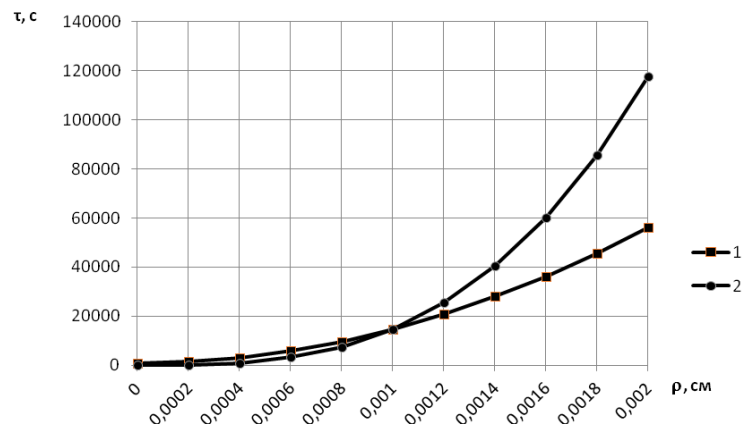


Рисунок 2.5 – Графічні залежності часу досягнення рівних розмірів зростаючих зерен для обох механізмів міграції меж від розміру частинок виділень.

Примітка: при розрахунках приймали такі ж значення, що і для побудови залежностей квадратів для середніх розмірів зерен від часу

випробування; криві 1 та 2 – відповідно випадки наявності нерухомих та рухомих частинок

Отримані результати дають можливості передбачати такі конкретні розміри надлишкових частинок, які забезпечують досягнення рівності розмірів зерен, що вказує на перевагу динаміки того чи іншого механізму міграції меж зерен (це є цікавим при виконанні тієї чи іншої термічної обробки матеріалів: нагрів під гартування, відпуск, старіння тощо).

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі наданні основні заходи з охорони праці при виконанні дослідницької роботи з теоретичних досліджень ізомерного росту зерен в однофазних та слабкогетерогенних металевих система.

3.1 Аналіз потенційних небезпек

а) зниження працездатності, в наслідок порушення вимог ергономіки при організації робочого місця дослідника з урахуванням розташування дослідницького обладнання.

б) можливість ураження електричним струмом, внаслідок справи з електробезпеки, або несправності електрообладнання, що може привести до електричних травм, або летального наслідку.

в) Небезпеки, які пов'язані з проведенням досліджень структури з використанням електронної мікроскопії, зокрема негативний вплив іонізуючих випромінювань електронного мікроскопу, що може призвести до розвитку тяжких захворювань.

г) можливість ушкоджень кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі, які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК.

д) незадовільні параметри повітряного середовища в приміщення дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи системи опалення та повітрообміну, можливо привести до загального захворювання.

е) незадовільне освітлення робочого місця дослідницької лабораторії в наслідок несправності приладів освітлення, що може призвести до зорового напруження.

є) небезпеки, які пов'язані з наявністю заряджених частин типу в приміщень, де експлуатують електрорастровий мікроскоп, подразнень, що може призвести до появи алергенних реакцій.

ж) можливих загорянь внаслідок порушення правил пожежної безпеки, що може привести до пожежі.

з) небезпеки, які пов'язані з умов праці у надзвичайних ситуаціях, зокрема виконання порядку проведення евакуації співробітників.

3.2 Заходи по забезпеченню безпеки

а) робоче місце повинно бути зручне та раціональне розташоване. Згідно з вимогами, площа одного робочого місця становить $>6\text{м}^2$, а об'єм $>20\text{м}^3$.

Робочий стіл повинен відповідати вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання і документів.

Висота робочого столу з ВДТ має регулюватися в межах 680...800мм, а ширина і глибина – забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовано 600...1400мм – ширина, 800...1000мм – глибина).

Робочій стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше ніж 600мм, завширшки не менше ніж 500мм, завглибшки не менше ніж 450мм, на рівні простягнутої ноги – ніж 650мм.

Робочий стілець повинен бути підйомно-поворотний, регульованим за висотою, з кутом нахилу сидіння та спинки. Поверхня сидіння має бути плоскою, передній край – заокруглений. Висота поверхні сидіння має регулюватися в межах 400...500мм, а ширина і глибина не менше ніж 400мм. Висота спинки стільця має становити приблизно 300 мм, ширина не менше ніж 380мм.

Для зниження статичного напруження м'язів верхніх кінцівок слід використовувати стаціонарні або змінні підлокітники завдовжки не менше ніж 250мм, завширшки 50...70мм.

Для запобігання кістково-м'язових порушень у зв'язку з тривалим статичним напруженням м'язів спини, ший, рук і ніг необхідно виконувати фізичні вправи 2-3 рази протягом робочого часу по 5-10 хвилин. Передбачено використання регульованого за висотою. Стільця з підлокітниками та спинкою.

б) Можливість ураження електричним струмом.

Невиконання правил електробезпеки є головною причиною несправності енергоспоживаючого обладнання, відсутність захисного заземлення або занулення, що призвести до електричних травм або летального наслідку.

Основними заходами захисту:

До виконання робіт допускаються повнолітні особи, що пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки згідно ДНАОП 1.1.10-1.01-2000 «Правила безпечної експлуатації електроустановок – споживачів» та отримали допуск з електробезпеки відповідної групи.

Електрообладнання повинно відповідати вимогам НПАОН 40.1-1.21-98 «Правила безопасной эксплуатации электроустановок потребителей» та ін. діючим нормативним актам.

Підготовлений персонал повинен здійснювати ремонт електроустановок.

Експлуатаційні схеми повинні бути для кожного електроспоживаючого обладнання, нормальної та аварійної роботи. В схемах передбачені захисні електроприймачі від перевантажень і коротких замикань.

Всі не ізолювані струмопровідні елементи електрообладнання повинні бути суцільно огороженнями, зняття або відкриття, яких можливе тільки за допомогою спеціальних пристроїв.

Високе розташування струмоведучих частин. Значенням напруги визначається висота розташування: при напрузі до 1000В – не менше 3,5м, при напрузі більше 1000В – не менше 6м.

Електроізоляція. Опір ізоляції електричних дротів повинен бути не менше 0,5МОм. Одним із найбільш ефективних захисних заходів є подвійна електроізоляція.

При роботах, що пов'язані з можливістю ураження електричним струмом необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту в відповідності з НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок - споживачів». Наприклад, при гартуванні деталей ТВЧ використовуються діелектричні килимки.

Ввімкнення джерел живлення технологічного обладнання здійснюється тільки через рубильник.

в) Захист від механічного травмування та дії іонного випромінювання може бути пов'язано з незадовільним станом робочої зони (захаращеність, нераціональне розташування технологічного обладнання), непередбаченим контактом з частинами обладнання, що рухаються, потраплянням в небезпечні зони технологічного процесу.

Основними заходами захисту є дотримання чистоти та порядку на робочому місці згідно ГОСТ 12.2.061 – 81 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам»; проведення усіх видів інструктажів та перевірка знань з охорони праці при виконанні конкретних операцій.

Джерелами електромагнітного випромінювання під час виконання досліджувальної роботи є мікроскоп та комп'ютери. Робота цих пристроїв призводить до виникнення м'якого рентгенівського, ультрафіолетового, видимого, інфрачервоного, радіочастотного діапазону, електростатичних полів. Рентгенівське випромінювання та частини інших випромінювань поглинаються склом екрану. Навколо працюючого монітору виникають електромагнітні поля низької частоти: від 5 Гц до 400 кГц.

Згідно з ГОСТ 12.1.006 – 84 (Електромагнітне поле радіочастот. Засоби захисту) для захисту користувачів персональних комп'ютерів та мікроскопів від дії електромагнітних випромінювань передбачаються наступні заходи:

- робітник повинен знаходитися на відстані 0,7 м від екрану монітора;
- тривалість роботи не повинна перевищувати 4 години на день, протягом тижня цей час не повинен перевищувати 20 годин;
- після кожної години роботи необхідно робити 10 хвилинні перерви;
- планування приміщення повинно бути виконано так, щоб уникати випромінювання від цокольної частини кінескопу монітора;
- в процесі роботи необхідно використовувати захисний заземлений фільтр для екрану монітора, який послаблює електромагнітне випромінювання та підсилює контраст зображення;
- розміщення робочого місця оператора за комп'ютером та мікроскопа так, щоб електромагнітні випромінювання від електронної труби дисплею не поширювались на робочі місця. Для цього ЕОМ розташовується біля зовнішньої стіни приміщення.

г) Заходи запобігання підвищеним статичним навантаженням користування ПК та “тунельному синдрому”.

Для мінізації негативних наслідків “синдрому тривалих статичних навантажень” (СТСН) передбачено вдосконалення ергономічних умов робочого місця користувачів ПК та перерви в роботі.

При введення даних кількість дрібних стереотипних рухів кистей і пальців рук за робочий час може перевищити 60 тис., що є небезпечним. Кожне натискання на клавішу сполучено зі скороченням м'язів та сухожилля, внаслідок чого можуть розвинутися хворобливі запальні процеси. Запальні процеси тканин сухожилля одержали загальну назву “травма повторюваних навантажень”.

Для запобігання “тунельного синдрому” робоче місце має бути зручним і ергомічним продуманим. Працюючи за клавіатурою, необхідно стежити, щоб кут згину руки в лікті був 90”.

Потрібно мати оптимальну висоту клавіатури від підлоги – 650-750 мм.

Комп'ютерна миша не повинна лежати на краю стола, щоб долонь при роботі не звисала, а була прямою і розслабленою. Лікоть руки також повинен лежати на столі.

Профілактичним заходом є опора для зап'ястя під час роботи. Нею може служити килимок для миші, клавіатура спеціальної форми, силіконові подушечки, вмонтовані в стіл.

Потрібно періодично робити перерви для проведення декількох вправ для рух.

3.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

д) Негативний вплив електромагнітних полів та випромінювань. Негативна дія електромагнітних полів, яка полягає в зниженні імунітету людини, а відповідно, сприяє загальній захворюваності. Однією з мір захисту є нормування їх напруженості у відповідності ДСН 3.3.6.096–2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів », винос потужного технологічного обладнання за межі робочої зони.

е) Незадовільні параметри повітряного середовища в робочій зоні, причинами є незадовільна робота систем опалення та повітрообміну, що може призвести до зниження комфортності праці та загальних захворювань.

Для нормалізації параметрів повітряного середовища в проекті передбачено: устрій технічних систем, які повинні забезпечувати параметри повітряного середовища у відповідності до норм, які вказані в таблиці 1, згідно СНиП 23-01-99 «Будівельна кліматологія».

Таблиця 3.1 Оптимальні фізичні параметри повітряного середовища цеху.

Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Холодний	18 - 22	40 - 60	0,1 – 0,3
Теплий	20 - 23	40 - 60	0,1 – 0,4

В теплий період року для зниження температури повітря в робочому просторі необхідно використовувати природну вентиляцію, або загально обмінну приточно-витяжну вентиляцію згідно ГОСТ.

є) Незадовільне освітлення робочої зони, що може бути пов'язано з виходом з ладу освітлювальних приладів або надмірної їх забрудненості. Це може призвести до погіршення зору, погіршення здатності розрізняти об'єкти, а внаслідок і до травмування.

Для забезпечення необхідного рівня виробничого освітлення слід дотримуватися вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування» з урахуванням характеру зорової роботи.

Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничого приміщення.

$$A \times B \times H = 16 \times 10 \times 4,5 \quad h_p = 0,8$$

Визначим рівень нормованого освітлення

$$E_n = 200 \text{ лк}$$

Вибір типу освітлення

$$\text{ЛСП} - \text{IP} = 64 \quad L/h = 1,3$$

Оцінка коефіцієнта запасу та коефіцієнта нерівномірного освітлення.

$$K_3 = 1,4 \quad Z = 1,1$$

Оцінка коефіцієнта відбиття приміщення

$$\rho_c = 70\%, \quad \rho_{ст} = 50\%, \quad \rho_{п} = 30\%$$

Чисельне значення індексу приміщення

$$i = AB / (h_3/A+B)$$

якщо h_3 не задано, то:

$$N_p = B / ((H-h_p) [L/h]) = 10 / ((4,5-0,8) \times 1,3) = 3$$

$$L_{\max} = 10 / 3 = 3,3$$

$$H = 3,5 / 1,3 = 2,56$$

$$h_3 = 4,5 - 0,8 - 2,56 = 1,14$$

$$i = 16 \times 10 / (2,56(16+10)) = 2,4$$

Визначимо коефіцієнт використання світлового потоку

$$\square = 60\%$$

Визначимо світловий потік лампи та загальну кількість освітлення.

Провести за схемою

$$\Phi_{\Sigma} = (200 \times 160 \times 1,4 \times 1,1) / 60 = 82133,33 \text{ лм}$$

Умовна загальна кількість світла

$$N^* = \Phi_{\Sigma} / N_{л} = 82133,33 / 29,38 = 2795,55$$

$$N_{л} = N^* \times h = 14,69 \times 2 = 29,38$$

Тип стандартної лампи

Лампа ЛБ 3200 лм

$$m = 2795 / 3200 = 0,87$$

$$N_{од} = N_{од} \times h = 12 \times 2 = 24$$

Загальний розрахунок освітлення E_p

$$E_p = (3200 \times 24 \times 0,6) / (160 \times 1,4 \times 1,1) = 187 \text{ лк}$$

Розрахунок загальної потужності освітлювальної установки

$$P_{\Sigma} = N_{л} \times P_{л} = 29,38 \times 40 = 1175 \text{ Вт}$$

3.4 Заходи з пожежної безпеки

ж) Аналіз пожежної безпеки

Пожежна безпека відповідно до ГОСТ 12.1.004-91 забезпечується наступними нормами:

- системою запобігання пожежі;
- системою пожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами щодо пожежної безпеки.

У досліджуваному приміщенні є в наявності тільки тверді і волокнисті пальні речовини: дерево, папір, тканина. Таким чином, робочі зони приміщення відносяться до класу П-ПаПУЭ-76/87, а приміщення до категорії по пожежонебезпеці згідно НАПБ.03.002-2007. Можливими причинами

пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління). Для гасіння пожежі в коридорі розташовані пінні вогнегасники ОХП-10, а в кожній кімнаті, де встановлені комп'ютери, додатково знаходяться вуглекислотні вогнегасники ОУ – 5 (2 шт). Також на сходовій клітині розташований пожежний кран.

Така кількість, розташування та умови зберігання первинних засобів пожежогасіння відповідають вимогам ISO 3941-77 та ГОСТ 12.4.009-89.

Система запобігання пожежі:

1. контроль і профілактика ізоляції;
2. наявність плавких вставок і запобіжників в електронному устаткуванні;
3. для захисту від статичної напруги використовується заземлення;
4. захист від блискавки будинку і устаткування відповідно до РД 34.21.122-87.

Система пожежного захисту:

1. аварійне відмикання і перемикання апаратури;
2. наявність первинних засобів пожежогасіння, вогнегасників ВВК-5, тому що вуглекислота має погану електропровідність, або порошкових вогнегасників;
3. система оповіщення, світлова і звукова сигналізація; захист легкозаймистих частин устаткування, конструкцій захисними матеріалами;
4. у помешканнях, де немає робочого персоналу встановлена автоматична система пожежного захисту.

Організаційні заходи протипожежної профілактики:

є вступний інструктаж під час вступу на роботу, навчання персоналу правилам пожежної безпеки; видання необхідних інструкцій і плакатів, засобів наочної агітації, плану евакуації персоналу у випадку пожежі.

Для попередження пожежі в приміщеннях, згідно вимогам ДБН передбачений пристрій системи пожежної сигналізації.

Як сигналізатори виникнення пожеж прийняті теплові повідомники типу ІП-105, димові повідомники типу ДІП-3.

Теплові і димові повідомники встановлюються на стелях відповідних приміщень.

Таким чином усі фактори пожежної безпеки задовольняють вимогам встановлених норм, згідно НАПБ А.01,001-95 та „Правила пожежної безпеки в Україні”.

3.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

з) Відповідальність за організацію і стан цивільної оборони за постійну готовність її сил і засобів до проведення рятувальних та інших невідкладних робіт (Р та ІНР) несе начальник ЦО, підприємства - її перший керівник.

Для планування заходів ЦО, підтримки готовності до дій у НС сил і персоналу, застосування засобів захисту і спеціального майна на підприємствах створюються штатні органи управління ЦО на правах основних підрозділів адміністрації підприємства або призначаються окремі штатні працівники.

На радіаційно та хімічно небезпечних підприємствах, а також на підприємствах, які залучаються до виконання завдань ЦО, незалежно від чисельності працівників, для безпосередньої організації і ведення робіт із планування, забезпечення і здійснення заходів ЦО призначається штатний працівник.

Основними завданнями адміністрації підприємств є:

- забезпечення захисту працівників і службовців на підприємстві;

- розробка і здійснення організаційних робіт та ІТМ з підвищення безпеки роботи ОГ і їх стійкості в умовах НС;
- керівництво створенням і оснащенням формувань для ліквідації наслідків НС, здійснення контролю за їх підготовкою;
- підготовка з питань ЦО керівного складу і контролю за підготовкою підлеглих органів і підрозділів.

Організаційну структуру ЦО промислового підприємства умовно можна поділити на: -керівництво ЦО; -служби ЦО; -формування ЦО.

До складу керівництва ЦО об'єкта входять: начальник ЦО (НЦО), заступники: по евакуації, якому підпорядкована евакомісія; по заміській зоні; по технічній частині, якому підпорядковується комісія з підвищення сталості роботи підприємства; начальник штабу, який є першим заступником НЦО підприємства. Тільки йому надане право віддавати розпорядження з питань ЦО від імені НЦО. Штаб ЦО підприємства є основним органом управління ЦО підприємства.

Штаб ЦО здійснює заходи щодо захисту робітників, службовців і населення підвідомчих робітничих мікрорайонів і селищ при стихійних лихах, виробничих аваріях і катастрофах, а також від сучасних засобів ураження. Організовує і забезпечує безупинне управління ЦО. Розробляє плани ЦО об'єкта на мирний і воєнний час, періодично коректує й організовує їх виконання. Організовує і контролює навчання робітників та службовців з Цивільної оборони і підготовку формувань ЦО об'єкта.

На об'єкті в залежності від характеру виробничої діяльності і наявності бази створюються служби ЦО: оповіщення і зв'язку, медична, протирадіаційного і протихімічного захисту, охорони громадського порядку, протипожежна, енергопостачання і світломаскування, аварійно-технічна, сховищ і укриттів, транспортна, матеріально-технічного постачання й ін. На них покладається виконання спеціальних заходів і забезпечення дій формувань при проведенні рятувальних та інших невідкладних робіт.

Керівництво служби здійснюється їх начальниками, що призначаються наказом начальника ЦО об'єкта з числа керівників відділів, цехів, на базі яких створені ці служби.

Служба оповіщення і зв'язку звичайно створюється на базі вузла зв'язку об'єкта. На службу покладається: організація своєчасного оповіщення керівного складу, робітників та службовців і населення робітничих селищ об'єкта про загрозу нападу противника; організація зв'язку та підтримка його в стані постійної готовності. Крім того, служба усуває аварії на мережах і спорудах зв'язку, що містяться у вогнищах ураження.

Медична служба організовується на базі медсанчастини (медпункту, поліклініки) об'єкта, начальник служби – головний лікар. Служба забезпечує комплектування, навчання і підтримку в готовності медичних засобів індивідуального захисту, медичну розвідку і санітарно-епідеміологічне спостереження. Надає медичну допомогу ураженим і евакуює їх до лікувальних установ, здійснює медичне забезпечення робітників, службовців і членів їх родин у місцях евакуації.

Служба протирадіаційного і протихімічного захисту розробляє і здійснює заходи щодо захисту людей, харчувальних блоків.

Служба сховищ і укриттів організовується на базі відділу капітального будівництва, житлом-комунального відділу, будівельних цехів. Вона займається: розробкою розрахунків укриття робітників, службовців, населення робітничих селищ об'єкта, забезпеченням готовності сховищ і укриттів та контролем за правильністю їх експлуатації, організацією будівництва захисних споруд. На її особовий склад покладається забезпечення своєчасного заповнення сховищ і укриттів за сигналами оповіщення Цивільної оборони. Крім того, ця служба бере участь у рятувальних роботах при розкритті завалених сховищ і укриттів.

Транспортна служба розробляє і здійснює заходи щодо забезпечення перевезень, пов'язаних з розосередженням робітників, службовців доставкою їх до місця роботи, організовує підвезення сил і засобів до вогнища ураження, готує транспорт для перевезень робітників, службовців, евакуації уражених, а також для інших цілей Цивільної оборони, проводить роботи по знезаражуванню транспорту.

Служба матеріально-технічного постачання розробляє план матеріально-технічного постачання об'єкта, організовує ремонт техніки і різного майна, підвезення його до ділянок робіт, збереження й облік, забезпечує продовольством і предметами першої необхідності робітників та службовців як на самому підприємстві, так і в місцях розосередження. На невеликих об'єктах господарювання служби ЦО не створюються, їх функції при проведенні необхідних заходів виконують структурні органи управління цих об'єктів. Начальником штабу ЦО звичайно призначається наказом директора один із працівників даного об'єкта.

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ НАУКОВОГО-ТЕХНІЧНИХ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ, ПРОЕКТНИХ ТА КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ

4.1 Характеристика ринку матеріалу, що досліджується

Нержавіючий металопрокат потрібний практично у всіх сферах виробництва і промисловості. Компанія ТОВ «ТАКТ» реалізує вироби для потреб оптових і роздрібних споживачів, зокрема в асортименті є і круги сталеві 08X18H10T з нержавіючої сталі.

Компанія ТОВ «ТАКТ» виготовляє і реалізує вироби з нержавіючого металопрокату за типовими розмірами, а також за індивідуальними. ТОВ «ТАКТ» - лідер металопрокату в Україні з власними виробничими потужностями.

Головна характеристика є підвищену корозійну і жаростійкість в цій високолегованій нержавіючій сталі.

Таблиця 4.1 – Хімічний склад сталі 08X18H10T

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
До 0,08	До 0,8	До 2	9 – 11	До 0,02	До 0,035	17 – 19	До 0,3	~65

Цей хімічний склад є самим оптимальним для досягнення високої корозійної стійкості, однак, виплавка сталі вимагає досить суворого дотримання технологічних норм. В іншого боку матеріал нерідко піддається між кристалітної корозії. З дослідів видно, що в структурі виникає корозія, де вміст Cr менше ніж 7%, а Ni – 13%. Головна проблема є вигорання цих

хімічних елементів при неправильному переплавленні нержавійки. Зрозуміло, до яких наслідків ця корозія може привести при виникненні в таких відповідальних деталях, як, наприклад, фланці.

Таблиця 4.2 – Технологічні властивості сталі 08X18H10T

Кування	Температура кування, °C: початок 1220, кінець 900. Перетин до 300 мм охолодження на повітрі.
Зварюваність	Зварюється без обмежень. Способи зварювання: ручне дугове зварювання, автоматична дугова зварка, електрошлакове зварювання, контактне зварювання.
Обробляється різанням	При HB 143 и $\sigma_B = 510$ МПа: K_v твердий сплав = 1,1; K_v швидкоріжуча сталь = 0,35.

Дивлячись на мікроструктуру сталі цієї марки, відразу помітний аустеніт. Досягається подібний ефект виключно загартуванням матеріалу. Згодом, при нагріванні, аустенітні зерна починають виділяти карбід хрому, що негативно впливає і на пластичні властивості сталі, і на схильності до корозії. В цьому випадку величезну роль грає правильний гарт. Ще одна особливість нержавійки 08X18H10T – відмінна полируємість. Це дозволяє знаходити матеріалу широке застосування в автомобілебудуванні (колектори вихлопних систем), машинобудуванні, електроенергетиці, паливній промисловості та навіть архітектурі. В цілому, марка 08X18H10T відрізняється надійністю і довговічністю, тому часто виступає недорогою альтернативою цілій низці інших нержавіючих сплавів.

4.2 Розрахунок кошторису витрат на практичну реалізацію дипломного проекту

У складі витрат на реалізацію проекту враховується вартість всіх ресурсів, необхідних для реалізації комплексу робіт.

З метою визначення витрат на реалізацію проекту слід скласти кошторис витрат (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Кошторис витрат на реалізацію проекту

Статті витрат	Умовне позначення	Сума	
		грн.	частка, %
Матеріали, покупні вироби і напівфабрикати (за відрахуванням відходів, що реалізуються)	ΣM	105,84	0,09
Спеціальне устаткування для реалізації проекту	$C_{\text{МІМ}}$	5 443,2	4,75
Основна і додаткова заробітна плата виробничого персоналу	$\Sigma \text{ЗП}_{\text{п}}$	44 220,21	38,56
Відрахування на соціальне страхування (від суми основної і додаткової заробітної плати)	$B_{\text{ст}}$	9 728,43	8,48
Витрати на відрядження	Відр	3 651,21	3,18
Роботи і послуги сторонніх організацій	ВПСО	15 000	13,08
Накладні витрати	$B_{\text{н}}$	36 512,1	31,85
Всього витрати на реалізацію проекту	ΣK	114 660,99	100

4.2.1 Розрахунок вартості матеріалів

Таблиця 4.4 – Розрахунок вартості матеріалів

Матеріал	Марка, ГОСТ, ДСТУ, ТУ	Кількість	Ціна за одиницю, грн/кг	Витрати за матеріали
Транспортно-заготівельні витрати	08X18H10T	1	98	7,84
Всього з урахуванням транспортно-заготівельних витрат			105,84	8,47

Ціни на матеріальні ресурси визначають за відповідними прайс-листами. Транспортно-заготівельні витрати: 8% від вартості матеріалів.

Транспортно-заготівельні витрати:

Витрати за матеріали:

$$B_M = 98 \times 8\% = 7,84 \text{ грн}$$

Всього з урахуванням транспортно-заготівельних витрат:

Ціна за одиницю:

$$\Sigma M = 98 + 7,84 = 105,84 \text{ грн/кг}$$

Витрати за матеріали:

$$\Sigma B_M = 105,84 \times 8\% = 8,47 \text{ грн}$$

4.2.2 Спеціальне устаткування

Транспортно-заготівельні витрати на МІМ: $40\,000 \times 8\% = 3\,200$ грн

Собівартість експлуатації, грн. / год – 10.

В день (тривалість робочого дня) – $8 \text{ год.} \times 10 \text{ грн/год} = 80$ грн

В місяць (21 робочий день) – $21 \times 80 = 1\,680$ грн

Експеримент триває 3 місяців – $3 \times 1\,680 = 5\,040$ грн

Транспортно-заготівельні витрати на МІМ:

В день (тривалість робочого дня) – $8 \text{ год.} \times 0,8 \text{ грн/год} = 6,4$ грн

В місяць (21 робочий день) – $21 \times 6,4 = 134,4$ грн

Експеримент триває 3 місяців – $3 \times 134,4 = 403,2$ грн

Сума витрат на спеціальні устаткування для реалізації –

$C_{\text{МІМ}} = 5\,040 + 403,2 = 5\,443,2$ грн

Таблиця 4.5 – Витрати на спеціальне устаткування

Перелік устаткування	Марка, ГОСТ, ДСТУ, ТУ	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Собівартість експлуатації, грн. / год.
Обладнання	Мікроскоп МІМ	1	40 000	10
Транспортно-заготівельні витрати			3 200	0,8
Всього			43 200	10,8

4.2.3 Розрахунок заробітної плати

Додаткова зарплата визначається в розмірі 8-10 % від основної заробітної плати штатних працівників.

$$Д_{зп} = 9\% \times О_{снзп}$$

$$Д_{зпК} = 9\,800 \times 9\% = 882 \text{ грн}$$

$$Д_{зпЛ} = 3\,723 \times 9\% = 335,07 \text{ грн}$$

Основна й додаткова заробітна плата по кошторису не повинна перевищувати 40 % кошторисної вартості.

$$ЗП_{К} = О_{снзп} + Д_{зп}$$

$$ЗП_{К} = 9\,800 + 882 = 10\,682 \text{ грн}$$

$$ЗП_{Л} = 3\,723 + 335,07 = 4\,058,07 \text{ грн}$$

$$\Sigma ЗП_{п} = ЗП_{К} + ЗП_{Л}$$

$$\Sigma ЗП_{п} = 10\,682 + 4\,058,07 = 14\,740,07 \text{ грн}$$

За весь час експеримента:

$$\Sigma ЗП_{п} \times 3 = 14\,740,07 \times 3 = 44\,220,21 \text{ грн}$$

Відрахування на соціальне страхування

Ці витрати визначаються в розмірі 22 % від основної й додаткової заробітної плати.

$$В_{ст} = 22\% \times ЗП$$

$$В_{стК} = 22\% \times 10\,682 = 2\,350,04 \text{ грн}$$

$$В_{стЛ} = 22\% \times 4\,058,07 = 892,77 \text{ грн}$$

За весь час експеримента:

$$\Sigma В_{ст} = 3(В_{стК} + В_{стЛ})$$

$$\Sigma В_{ст} = 3(2\,350,04 + 892,77) = 9\,728,43 \text{ грн}$$

Витрати на відрядження

Ці витрати можна визначити прямим рахунком залежно від відряджених працівників, тривалості відрядження й транспортних витрат. На стадії проектування можна прийняти рівними 8-10 % від суми основної заробітної плати.

$$\text{Відр} = 9\% \times \text{Осн}_{\text{зп}}$$

$$\text{Відр К} = 9\% \times 9\,800 = 882 \text{ грн}$$

$$\text{Відр Л} = 9\% \times 3\,723 = 335,07 \text{ грн}$$

$$\Sigma \text{Відр} = \text{ВідрК} + \text{ВідрЛ}$$

$$\Sigma \text{Відр} = 882 + 335,07 = 1\,217,07 \text{ грн}$$

За весь час експеримента:

$$\Sigma \text{Відр} = 3 \times 1\,217,07 = 3\,651,21 \text{ грн}$$

Витрати на послуги сторонніх організацій

У цю статтю витрат включається оплата робіт і виробничих послуг, проведених іншими організаціями при виконанні даної дослідницької роботи у відповідності із укладеними договорами.

$$\text{ВПСО} = 15\,000 \text{ грн за весь час експерименту}$$

Накладні витрати

Накладні витрати по реалізації проекту визначаються у відсотках від основної заробітної плати її виконавців (у межах 80-100%). До них відносяться витрати, пов'язані з керуванням, змістом і експлуатацією устаткування й приміщень, створенням необхідних санітарно-гігієнічних умов.

$$\text{В}_{\text{н}} = 90\% \times \text{Осн}_{\text{зп}}$$

$$B_n K = 90\% \times 9\,800 = 8\,820 \text{ грн}$$

$$B_n Л = 90\% \times 3\,723 = 3\,350,7 \text{ грн}$$

За весь час експеримента:

$$\Sigma B_n = 3(B_n K + B_n Л) = 3(8\,820 + 3\,350,7) = 36\,512,1 \text{ грн}$$

Таблиця 4.6 – Розрахунок основної заробітної плати

№	Посада	Основна заробітна плата (Осн _{зп})	Додаткова заробітна плата (Д _{зп})	Відрахування соціального страхування (В _{ст})	Відрахування (Відр)	Накладні витрати (В _н)
1	Керівник (доцент)	9 800	882	2 350,04	882	8 820
2	Лаборант	3 723	335,07	892,77	335,07	3 350,7
Всього		13 523	1 217,07	3 242,81	1217,07	12170,7
За тривалість експеримента (3місяця)		40 569	3 651,21	9 728,43	3651,21	36512,1

4.2.4 Бальна оцінка економічної ефективності проекту

Маркетингові дослідження, проектні розробки , прямий підрахунок економічної ефективності по яких не представляється можливим, оцінюють за допомогою бальної системи (табл. 4.7)

Бальна оцінка проводиться по наступних найважливіших показниках:

- важливість розробки K_1 ;
- можливість використання результатів розробки K_2 ;
- теоретична значимість і рівень новизни дослідження K_3 ;
- складність розробки K_4 .

Шкала оцінок можливості використання результатів розробки K_2 , оцінки теоретичної значимості й рівня новизни, оцінки показників складності наведені в таблицях 4.8, 4.9, 4.10.

Таблиця 4.7 – Шкала для оцінки важливості розробки K_1

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

Таблиця 4.8 – Шкала оцінки теоретичної значимості й рівня новизни дослідження К₂

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

Таблиця 4.9 – Шкала оцінки можливості використання результатів розробки К₃

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

Таблиця 4.10 – Шкала оцінки показників складності дослідження K_4

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

$$K_1 = 5; K_2 = 3; K_3 = 1; K_4 = 5$$

Загальна оцінка встановлюється за добутком коефіцієнтів:

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

$$Pc = 5 \times 3 \times 1 \times 5 = 75$$

Питомий ефект на кожний бал – 2 000 грн.

Загальний ефект від розробки складає:

$$E = 2000 \times Pc$$

$$E = 2\,000 \times 75 = 150\,000$$

Економічна ефективність від реалізації дипломного проекту:

$$K_E = E / \Sigma K$$

$$K_E = 150\,000 / 114\,660,99 = 1,3$$

Висновок: розраховано кошторист витрат на реалізацію проекту $\Sigma K = 114\,660,99$, та економічну ефективність, яка становить $K_E = 1,3$ і це свідчить 30% до реалізації проекту.

ВИСНОВКИ

1. Як відомо, з літературних джерел, в основах кінетики росту зерен покладають параболічний закон росту, який базується на використанні, як основи потенціальних рушійних сил, що не відповідає нормальній картині структурних змін. Тому виникла необхідність зробити деякі уточнення в деталях механізму росту зерен чистими межами, так і з межами що містять частинки надлишкових виділень. Це дасть змогу більш правильно трактувати кінетику необоротних процесів, що відбувається при термічній обробці в матеріалі.

2. В даній роботі розроблено нова концепція міграції меж зерен з урахуванням наявності двовимірних дефектів топологічних типів. Це дозволяє узгодити реальну картину зміни росту зерен. Таким чином появи нових топологічних дефектів.

3. Основні заходи охорони праці є:

- підвищення продуктивності праці за рахунок правильного розташування обладнання;
- зниження ризику отримання травм на ділянці при роботі з високотехнологічним обладнання ;
- зменшення витрати на ліквідацію наслідків нещасних випадків, аварій та техногенних катастроф.

4. Було розраховано кошторист витрат на реалізацію проекту $\Sigma K = 114\,660,99$, та економічну ефективність, яка становить $K_E = 1,3$ і це свідчить 30% до реалізації проекту.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коваль А.Д., Ольшанецкий В.Ю. Влиянии микродобавок редкоземельных металлов на энеогию границ зерен никеля : Изв. АН СССР. Металлы. 1972. С. 124-132.
2. Ольшанецкий В.Е., Степанова Л.П., Войтович Н.А. Неметаллические включение и газы в литейных сплавах: тез. докл. четвертой респ. научн.-техн. конф. 10-12 сентября 1985 г. Запорожье (ЗМИ), С. 103-104.
3. Лавренко А.С., Ольшанецкий В.Е., Натапов Б.С. Физика металлов и металловедение: Т. 51, Вып. 5, 1981. С. 1029-1036.
4. Ольшанецкий В.Е., Лавренко А.С., Левин И.Б. Физика металлов и металловедение: Т. 57, Вып. 5, 1984. С. 1023-1025.
5. Гайдук В.В., Натапов Б.С., Ольшанецкий В.Е. Физика металловедение: Т. 26, Вып. 5, 1968. С. 853-859.
6. Натапов Б.С., Ольшанецкий В.Е. Влияние адсорбционной активности элементов на характер пограничного распределения избыточных фаз / тезисы Всесоюзной конференции по жаропрочным сплавам. – М., 1964. ДСП.
7. Влияние адсорбционной активности редких и редкоземельных металлов (РЗМ) на структуру пограничных зон и свойства сплавов // Редкоземельные металлы в сплавах, III. – Киев-Одесса: Институт проблем литья, АН УССР, 1969. С. 50-55.
8. Eggers H. Mitteilungen aus dem Kaiser-Wilhelm Institut fur Eisenforschung Bd20, 1938. (№12). S. 147-152.
9. Haues E.T., Robertson F.N., O'Brien W.L. – Transaction of the American Society for the Metals. 1951. (№43). P. 888-905.
10. Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы – М.: Металлургия, 1969. 749 с.

11. Назаров Е.Г. Легирование и жаропрочность сплавов. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1973. (№1). С. 52-54.
12. Гайдук В.В., Натапов Б.С., Ольшанецкий В.Е. Влияние бора и церия на характер пограничного распределения избыточных карбидов в сложнолегированном никелевом сплаве ЖС. Т. 23. – Вып. 4, 1967. С. 685-689.
13. Степанова Л.П. Исследование состояния границ в никеле и железе с добавками рения, циркония и РЗМ с целью повышения свойств материала лопаток судовых ГТУ: автореф. дис. к-та техн. наук.: ДСП. Запорожье, 1982. 22 с.
14. Степанова Л.П., Войтович Н.А. Взаимодействие примесных атомов с границами зерен в чистом железе. *Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий*: тез. докладов III Всесоюзн. научн.-техн. конф. г. Запорожье, 26-28 ноября 1986 г. С. 16-17.
15. Коваль А.Д., Ольшанецкий В.Е., Рябцев С.И. Влияние РЗМ на энергетическое состояние границ зерен никеля и его сплавов. К.: ИПЛ АН УССР, 1971. С. 247-252.
16. Коваль А.Д., Ольшанецкий В.Е. Влияние микродобавок РЗМ на рекристаллизацию никеля 1972. №6. С. 128-131.
17. Коваль А.Д., Натапов Б.С., Ольшанецкий В.Е. Характере взаимодействия РЗМ с границами зерен никеля и его сплавов 1969. 263 с.
18. Коваль А.Д., Ольшанецкий В.Е. Научные основы технологии и прогрессивные технологические процессы в машино- и приборостроении (материалы 3-й Всесоюз. научн.-техн. конф. 10-13 марта 1970 г.). – М.: МВТУ им. Баумана, 1970. С. 20-21.
19. Мак Лин Д. Границы зерен в металлах: Металлургиздат, 1960. 322с.
20. Ларионов Л.Н. Физические основы прочности и пластичности металлов: Металлургиздат, 1963. 255 с.

21. Коваль А.Д., Олышанецкий В.Е. Об аномальном изменении зернограницной энергии никеля, микролегированного лантаном или цезием: Наукова думка, 1973. С. 67-72.

22. А.Д. Коваль, В.Е. Олышанецкий Теория и практика микролегирования и модифицирования сталей (материалы Респ. наук.-техн. 7-9 декабря 1971 г.) г. Донецк, 1971. С. 76-77.

23. Лариков Л.Н. Механизм и кинетика залечивания макро- и микродефектов в металлах: Наукова думка, 1975. С. 3-17.

24. Олышанецкий В.Е., Степанова Л.П., Коваль А.Д. Об оценке относительной зернограницной энергии в никеле и железе, микролегированных лантаноидом и иттрием.: Наукова думка, 1976. С. 82-90.

25. Олышанецкий В.Е., Степанова Л.П. Об оценки энергии активации роста зерен в металлургических системах на основе никеля и железа: 1982. Т. 4. (№2). С. 101-107.

26. Олышанецкий В.Е., Степанова Л.П. Метод оценки энергетических параметров процесса роста зерен в металлах и сплавах. Новое в развитии металлографических, физических и механических методов контроля качества металлопродукции: тез. докл XVIII коллокви. центр. заводск. лабор., Днепропетровск, 1976. 85 с.

27. Олышанецкий В.Е. О миграции межзеренных границ общего типа: 2006. С. 9-15.

28. Олышанецкий В.Е. Потенциальные и реальные движущие силы миграции границ для плоских и объемных моделей зеренной структуры. Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий: Тез. докл. Всесоюзн. научн.- техн. конф. 10-14 октября 1989 г. Запорожье, 1989. С.26-27.

29. Бурке Дж., Тарнбалл Д. Рекристаллизация и рост зерен: Металлургиздат, 1956. (вып.1). С.368-456.

30. Мартин Дж., Доэрти Р. Стабильность микроструктуры металлических систем. – М.: Атомиздат, 1978. – 280 с.
31. Kelvin. – Phil. Mag., 1887, 24, P.503. – Proc. Roy. Soc. 1894, A55, p.1.
32. Plateau T. Statique experimental et thevrique des liquides, Ghent, 1873.
33. Desch C.H. – T. Inst. Met., 1919, 22, p.241.
34. Олышанецкий В.Е. О миграции межзеренных границ общего типа.
2. Законы роста двумерных и трехмерных моделей зеренной структуры: 2006. С.8-19.
35. Штремель М.А. Прочность сплавов. Ч.1. Дефекты решетки. – М.: Металлургия, 1982. 278 с.
36. Олышанецкий В.Е. Общие закономерности структурных изменений при термической обработке /глава 1/ // Термическая обработка металлов / автор остальных глав – Б.С.Натапов /. – К.: Вища школа, 1980. С. 7-38.
37. Олышанецкий В.Е. Топологические дефекты двумерной зеренной структуры как центры интегрального роста зерен – ячеек. Эволюция дефектов и законов роста во времени // Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий: Тез. докл. IV Всесоюзн. научн.- техн. конф. 10-14 октября 1989. г. Запорожье, 1989. С.28-29.
38. Олышанецкий В.Е. О миграции межзеренных границ общего типа.
3. Теоретическое обоснование приближенных разновидностей логарифмического закона роста зерен и особые случаи миграции межзеренных границ: 2007. С. 8-16.
39. Smith C.S. – Trans AIME, 1948, 175, p.15.
40. Кривоглаз М.А., Масюкевич А.М., Рябошапка К.Н. О диффузионном увлечении частиц и пор движущейся границей : 1967. Т.24. (Вып.6). 1129 с.
41. Олышанецкий В.Е. О кинетике параллельного кооперативного роста двухфазных пластинчатых структур: Машиностроение.2003. (№3). С.3-5.

42. Люкке К., Штюве Г.-П. Теория движения границ зерен: Металлургия, 1966. С. 157-194.

43. Ольшанецкий В.Ю., Кононенко Ю.І., Овдієнко Л.В. Про конкуренцію кінетик міграції міжзеренних меж у присутності рухомих та нерухомих примежових дрібних частинок надлишкової фази.

44. Ольшанецкий В.Е. Кинетика и законы роста зерен в слабогетерогенных сплавах с диспергированной фазой выделения: тезисы докладов V научн.-техн. конф. Запорожье, ЗМИ, 1992. С.23-27.

45. Дурягіна З.А., Ольшанецкий В.Ю., Кононенко Ю.І. Структурно-енергетичний стан внутрішніх та зовнішніх меж поділу у металевих системах (монографія). – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 456 с.