

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Механічний факультет

Кафедра технології металів і матеріалознавства ім. О. М. Петриченко

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ
ТА ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ ВТ22

Завідувачка кафедри, д-р техн. наук, проф.



підпис

Діана ГЛУШКОВА

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доц.



Юрій ДУДУКАЛОВ

Керівник, доц.



Тетяна ПРОТАСЕНКО

Студент гр. МС-61-24



Владислав ЄЛФІМОВ

Харків – 2025

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет механічний
Кафедра технології металів і матеріалознавства ім. О.М. Петриченко
Освітній рівень другий (магістерський)
Спеціальність G8 Матеріалознавство
Освітня програма «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри
Діана ГЛУШКОВА



підпис

« 11 » жовтня 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

СЛФІМОВУ Владиславу Вадимовичу

1. Тема роботи: «Вплив параметрів хіміко-термічної обробки на структуру та властивості сплаву VT22»

Керівник Протасенко Тетяна Олександрівна, доцент.

Затверджені рішенням Вченої ради механічного факультету від «8» жовтня 2025 року протокол № 155.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 08.12.2025 р.

3. Вхідні дані до роботи: звіт по переддипломній практиці, вимоги до експлуатаційних властивостей матеріалу.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1 Літературний огляд за темою кваліфікаційної роботи та постановка задач досліджень. 2 Методики експериментальних досліджень. 3 Науково-дослідницька частина. 4 Економічне обґрунтування 5 Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Ілюстративний матеріал до кваліфікаційної роботи бакалавра (16 слайдів)


6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 11 жовтня 2025 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд за темою кваліфікаційної роботи та постановка задач досліджень	20.10.2025	
2	Методики експериментальних досліджень	30.10.2025	
3	Науково-дослідницька частина	10.11.2025	
4	Економічна частина і охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.11.2025	
5	Формування висновків по роботі. Оформлення кваліфікаційної роботи	25.11.2025	
6	Підготовка презентації і доповіді	1.12.2025	

Студент



Владислав СЛФІМОВ

Керівник роботи



Тетяна ПРОТАСЕНКО

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційнаа робота: 74 с., 46 рис., 13 табл., 1 додаток, 27 джерел
ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ТИТАТОВИЙ СПЛАВ VT22, ЦЕМЕНТАЦІЯ, КАРБЮРИЗАТОР, ГЛИБИНА ШАРУ, ТВЕРДІСТЬ

Об'єкт дослідження – процес дифузійного насичення вуглецем зразків з титанового сплаву VT22.

Мета дослідження – визначення впливу різних технологічних параметрів ХТО на структуру та властивості титанового сплаву після проведення цементації.

Метод дослідження – визначення характеристик утворення дифузійного шару у сплаві VT22 після проведення цементації у твердому карбюраторі за різними режимами.

Для досягнення поставленої мети було проведено літературний огляд різноманітних джерел щодо цементації титанового сплаву VT22; описано процес підготовки до цементації, процес проведення цементації та процес виготовлення шліфів.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – пошук оптимальних параметрів проведення процесу хіміко-термічної обробки сплаву VT22.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналітичний огляд джерел інформації.....	7
1.1 Загальна характеристика титанових сплавів, використання їх в промис- ловості.....	7
1.2 Структурна класифікація сплавів титану.....	8
1.3 Зміцнення двофазних $\alpha+\beta$ -сплавів.....	11
1.4 Травлення зразків.....	16
1.5 Характеристика сплаву VT22.....	17
1.6 Вибір напрямку дослідження.....	23
2 Теоретичні та експериментальні дослідження.....	25
2.1 Матеріал дослідження.....	25
2.2 Методика експерименту.....	26
3 Узагальнення та оцінка результатів досліджень.....	31
3.1 Результати вимірювання мікротвердості цементованих зразків.....	31
3.2 Результати дослідження глибини зміцненого шару.....	43
3.3 Результати досліджень величини зерна.....	45
3.4 Результати дослідження структури цементованих зразків.....	46
4 Економічна частина.....	56
4.1 Розрахунок економічного ефекту.....	56
4.2 Планування виконання дипломної роботи.....	60
5 Охорона праці та навколишнього середовища.....	62
5.1 Загальні питання охорони праці та навколишнього середовища.....	62
5.2 Виробнича санітарія.....	63
5.3 Міри безпеки.....	68
5.4 Пожежна безпека.....	69
5.5 Захист навколишнього середовища.....	70

Висновки.....	71
Перелік посилань	72
Додаток А. Ілюстративний матеріал до кваліфікаційної роботи магістра.....	75

ВСТУП

Титанові сплави мають чудові експлуатаційні характеристики і в основному використовувалися у військовій промисловості на початку розробки, а військова промисловість пред'являє дуже високі вимоги до матеріалів, оскільки робоче середовище винищувачів та іншої техніки дуже суворе.

Чистий титан має найвище співвідношення міцності до ваги серед усіх металів на планеті, він такий же міцний, як сталь, але на 45 відсотків легший. В даний час вироби з титанових сплавів в основному використовуються в авіаційних двигунах, фюзеляжі літаків, ракетах тощо, на підводних човнах він також широко використовується. Використання титанових сплавів дозволяє знизити вагу виробів, хоча вартість матеріалу відносно висока.

Технологічність титанових сплавів в металургійному і машинобудівному виробництвах є достатньою для виготовлення практично будь-яких деталей і вузлів. Тому основними чинниками, що визначали до недавнього часу сферу і об'єми застосування титанових сплавів, були їх вартість і дефіцитність.

Таким чином, сучасний рівень знань в області сплавів титану, виключно сприятливе поєднання характеристик цих матеріалів для виробів машинобудування, економічний ефект, що отримується при їх використанні, дозволяє передбачати, що найближчими роками титан і його сплави знайдуть ще ширше вживання.

Розширити галузь використання титанових сплавів може й термічна обробка. Існує багато простих методів поверхневого зміцнення титану, які є досить перспективними для використання. Зміцнений шар на титані отримують з метою підвищення твердості та зносостійкості поверхні, досягнення особливих електрохімічних та електрофізичних характеристик.

Правильна побудова технології і вибір оптимальних режимів термообробки та хіміко-термічної обробки дозволяють набувати досить високих значень і характеристик працездатності для цього класу машинобудівного матеріалу.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1.1 Загальна характеристика титанових сплавів, використання їх в промисловості

За своїм комплексом фізико - механічних властивостей титанові сплави є універсальним конструкційним матеріалом, що поєднує відсутність холодноламокості алюмінію і аустенітних сталей, високу корозійну стійкість кращих мідно-нікелевих сплавів і нержавіючих сталей, вищу питому міцність, ніж у більшості конструкційних матеріалів. Тому потенційно титанові сплави ефективні як авіаційні й космічні матеріали, матеріали для хімічної промисловості, суднобудування і таке інше, аж до матеріалів тари для зберігання отрутохімікатів і добрив в сільському господарстві.

Технологічність титанових сплавів в металургійному і машинобудівному виробництвах достатня для виготовлення практично будь-яких деталей і вузлів. Тому основними чинниками, що визначали до недавнього часу сферу і об'єми вживання титанових сплавів, були їх вартість і дефіцитність.

Навіть достатньо короткий перелік прикладів використання титана і його сплавів в промисловості свідчить про те, що технічна ефективність від використання його порівняно з багатьма традиційними матеріалами очевидна.

Таким чином, сучасний рівень знань в області сплавів титану, виключно сприятливе поєднання характеристик цих матеріалів для виробів машинобудування, економічний ефект, що отримується при їх використанні, дозволяє передбачати, що найближчими роками титан і його сплави знайдуть ще ширше вживання [1].

1.2. Структурна класифікація сплавів титану

Титан — поліморфний метал, він може існувати в двох модифікаціях: α і β . Поліморфне $\alpha \leftrightarrow \beta$ - перетворення титану при нагріві й охолодженні від-

бувається при $882,5^{\circ}\text{C}$. Низькотемпературна α - модифікація має гексагональну щільноупаковану кристалічну решітку. Високотемпературна β - модифікація титану має об'ємно - центровану кубічну кристалічну решітку [2].

Значення температури поліморфного перетворення в титані вельми стабільно: охолодження зі швидкістю в декілька сотень або тисяч градусів в секунду не змінює її величини, і лише при швидкості охолодження біля $10000^{\circ}\text{C}/\text{с}$ виявляється зниження температури перетворення приблизно на 30° .

Істотна зміна температури поліморфного перетворення може бути досягнута за рахунок легування. Всі елементи, присутні в титані (домішки і ті, що спеціально вводяться для його легування), можуть бути згруповані за впливом на поліморфізм. Елементи, що підвищують температуру поліморфного α - β - перетворення і розширюють область існування α -модифікації, відносяться до групи α -стабілізаторів. До цієї групи входять Al, Ga, Se, O, C, N. Зазвичай α -стабілізатори підрозділяються на дві підгрупи: ті, що створюють з α -фазою титану тверді розчини заміщення і розчини впровадження. У міру збільшення вмісту α - стабілізуючого елемента підвищується температура α і β - перетворення, причому переохолоджувати β - фазу до температур, які лежать нижче границі $\beta + \alpha \leftrightarrow \alpha$ переходу, неможливо навіть при значних швидкостях охолодження. Усі α - стабілізатори мають обмежену розчинність як в α -, так і в β - модифікаціях титану [3].

До групи β -стабілізаторів відносяться елементи, що знижують температуру поліморфного $\beta \rightarrow \alpha + \beta$ - перетворення титану і звуження існування області α -фази. До цієї групи входить велика частина металевих елементів (Hf, Zr, Nb, V, Mo, Ta, Sn, Cr, Co, Ni і ін.), а також водень. Усі β -стабілізуючі елементи у свою чергу можна розділити на три підгрупи.

Цирконій і гафній створюють безперервний ряд твердих розчинів з α і β - модифікаціями титану.

Елементи, ізоморфні β - модифікації титану, що створюють із нею безперервний ряд твердих розчинів і, що обмежено розчиняються в α - модифікації: Та, V, Мо.

Елементи, які обмежено розчинні як в β -, так і в α - модифікаціях титану і при вмісті понад межі розчинності створюють з титаном інтерметалідні з'єднання: Mn, Cr, Fe, Cu, Co.

Як ізоморфні, так і ті, що створюють евтектику, β - стабілізатори знижують температуру мартенситного перетворення в титані.

Не дивлячись на різноманітність стабільних і нестабільних фаз, які можуть бути присутніми в сплавах титану, залежно від вигляду і кількості легуючих елементів і режиму термообробки, структурну класифікацію їх прийнято проводити, ґрунтуючись на співвідношенні основних фаз — α і β .

Відповідно до викладеного, титанові сплави можна підрозділити на наступні групи: α - сплави, «бетовані» α - сплави α і β - сплави і β - сплави.

Група α - сплавів включає нелегований титан, сплави, що містять лише α - стабілізатори, або β - стабілізатори в кількості, що не перевищує межю їх розчинності в α - фазі. Структура таких сплавів після деформації і відпалу, як правило, представлена лише α - фазою. До α – сплавів відносяться нелегований титан марок ВТ 1-00, ВТ1-0, сплави ВТ5, 4200, ПТ-7М і ін.

Бетовані α - сплави (або псевдо - α - сплави) містять окрім α – стабілізаторів β - стабілізатори у кількості, що дещо перевищує межю їх розчинності в α -фазі. У структурі сплавів цієї групи окрім α - фази міститься, як правило, до (2 – 4) % β -фази. До цієї групи відносяться сплави марок: ОТ4-0; ВТ4-1; ПТ-3В; ВТ20. В α - і бетованих α - сплавах при загартуванні із β - або з верхньої частини ($\alpha+\beta$) - області перетворення $\beta \rightarrow \alpha$ відбувається за мартенситним механізмом, але мартенситоподібна структура, що виникає при цьому не є пересиченим твердим розчином.

Двофазні $\alpha+\beta$ - сплави мартенситного типу містять значну кількість β - стабілізуючих елементів, але не вище за критичну концентрацію. До цієї групи відносяться вітчизняні сплави марок ВТ6С; ВТ3-1; ВТ14; ВТ16; ВТ22 і ін.

У сплавах цієї групи можуть бути два основні структурні стани:

- 1) після відпалу з подальшим повільним охолодженням формується рівноважна суміш α - і β - фаз;
- 2) при загартуванні з β - або верхній частині $\alpha + \beta$ - області утворюються мартенситні структури. При збільшенні вмісту β - стабілізаторів в сплаві збільшується міра пересичення мартенситу і стає можливою часткова фіксація β - фази [4].

Залежно від температури загартування і вмісту β - стабілізаторів фіксується або лише мартенсит, або α - фаза плюс мартенсит, мартенсит плюс β - фаза і тому подібне. Таким чином, якщо α - сплави обох груп незалежно від температури нагріву і швидкості охолодження знаходяться практично в рівноважному стані, то $\alpha + \beta$ - сплави можуть бути в самих різних станах: від рівноважних твердих розчинів до максимально пересичених і нерівноважних.

Сплави даної групи мають в даний час найбільше промислове вживання. Майже всі сплави групи містять (3 – 7) % Al. Основними стабілізаторами, що вводяться в них, є перехідні елементи VA-VIIIA груп періодичної системи, а саме ванадій, хром, молібден, марганець і залізо; сумарний вміст їх складає зазвичай (3 – 6) %. Значно рідше в сплави цього типу вводять олово, кремній, ніобій, тантал і інші елементи.

У β - сплавах титану, що містять β - стабілізатори в кількості, рівній або більшій критичній концентрації, мартенситне перетворення відсутнє, а роль швидкості охолодження зводиться до подавлення процесів дифузійного розпаду β - фази.

Група сплавів з інтерметалідним зміцненням включає сплави перших трьох груп, додатково легованих елементами, що вступають з титаном в швидкоплинну евтектоїдну реакцію. Разом з α - або $\alpha + \beta$ - фазами в структурі таких сплавів присутні інтерметалідні з'єднання.

1.3 Зміцнення двофазних $\alpha+\beta$ - сплавів

1.3.1 Легування сплавів

Багатокомпонентним легуванням $\alpha+\beta$ - сплавів можна досягти більшого ефекту в підвищенні властивостей міцності, чим при монолегуванні. Тому більшість промислових $\alpha + \beta$ – сплавів, окрім алюмінію, містять два і більш β - стабілізуючих елементів.

За рахунок легування на $\alpha+\beta$ - сплавах можна отримати межу міцності (110—120) кгс/мм² при досить високій пластичності ($\delta = (8 - 15) \%$). Таке поєднання властивостей у багатьох випадках вже виявляється достатнім, аби титанові сплави як конструкційні матеріали виявилися поза конкуренцією в порівнянні з іншими металами.

1.3.2 Термічна обробка

Підвищення міцності $\alpha+\beta$ - сплавів може бути досягнуто не лише легуванням, але і термічною обробкою. Істотне підвищення міцності $\alpha+\beta$ - сплавів за рахунок термообробки (до (130 - 155) кгс/мм²) призводить до отримання досить низьких значень пластичності ($\delta = (5 - 6) \%$), що може утрудняти реалізацію такого високоміцного стану. Це є основною причиною того, що значний об'єм промислових $\alpha+\beta$ - сплавів використовується в термічно незміцненому стані. В цьому випадку комплекс їх властивостей визначається системою легування і структурою напівфабрикату [5].

В результаті швидкого охолодження $\alpha+\beta$ - сплавів з β – області, відбувається бездифузійне мартенситне перетворення $\beta \rightarrow \alpha'(\alpha'')$. Утворення мартенситної структури супроводжується значним підвищенням характеристик міцності і зниженням характеристик пластичності. Зі збільшенням концентрації β - стабілізаторів підвищується міцність і зниження пластичності зростає.

Фазовий склад $\alpha+\beta$ - сплавів, співвідношення і дисперсність фаз, а отже, і комплекс фізико - механічних властивостей можуть істотно змінюватися залежно від режиму термообробки в температурному інтервалі двофазної області. При загартуванні двофазних сплавів з $\alpha+\beta$ - області залежно від температури загартування можна отримати структури, що складаються з $\alpha+\alpha'$ -фаз, або з $\alpha+\beta_{\text{нестаб}}$. Як α' -фаза, так і β -фаза є нестабільними і можуть розпадатися при нагріві на суміш α і β – фаз. Таким чином, зміцнення $\alpha+\beta$ - сплавів за рахунок термічної обробки можна досягти двома шляхами: загартування на α' -фазу (або загартування на α' -фазу і додаткове низькотемпературне старіння); загартування на нестабільну β - фазу і подальше старіння [6].

Зміцнююча термообробка за другим варіантом має ряд переваг. По-перше сплави, структура яких після загартування складається з $\alpha+\beta_{\text{нестаб}}$ фаз, мають високу пластичність при низькому значенні межі текучості, що дозволяє перед старінням проводити різні технологічні операції напівфабрикатів в холодному стані. По - друге, нестабільна β - фаза може бути зафіксована при охолодженні з порівняно невеликою швидкістю, що призводить до отримання однорідної структури при загартуванні навіть напівфабрикатів великих перетинів. Тому зміцнююча термообробка промислових сплавів титану, як правило, полягає в загартуванні з нижньої частини $\alpha + \beta$ - області з метою отримання структури, що складається з α - фази і максимально можливої кількості нестабільної β - фази, і подальшому старінні, що призводить до розпаду $\beta_{\text{нест}}$ з утворенням мілкодисперсної суміші $\alpha+\beta$ - фаз. Температура загартування знаходиться в інтервалі (820 - 880) °С, а температура старіння — (480 – 550) °С.

Для виробів і конструкцій з $\alpha+\beta$ - сплавів, що піддаються зміцнюючій термообробці, температурні умови експлуатації, як правило, обмежуються верхнім інтервалом температури старіння, оскільки перегрів вище за температуру старіння може привести до зменшення міцності.

Широко відомий метод підвищення міцності титанових сплавів — високотемпературна термомеханічна обробка. Термомеханічна обробка $\alpha+\beta$ - сплавів може призвести до підвищення міцності на 20 % в порівнянні з

міцністю сплаву після звичайного загартування і старіння, при збереженні тієї ж пластичності.

1.3.3 Хіміко – термічна обробка

1.3.3.1 Цементация

Цементации титана і його сплавів присвячено багато робіт [7 - 9]. В одному з перших досліджень титан цементувався в суміші аргону від 0,05 % до 5,0 % окислу вуглецю, пропаном або метаном. При вмісті в суміші 5 % CO зовнішній шар досягав 10 мкм, далі знаходилась зона твердого розчину кисню в α – Ti.

Обробка в суміші аргону з пропаном або метаном призводила до насичення воднем, що різко знижувало пластичність титану.

Товщина карбідного шару в цих випадках виявилася ще меншою. Карбідні шари завтовшки менше 7,5 мкм мали високу мікротвердість і значну зносостійкість; товщі шари виявилися досить крихкими.

Вживання як карбюризатора деревинного вугілля дозволило отримати глибші дифузійні шари, ніж при азотуванні. Розподіл твердості по глибині шару в цьому випадку показаний на рисунку 1.1. Мікроструктура дифузійного шару в зовнішній частині складалася з карбїду титану, за яким слїдував твердий розчин зі змінною концентрацією вуглецю [7, 8, 9].

На рисунку 1.1. [10] показана зміна мікротвердості по глибині дифузійного шару титану, який був оброблений у порошку деревинного вугілля при 850° C (а) і 900° C (б).

При цьому методі поверхневий шар титану насичується не лише вуглецем, але і киснем і, можливо, азотом і воднем: тому в результаті цементации зростають крихкість як серцевини, так і дифузійного шару. Проте зменшення міцності після дифузійного насичення вуглецю значно менше, ніж при азотуванні. Крім того, цементация в твердому карбюризаторі дозволяє отримувати дуже високі поверхневу твердість і зносостійкість.

$H, \text{ кг/мм}^2$


1 – 8 год., 2 – 16 год., 3 – 24 год., 4 – 48 год.

а) – 850° С, б) – 900° С

Рисунок 1.1 – Зміна мікротвердості по глибині дифузійного шару титану, що оброблений в порошку деревинного вугілля [10]

При тривалих витримках утворюється глибока зміцнена зона. Перерозподіл кисню при дисоціації поверхневої оксидної плівки сприяє формуванню на базі карбіду титану складних з'єднань типу TiC_xO_y , які додатково зміцнюють поверхневі шари.

Вплив температури і часу науглецювання на глибину шару і властивості матеріалу після обробки приведені в табл. 1.1 [10].

Хоча багато авторів і відзначають неможливість отримання задовільних карбідізованих шарів при вживанні існуючих методів науглецювання, проте отримані дані дозволяють передбачати можливість практичного впровадження методу цементації для підвищення зносостійкості і корозійної стійкості деталей з титану і його сплавів [11].

Таблиця 1.1 – Вплив температури і тривалості цементації титану деревинним вугіллям на глибину дифузійного шару і механічні властивості цементованих зразків [10]

Температура, °С	Час, год	Глибина шару, мкм	Твердість на поверхні HV, кг/мм ²	Твердість на глибині 100мкм HV, кг/мм ²	Твердість на глибині 200мкм HV, кг/мм ²	Межа міцності при розтягуванні σ_B , кг/мм ²	Видовження, ψ %
850	8	106	1500	640	250	46,4	30,8
	16	86	3200	550	355	40,3	20,0
	24	85	3200	575	430	41,3	12,5
	48	140	3200	705	540	46,4	10,8
900	8	183	1500	880	540	44,4	19,5
	16	143	1500	720	490	41,3	6,0
	48	157	1500	760	555	49,6	8,0
950	8	87	3200	585	405	45,8	6,0
	16	88	3200	530	460	40,7	-
	24	172	3200	740	545	41,8	6,0
	48	205	3200	760	605	25,5	4,0

1.3.3.2 Азотування

Із всіх видів хіміко - термічної обробки титанових сплавів також широке поширення отримало азотування, що здійснюється в середовищі азоту або в суміші азоту і аргону при температурах (850 – 950) °С протягом (10 – 50) год.

Мікроструктура азотованого шару складається з крихкої зони нітриду (на поверхні) товщиною від 5 мкм до 20 мкм і глибше розташованої зони твердого

розчину азоту в α - титані (завтовшки від 0,1 мм до 0,15 мм) з твердістю HV (800 – 1000). Крихку поверхневу нітридну зону видаляють шліфуванням.

Деталі з титанових сплавів після азотування мають хороші антифрикційні властивості, підвищену межу витривалості, корозійну стійкість і високу зносостійкість [12].

1.3.4 Термічне оксидування

Простим, надійним і ефективним методом поверхневого зміцнення титанових сплавів є термічне оксидування, із - за цього працездатність різних антифрикційних матеріалів оцінюється, в основному, при терті по оксидованому титану.

Оксидування титану і його сплавів на повітрі виконується в звичайних електричних печах при вільному доступі повітря до поверхні металу в інтервалі температур від 700° С до температури, близькій до температури $\alpha+\beta$ - перетворення.

Вибір вказаного інтервалу температур обґрунтований тим, що при окисленні титану при температурі нижче 700° С товщина окисленого шару дуже незначна і практично мало залежить від часу; підвищення температури вище 900 ° С супроводжується сильним погіршенням структури і значним падінням механічних властивостей серцевини [13].

1.4 Травлення зразків

Для дослідження мікро - і макроструктури титанових сплавів використовують водний або гліцериновий розчин, що містить HNO_3 і HF кислоти або суміші HF , H_2SO_4 і HCl . Інколи як окислювач застосовують H_2O_2 .

Наприклад: 1 об'єм HF і 1 об'єм гліцерину при кімнатній температурі. Всі розчини для того, щоб протравити титан, містять в своєму складі плавикову ки-

слоту, яка забезпечує високу якість протравленої поверхні. Більш сильні окислювальні розчини з плавиковою кислотою здатні полірувати поверхню завдяки розчиненню зовнішнього шару і згладжуванню мікронерівностей. Застосовують розчини наступних складів: 200 HNO₃, 200 H₂SO₄, 100HF при температурі (60 - 70)°C, тривалість (0,5-2) хв. або 280 HNO₃, 60HF при температурі (45 - 60) °C тривалість – від 0,5 хв до 2 хв.

Також широке використання отримали пасти: (5 - 20) % HCl ($\rho = 1,18$), (10 - 30) % HNO₃ ($\rho = 1,34$), (5 - 25) % HF ($\rho=1,13$), (45 - 70) % TiO₂, інше – вода [14].

1.5 Характеристика сплаву VT22

Високоміцний титановий сплав VT22 знаходить усе більш широке вживання в сучасній промисловості. Сплав VT22 відноситься до двофазних $\alpha + \beta$ - сплавів мартенситного типу [15].

Розглянемо діаграми стану сплавів титану з основними легуючими елементами сплаву VT22 (рисунки 1.2 - 1.11) [16 - 19].

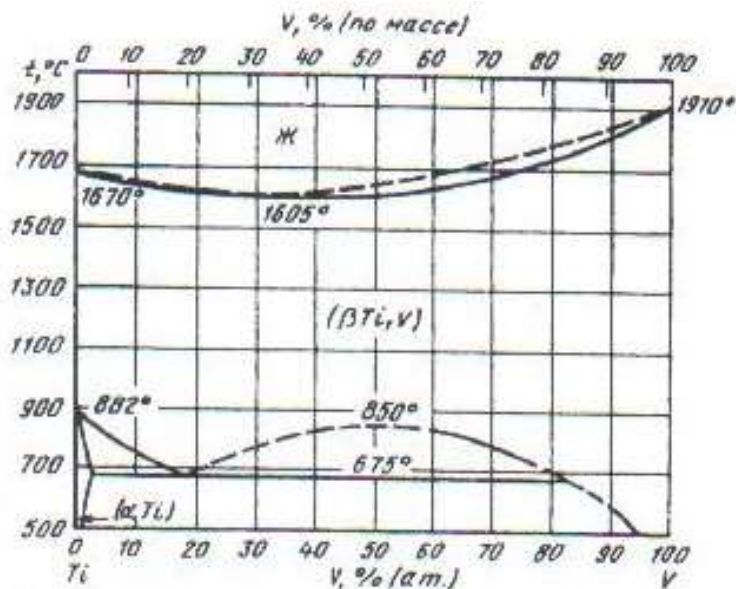


Рисунок 1.2 – Діаграма стану сплавів Ti - V [16]

Ванадій є активним β - стабілізатором, що знижує температуру $\alpha \rightarrow \beta$ перетворення T_i , а також дещо підвищує температуру початку плавління сплавів.

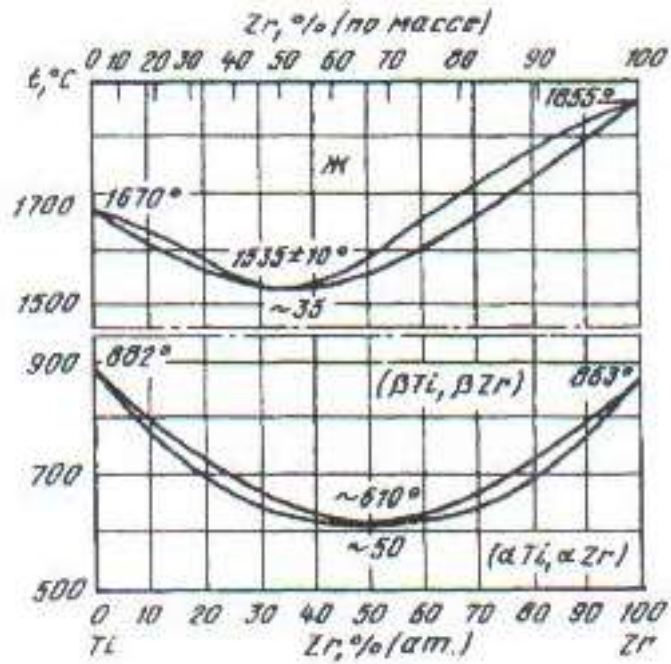


Рисунок 1.3 – Діаграма стану сплавів Ti - Zr [16]

Легування Ti цирконієм знижує температуру перетворення $\beta \rightarrow \alpha$.

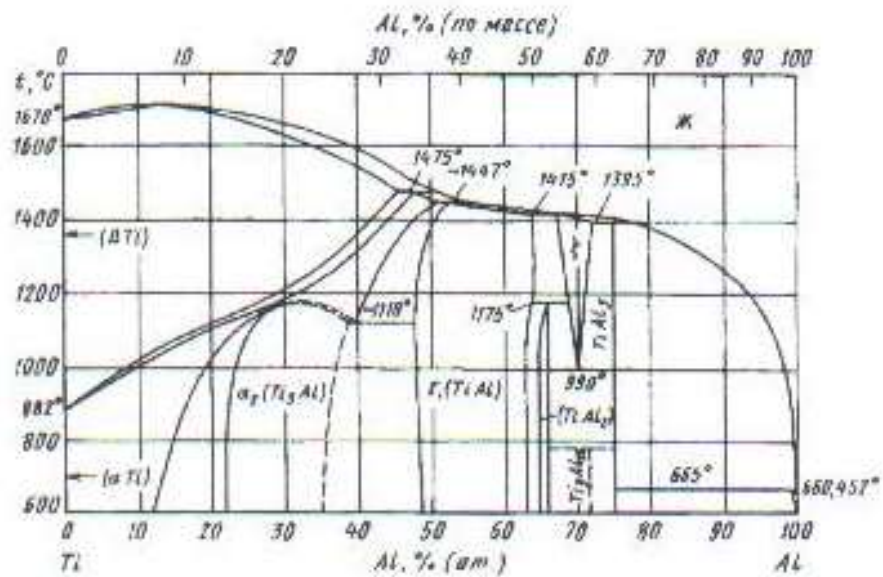


Рисунок 1.4 – Діаграма стану сплавів Ti - Al [17]

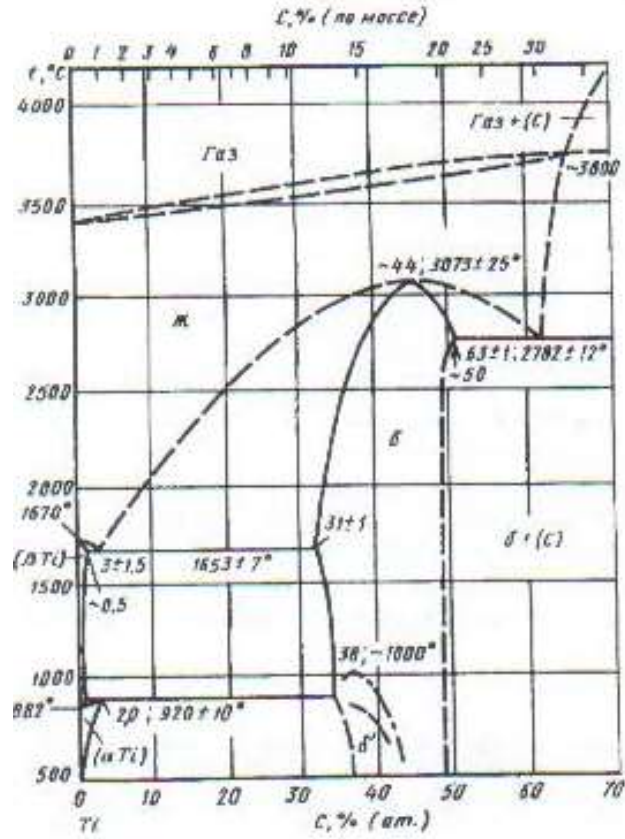


Рисунок 1.5 – Діаграма стану сплавів Ті - С [17]

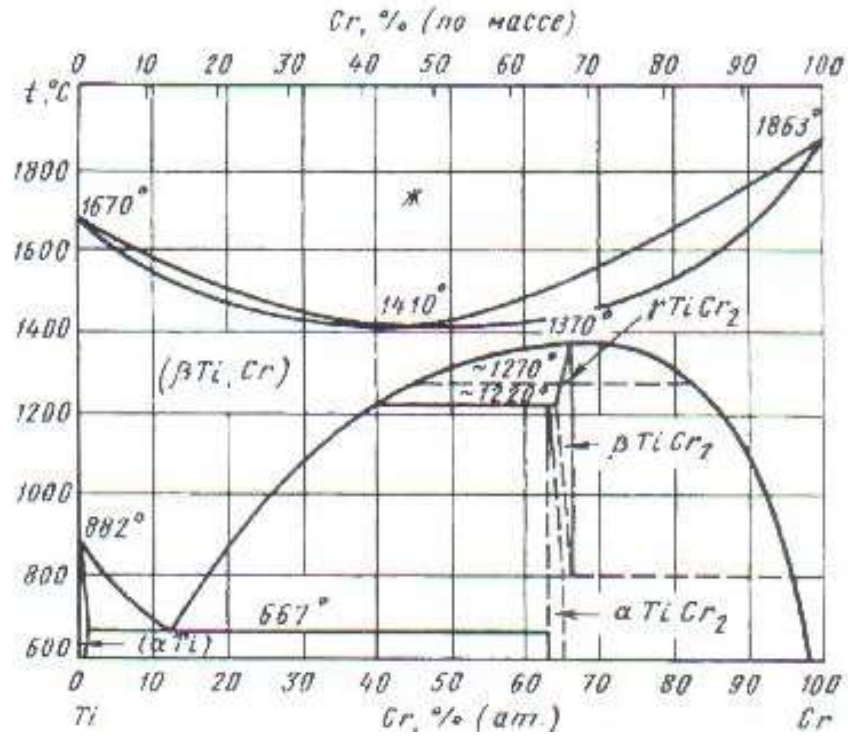


Рисунок 1.6 – Діаграма стану сплавів Ті - Сг [18]

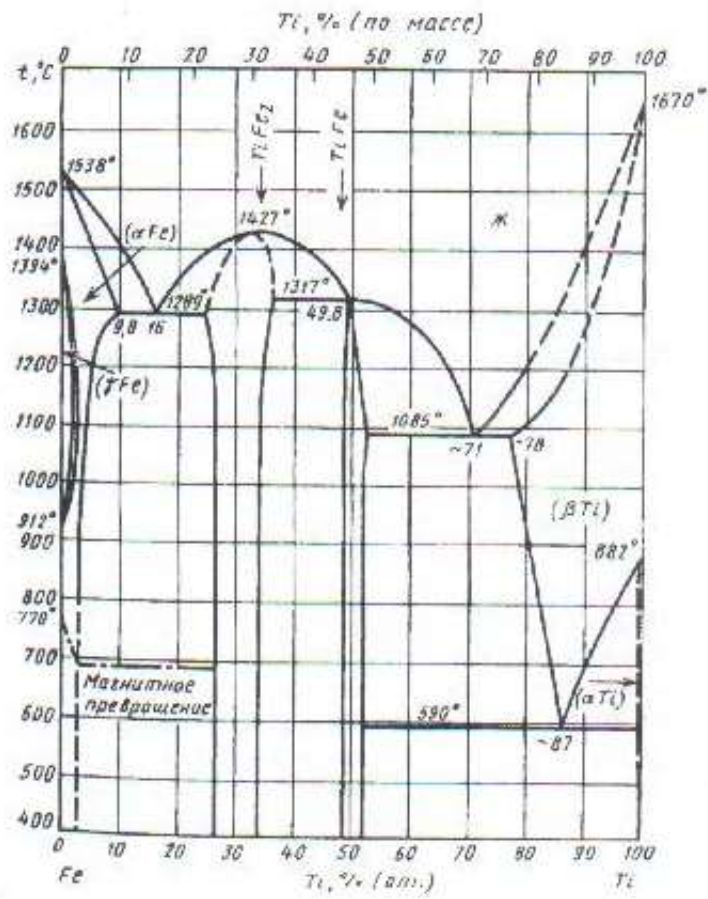


Рисунок 1.7 – Діаграма стану сплавів Ti - Fe [18]

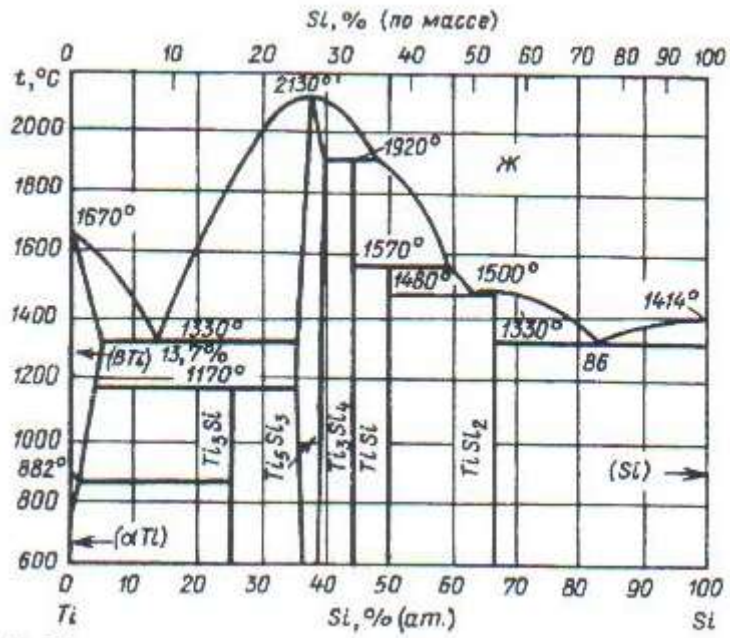


Рисунок 1.8 – Діаграма стану сплавів Ti - Si [17]

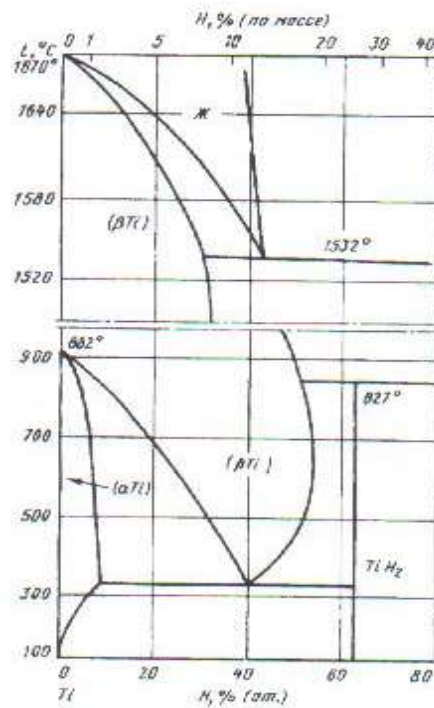


Рисунок 1.9 – Діаграма стану сплавів Ti - H [18]

Сплав може проявляти велику чутливість до водню, яка залежить у ряді випадків від характеру термічної обробки. Нестабільність сплаву у присутності підвищеного вмісту водню пояснюють розпадом твердих розчинів, пересичених воднем. Велика роль при такому розпаді належить гідридам титану. Водень стабілізує β - фазу і збільшує кількість залишкової β - фази у загартованих сплавах; це, вочевидь, пов'язано з діаграмою стану Ti - H, відповідно до якої водень розширює β - область. Водень збільшує ефект старіння сплавів, загартованих з β - області. Окрім того, водень знижує температуру нагріву під загартування, що забезпечує максимальний ефект старіння.

В титанових сплавах спостерігається водневе окрихчування. Хоча гідриди, що виділяються при розпаді β фази призводять до окрихчування, проте більш важлива роль водню полягає в прискоренні евтектоїдного розпаду β - фази, в результаті якого виділяються металеві з'єднання, що викликають крихкість. В деяких випадках зниження ударної в'язкості сплавів з $(\alpha + \beta)$ структурою може бути результатом окрихчування воднем самої β - фази.

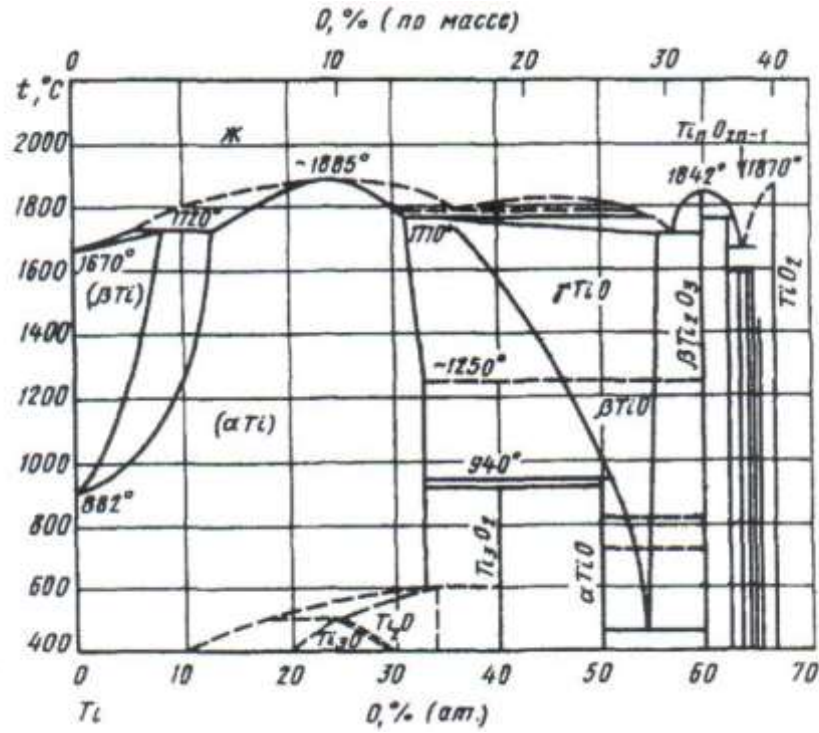


Рисунок 1.10 – Діаграма стану сплавів Ti - O [19]

Кисень також істотно впливає на поведінку при термообробці сплавів. На відміну від водню кисень звужує β - область діаграми Ti - O, тим самим зменшує стабільність β - фази.

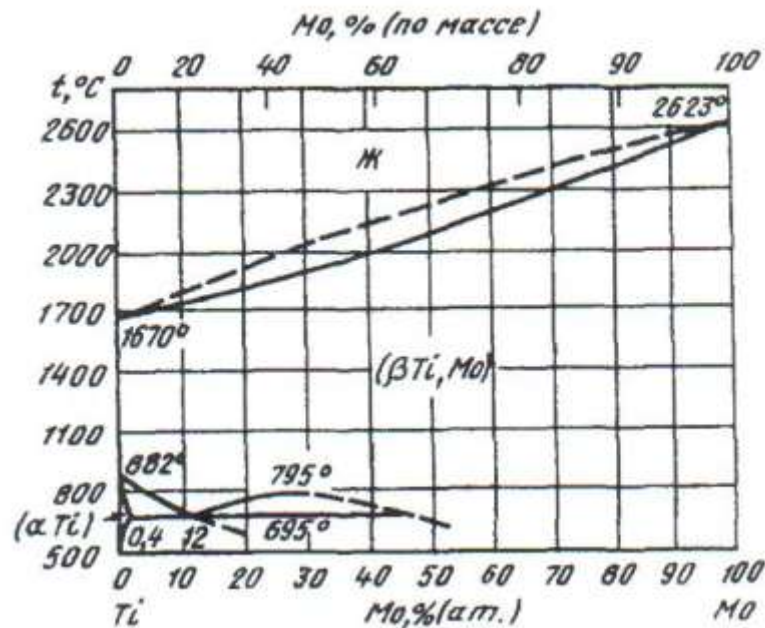


Рисунок 1.11 – Діаграма стану сплавів Ti - Mo [19]

Вивчення характеристик працездатності титанових сплавів з $\alpha + \beta$ структурою показало, що для отримання оптимальних характеристик в'язкості, руйнування і швидкості розвитку тріщини у поєднанні з високою пластичністю при розтягуванні і властивостями втоми необхідно мати виділення α - фази різних розмірів в певному співвідношенні. Проведення зміцнюючої термічної обробки дозволяє отримати α - фазу двох розмірів – досить крупні пластини (3 – 5) мкм для створення м'якого каркаса і дрібні частки (0,1 - 0,2) мкм, що забезпечують високу міцність сплаву. Виділення α фази двох розмірів можна отримати шляхом застосування ступінчастої термообробки. Прикладом може служити наступна термообробка сплаву: нагрів до 850° С, 1 година, охолодження з піччю до 750° С, 3 години і охолодження на повітрі (виділяється α - фаза розміром від 3 мкм до 5 мкм) і подальше старіння при (450 – 550) °С (виділяється α - фаза розміром 0,1 мкм і менше).

Правильна побудова технології і вибір оптимальних режимів термообробки дозволяють, застосовуючи зміцнюючу термічну обробку, набувати досить високих значень тимчасового опору і задовільні характеристики працездатності. Але разом з цим, не можна забувати про хіміко-термічну обробку, як про зміцнюючу термообробку.

1.6 Вибір напрямку дослідження

Як впливає з наведених вище літературних даних, різноманітність видів термічної та хіміко-термічної обробки титана достатньо велика. Серед розглянутих певні переваги має така хіміко-термічної обробка як цементація, що по технологічним, так і по економічним факторам.

З титанових сплавів для дослідження був обраний двофазний високоміцний сплав VT22. З різноманітних середовищ, в яких можна проводити цементацію в лабораторних умовах, було обрано цементацію в твердому карбюризаторі. В якості карбюризатора використовували деревне вугілля.

Варіюючи температури та час витримування при хіміко-термічній обробці, в роботі ставилось завдання отримати високий комплекс механічних, технологічних властивостей, оцінити глибину дифузійного шару та ін. Велика увага приділялась можливості підвищення зносостійких властивостей сплаву шляхом проведення вищевказаної ХТО.

Завданням дипломної роботи було дослідження структури та властивостей, отриманих в результаті цементації сплаву VT22 за різними параметрами режиму ХТО.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріал дослідження

Матеріалом дослідження є зразки з титанового сплаву ВТ22. Хімічний склад сплаву приведено в таблиці 2.1 [15].

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сплаву ВТ22

Fe	C	Si	Cr	Mo	V	N	Ti	Al	Zr	O	H	домішок
0,5-1,5	До 0,1	До 0,15	0,5-2	4-5,5	4-5,5	До 0,05	78,485-86,6	4,4-5,9	До 0,3	До 0,2	До 0,015	Інших 0,3

Зразки піддавалися цементації при температурах 850 °С, 900 °С, 950 °С з витримкою 12 годин, 24 години, 36 годин і 48 годин при кожній температурі і подальшому охолодженні з піччю. Режим хіміко-термічної обробки приведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Режимів хіміко-термічної обробки зразків сплаву ВТ22

№ зр.	Температура нагріву °С	Час витримки, год	№ зр.	Температура нагріву °С	Час витримки, год
1	850	12	7	900	36
2	850	24	8	900	48
3	850	36	9	950	12
4	850	48	10	950	24
5	900	12	11	950	36
6	900	24	12	950	48

2.2 Методика експерименту

Процес цементації у твердому карбюризаторі полягає в наступному: зразки, упаковані в тиглі разом з карбюризатором (суміш деревного вугілля і активатора) нагрівають до певної температури, витримують і охолоджують разом з піччю.

2.2.1 Підготовка зразків

Для зручності виготовлення мікрошліфів зразки сплаву мають прямокутну форму, заввишки 10 - 15 мм і площею поперечного перетину $\sim 1 \text{ см}^2$. Для підготовки до процесу цементації необхідно було провести попередню механічну обробку - дві протилежні сторони зразка відшліфувати на наждачному папері і знежирити їх поверхню.

Оскільки цементація проводилася в твердому карбюризаторі, то зразки поміщалися у вогнетривкі тиглі. На рисунку 2.1. приведено зображення тигля.



Рисунок 2.1. Тигель вогнетривкий для проведення цементації

Конструкція тигля має вплив на тривалість процесу цементації і якість поверхневого шару деталей, що цементують. Тому були вибрані такі тиглі, розміри яких були ненабагато більші ніж деталі, що забезпечувало найбільш шви-

дке їх прогрівання. Упаковка деталей в тигель відбувалася наступним чином: на дно тигля насипається шар карбюризатора, далі кладеться деталь, зверху і з боків укладається карбюризатор, тигель закривається кришкою і обмазується вогнетривкою глиною для забезпечення герметичності. Тиглі сушать на повітрі до повного висихання обмазки з глини, а потім завантажують в піч.

2.2.2 Підготовка карбюризатора

У якості карбюризатора застосовувалося деревне вугілля з додаванням CaCO_3 в кількості, що не перевищує 5%. Вуглекислий кальцій додається з метою уникнення спікання карбюризатора.

Свіжоприготовлений карбюризатор діє дуже активно, тому для цементації використовується суміш, що складається з частини свіжого і частини відпрацьованого карбюризаторів. У такій суміші міститиметься від 5 % до 7 % BaCO_3 , який є активізатором процесу цементації. Вживане як основна частина деревне вугілля має бути певній зернистості (від 4 мм до 10 мм в поперечнику), та сухим (вологість не більше (5 ÷ 6) %).

2.2.3 Цементация зразків і їх подальша обробка

Попередньо підготовлені тиглі із зразками розміщалися в піч для проведення хіміко-термічної обробки. Термообробка проводилася при трьох різних температурах, при кожній температурі брали чотири різні часи витримки. Охолодження проводилося з пічню.

Зразки, які були піддані цементації, виймалися з тиглів. Мікроструктура дифузійного шару, отримана в результаті цементації зразків, вивчалась на мікрошліфах. Після виготовлення мікрошліфа (проведення всіх необхідних операцій: шліфовки і поліровки), мікрошліф піддавався травленню наступним розчином: 5 мл плавикової кислоти, 5 мл азотної кислоти, 40 мл води.

2.2.4 Вимірювання мікротвердості

Для аналізу впливу хіміко-термічної обробки на властивості титанового сплаву було проведено вимірювання мікротвердості.

Мікротвердість вимірювалася за допомогою приладу ПМТ-3 при навантаженнях 200 г, час витримки – 8 секунд. Перед початком вимірювання прилад повинен бути налагоджений.

Юстування приладу проводиться на свіжому сколі монокристала солі NaCl. Прилад справний і готовий до подальшого використання, якщо набуто значення мікротвердості солі дорівнює $(19 - 21) \text{ кг/мм}^2$.

Визначення мікротвердості полягає у вимірюванні діагоналі відбитку, отриманого унаслідок втискання в поверхню зразка з певним навантаженням алмазного індентора, і перерахунку отриманого результату в значення мікротвердості по спеціальних таблицях.

Перехрестя окуляра рухаються по бісектрисі кута між діагоналями, що дає можливість зміряти обидві діагоналі відбитку, не змінюючи положення окуляр-мікрометра, напрям руху перехрестя складає з діагоналями кут 45° . Даний спосіб дозволяє, рухаючи перехрестя діагоналей в одному напрямі, навести лінії на всі кути відбитку і зробити чотири відліки для визначення довжин обох діагоналей Z'_A і Z'_B . Таким чином можна значно знизити похибку на обертання лімбів.

Зробивши чотири виміри, знаходимо умовні величини Z'_A і Z'_B :

$$Z'_A = Z_1 - Z_3, \quad (2.1)$$

$$Z'_B = Z_2 - Z_4, \quad (2.2)$$

$$Z' = \frac{Z'_A + Z'_B}{2}. \quad (2.3)$$

Тоді середня довжина діагоналі дорівнює:

$$d = Z' \cdot g = 0,22 \cdot Z', \quad (2.4)$$

де g – перевідний коефіцієнт, дорівнює 0,22.

Значення мікротвердості визначається по спеціальних таблицях, залежно від середньої довжини діагоналей і навантаження, при якому проводилося випробування.

Вимірювання проводились на приладі ПМТ-3 наступним чином: вимірювалась мікротвердість від краю зразку до серцевини з метою отримання повної картини змінення твердості й вивчення глибини цементованого шару. Вимірювання мікротвердості проводиться до виходу на постійне значення твердості титанового сплаву, яке спостерігається в серцевині зразку.

2.2.5 Дослідження глибини цементованого шару та розміру зерна

З метою більш детального вивчення впливу температури цементації та часу витримки на структуру та властивості титанового сплаву VT22 проводилося дослідження глибини цементованого шару та вимірювання розміру зерна.

Дослідження глибини цементованого шару проводилось за допомогою окуляра з вимірювальною лінійкою.

Дослідження розміру зерна проводилося методом підрахунку перетину зерен згідно ГОСТ 21073.3-75. Для визначення розміру зерна даним методом поверхню шліфа продивляються та вибирають не менш двох типових місць. На кожному місці проводять не менше двох одиничних вимірів.

Визначення величини зерна проводять при такому збільшенні, щоб в полі зору знаходилось цілих від 80 зерен до 200 зерен. Для вимірювання використовують січні лінії у вигляді двох не паралельних прямих або окружності. Пряма січна лінія має перетинати не менш 10 зерен. Січні лінії наносять на зображення вимірюємого місця, що спостерігається на мікроскопі.

Визначення величини зерна проводять підрахунком границь зерен n , що перетинаються січними довжиною l (мм). За результат вимірювання приймають середній розмір зерна, h (мм). Якщо зерно нерівновісне, може бути визначений середній розмір зерна для кожного з трьох основних вимірювань.

3 УЗАГАЛЬНЕННЯ ТА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати вимірювання мікротвердості цементованих зразків

З метою вивчення впливу різних режимів ХТО на сплав VT22, що були піддані цементації при температурах 850°C, 900 °C, 950 °C тривалістю 12 год, 24 год, 36 год, 48 годин було проведено вимірювання мікротвердості зразків. Величини отриманих значень вимірювань приведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. - Зміна значень мікротвердості зразків в залежності від температури та тривалості цементації.

Температура, ° C	Час, год	Відстань від краю зразка, мкм						
		поверхня	100	150	200	250	300	350
850	12	1800	532	420	412	412	412	412
	24	3100	544	544	476	438	412	412
	36	3000	509	398	398	340	340	340
	48	3000	456	438	412	412	412	412
900	12	1500	398	380	380	346	346	340
	24	1800	420	398	358	334	334	316
	36	3500	660	611	544	544	544	544
	48	3400	598	438	392	392	392	392
950	12	2600	438	420	412	372	346	346
	24	2800	570	544	544	544	509	456
	36	2200	557	487	487	487	487	392
	48	1900	544	429	380	380	372	366

На основі даних таблиці 3.1. для отримання більш наглядних результатів були побудовані графіки залежності мікротвердості від відстані від краю зразка для кожного режиму обробки.

Графіки залежності мікротвердості від параметрів хіміко-термічної обробки приведено на рисунках 3.1 - 3.12.

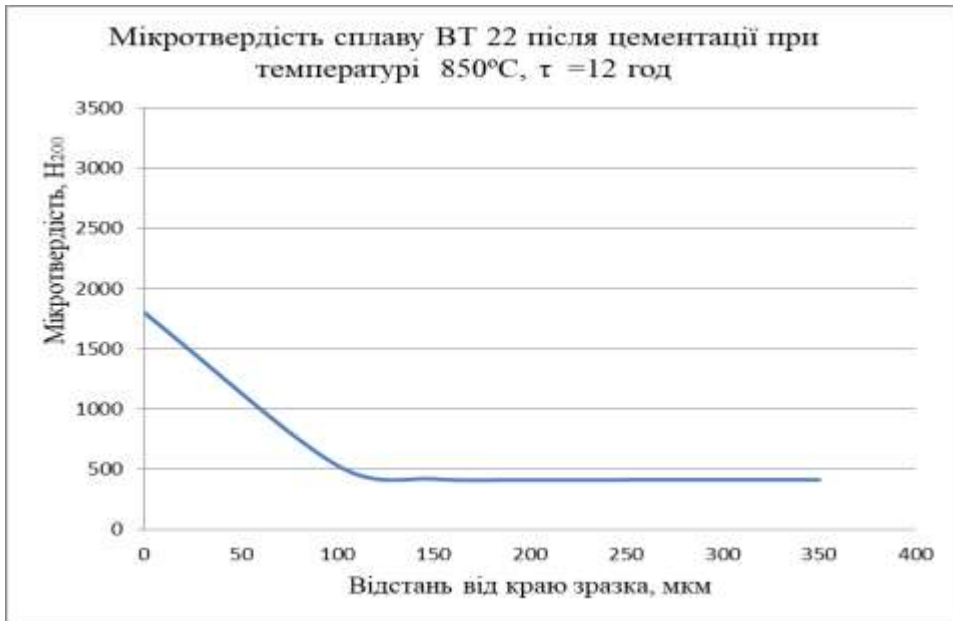


Рисунок 3.1 – Мікротвердість сплаву ВТ22 після цементації при температурі 850 °С, $\tau = 12$ год



Рисунок 3.2 – Мікротвердість сплаву ВТ22 після цементації при температурі 850 °С, $\tau = 24$ год

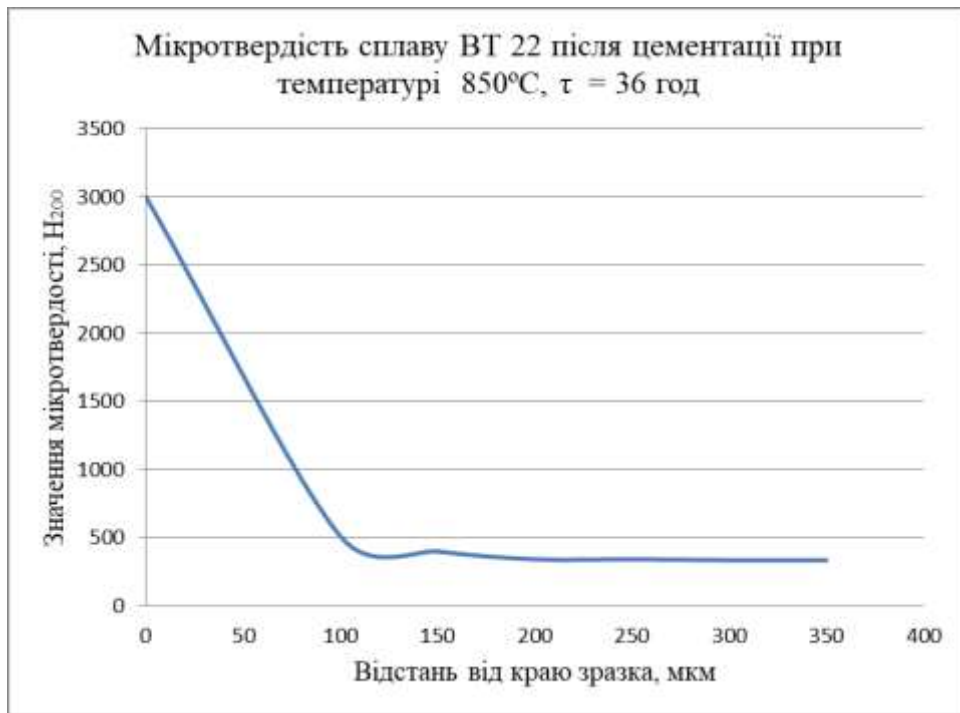


Рисунок 3.3 – Мікротвердість сплаву ВТ22 після цементації при температурі 850 °С, $\tau = 36$ год

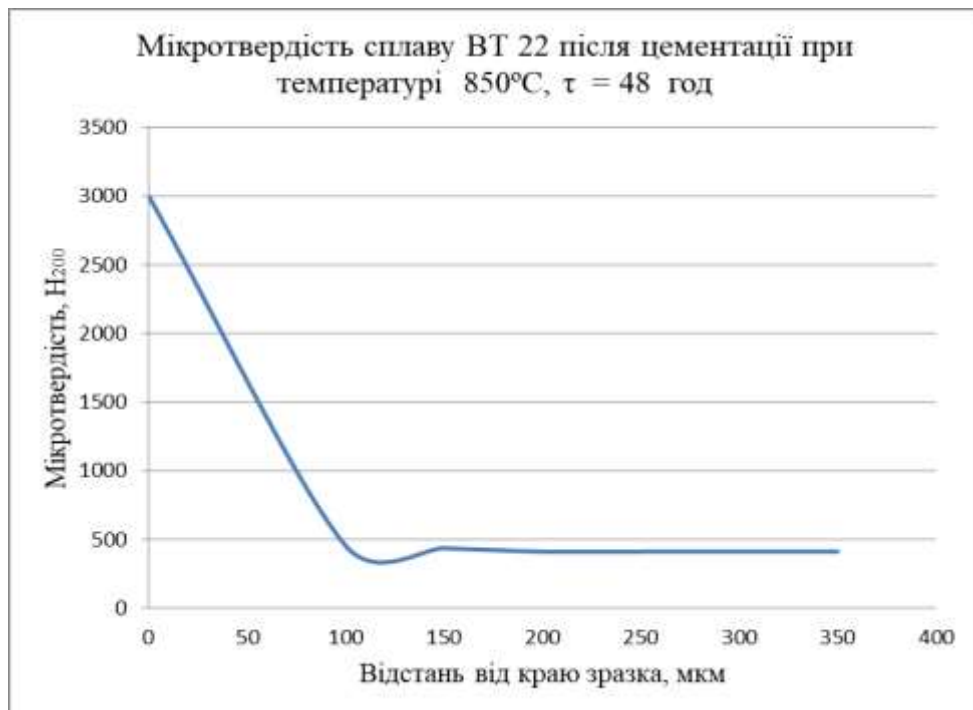


Рисунок 3.4 – Мікротвердість сплаву ВТ22 після цементації при температурі 850 °С, $\tau = 48$ год



Рисунок 3.5 – Мікротвердість сплаву ВТ22 після цементації при температурі 900 °С, $\tau = 12$ год

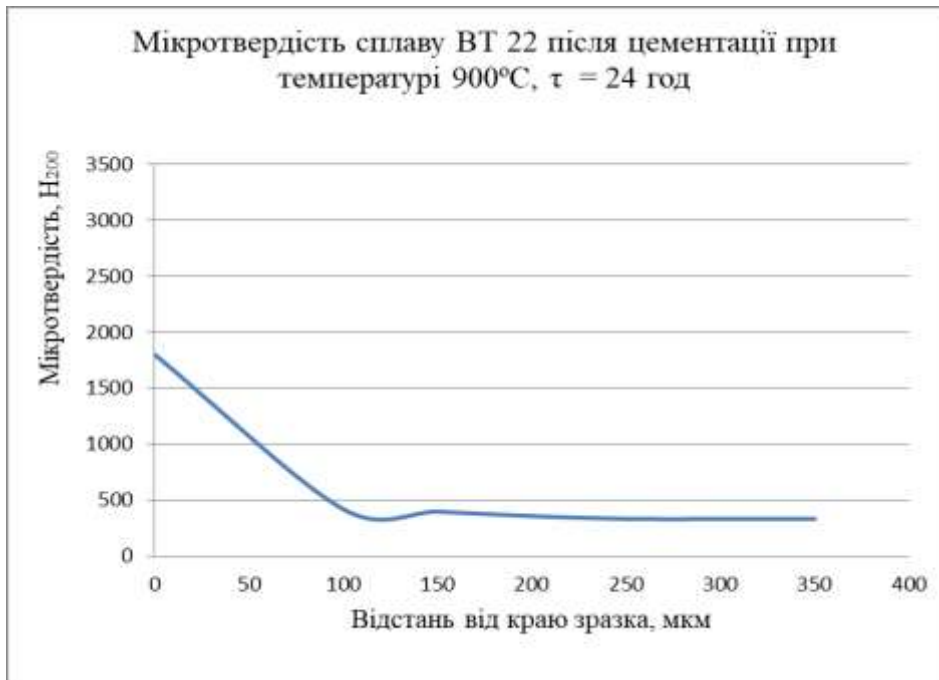


Рисунок 3.6 – Мікротвердість сплаву ВТ22 після цементації при температурі 900 °С, $\tau = 24$ год

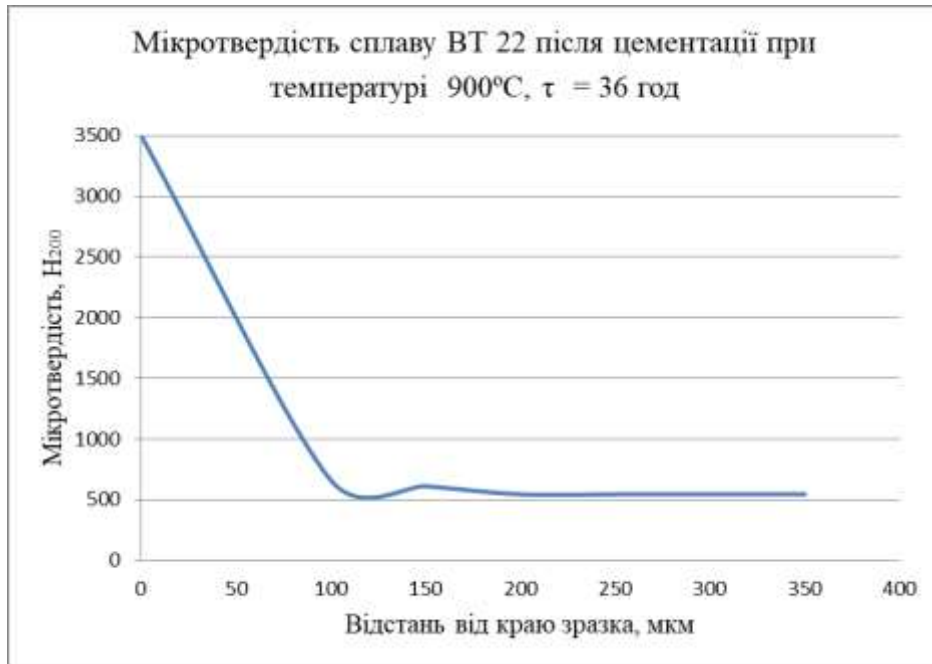


Рисунок 3.7 – Мікротвердість сплаву ВТ22 після цементації при температурі 900 °С, $\tau = 36$ год

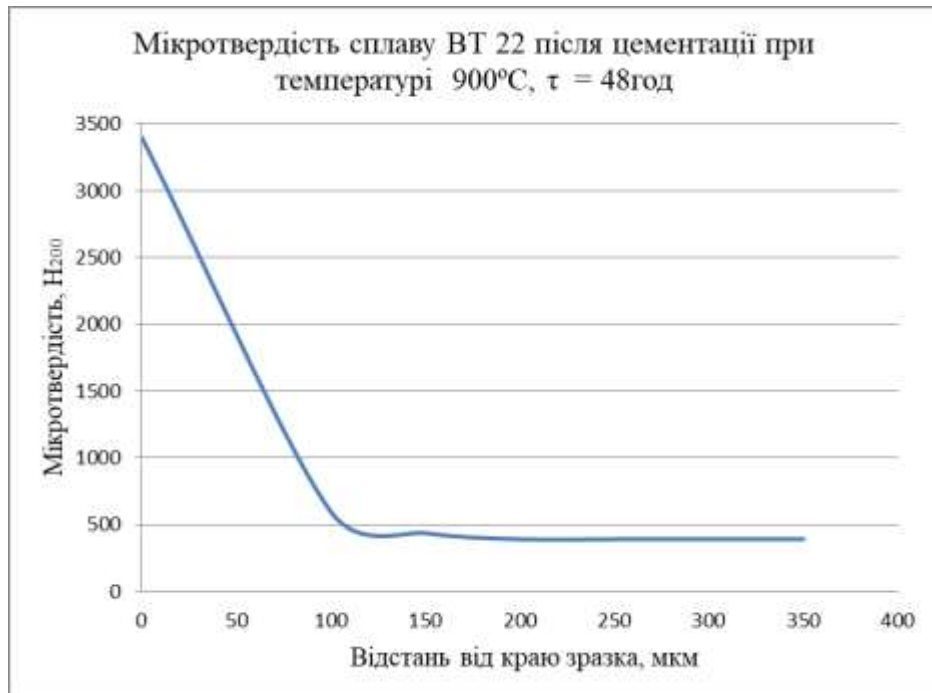


Рисунок 3.8 – Мікротвердість сплаву ВТ22 після цементації при температурі 900 °С, $\tau = 48$ год

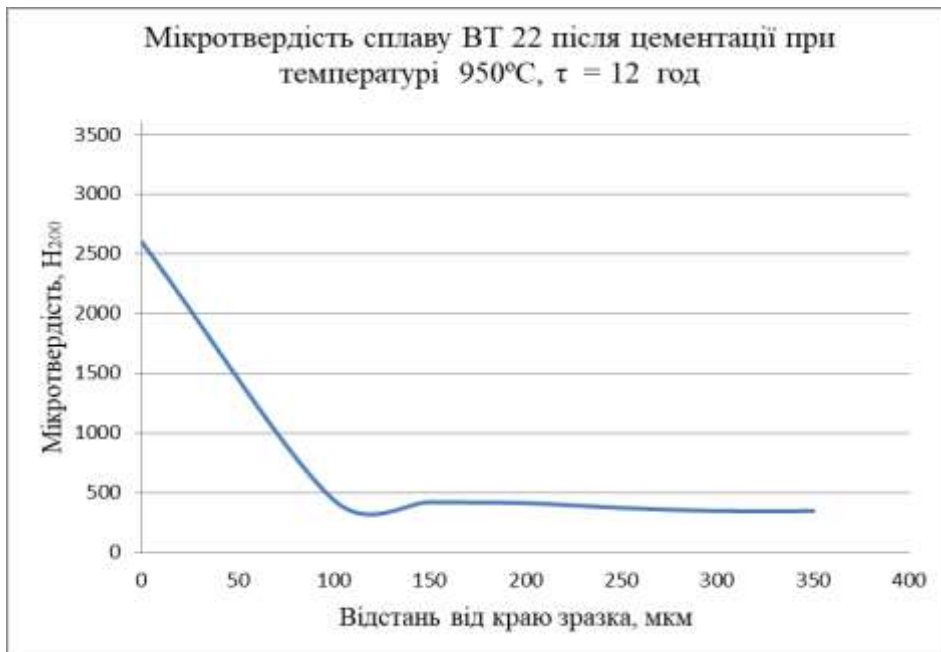


Рисунок 3.9 – Мікротвердість сплаву ВТ22 після цементації при температурі 950 °С, $\tau = 12$ год

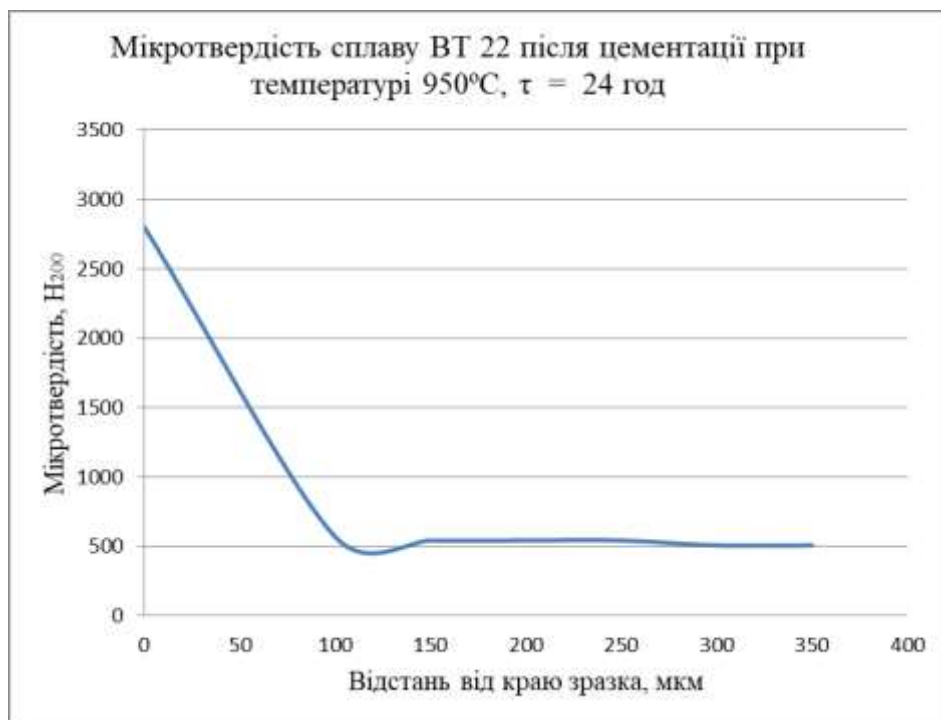


Рисунок 3.10 – Мікротвердість сплаву ВТ22 після цементації при температурі 950 °С, $\tau = 24$ год



Рисунок 3.11 – Мікротвердість сплаву ВТ22 після цементації при температурі 950 °С, $\tau = 36$ год

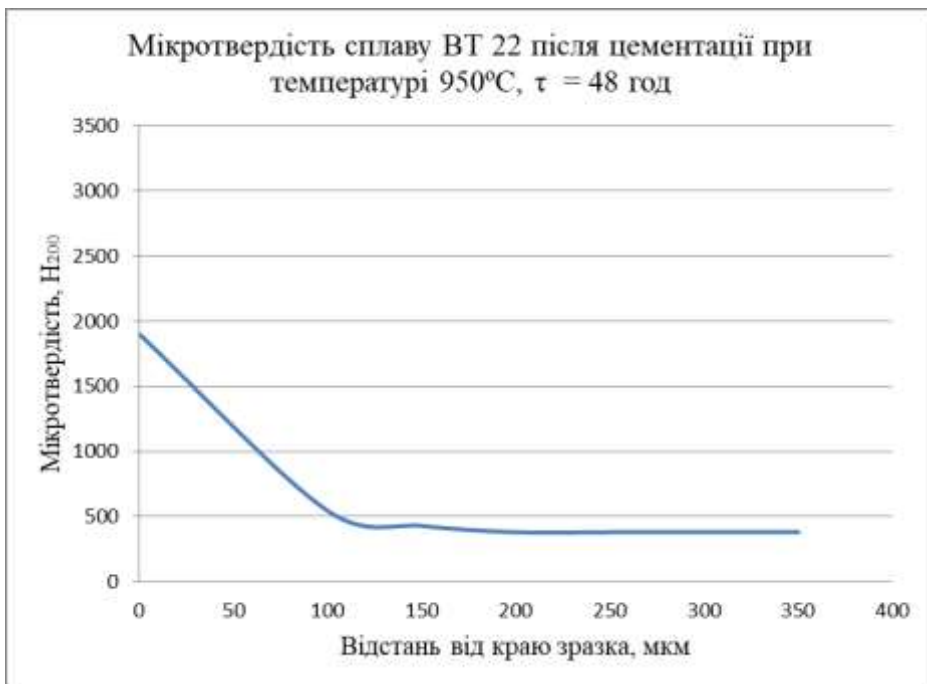


Рисунок 3.12 – Мікротвердість сплаву ВТ22 після цементації при температурі 950 °С, $\tau = 48$ год

Як видно з побудованих графіків – спостерігається схожа залежність для кожної температури при кожній тривалості цементації.

Максимальні значення мікротвердості спостерігаються близько краю зразка; це зумовлено існуванням зміцненого шару на поверхні зразка. Чим ближче вимір до краю зразка, тим більше значення мікротвердості.

Зі збільшенням відстані від краю зразка значення твердості зменшується з більшою чи меншою інтенсивністю в залежності від параметрів хіміко-термічної обробки.

Через деяку відстань від краю зразка значення мікротвердості виходять на постійну величину, значення якої відповідає твердості серцевини зразка.

Для оцінки впливу тривалості цементації при різних температурах нагріву були побудовані графіки 3.13 - 3.15.

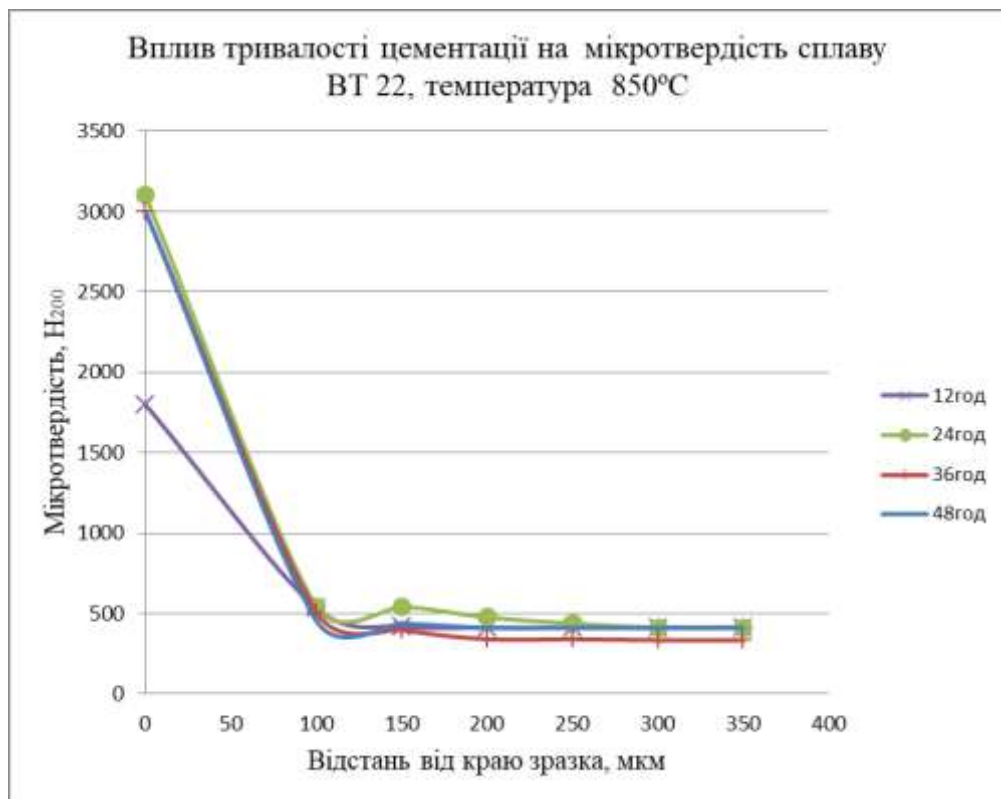


Рисунок 3.13 – Вплив тривалості цементації на мікротвердість сплаву BT22, температура 850 °C

Як видно з графіку 3.13 найбільш високі значення твердості зміцненого шару при температурі 850°C спостерігаються при тривалості цементації - 24 го-

дини. Максимальна твердість на поверхні складає 3100 кг/мм^2 . Збільшення часу витримки до 48 годин не дає вагомих результатів і не є раціональним.

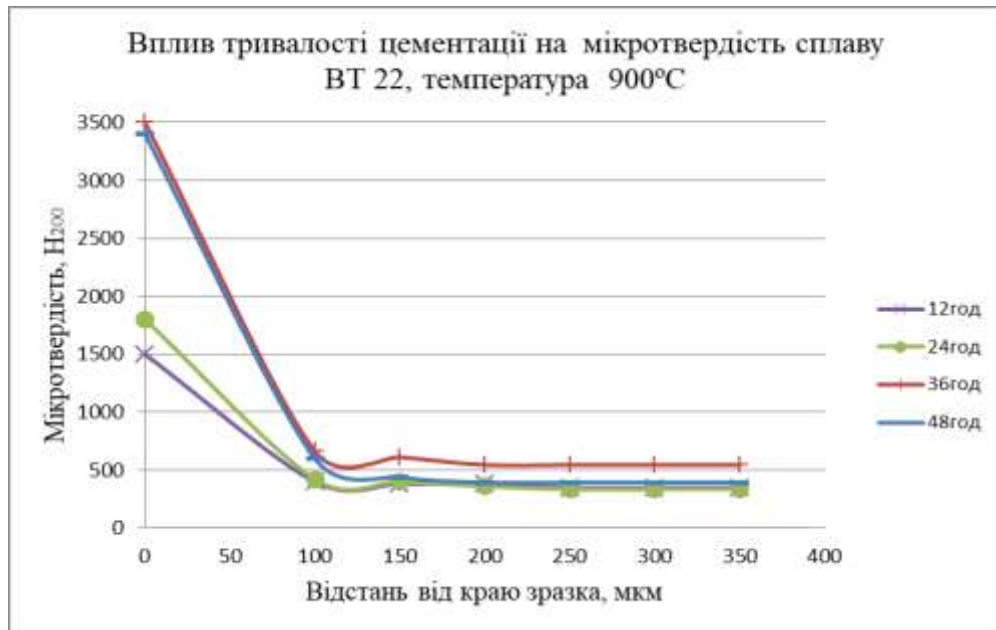


Рисунок 3.14 – Вплив тривалості цементації на мікротвердість сплаву ВТ22, температура 900°C

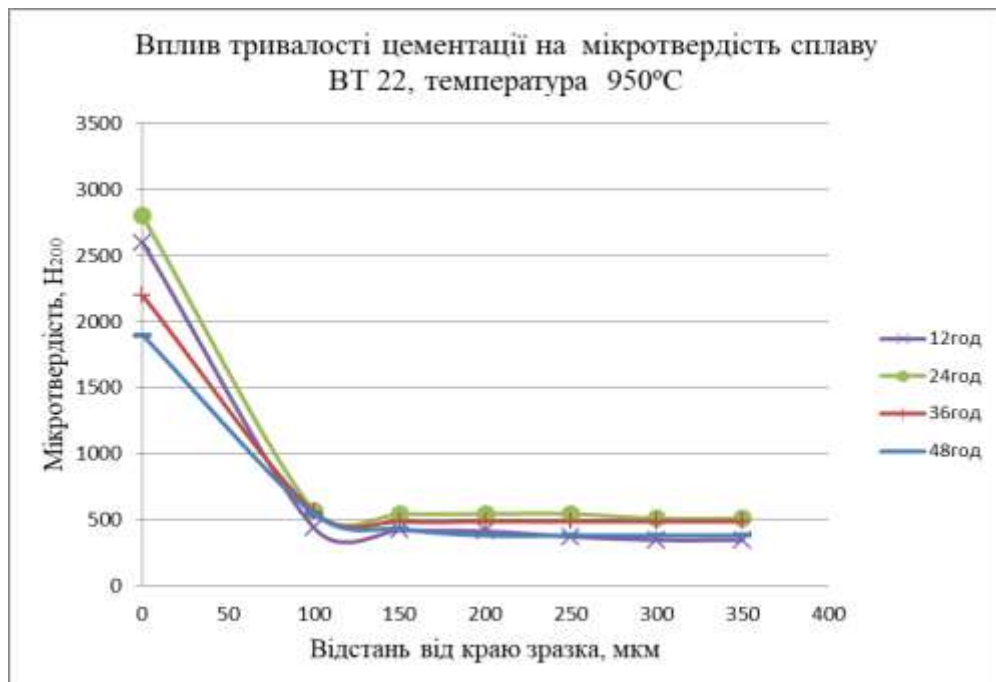


Рисунок 3.15 – Вплив тривалості цементації на мікротвердість сплаву ВТ22, температура 950°C

Підвищення температури цементації до 900 °С призводить до формування шару високої твердості - до 3500 кг/мм², яке отримано при 36-годинній цементації. Найбільш ефективним є режим цементації при тривалості процесу у 36 год, бо збільшення або зменшення часу витримки при цій температурі дають значно нижчі значення твердості і більш інтенсивне її падіння.

При цементації зразків при максимальній температурі у 950 °С найбільш оптимальні значення твердості зміцненого шару спостерігаються при тривалості цементації у 24 год. Якщо проаналізувати вплив тривалості цементації на ефективність режиму хіміко - термічної обробки, то треба зазначити, що при всіх досліджених температурах ХТО найменший та найбільший час витримки (12 год та 48 год) дали незадовільні результати.

Аналізуючи вплив температури на твердість сплаву ВТ22 при різному часі витримки, спираючись на графіки, зображені на рисунках 3.16 - 3.19 - можна відмітити наступне:

- При витримці в 12 год твердість на поверхні зразка при температурах від 850 °С до 900 °С підвищується незначно. Найбільші значення твердості спостерігаються під час проведення хіміко-термічної обробки при температурі 950 °С;
- Збільшення часу витримки до 24 год призводить до збільшення зміцненого шару, в порівнянні з витримкою у 12 год. Найбільш оптимальною є цементація при температурі 850 °С;
- Час витримки 36 год при проведенні ХТО дав найкращі результати при температурі 900 °С. Отримано зміцнений шар з високими значеннями твердості;
- Максимальний час витримки – 48 год – дає доволі близькі результати для температур 850 °С та 900 °С. Проведення хіміко-термічної обробки при даному часі витримки та при температурі 950 °С не призведе до отримання високих значень твердості на поверхні та отримання зміцненого шару істотної глибини.

Для комплексної оцінки залежностей температури та часу витримки було побудовано графік, зображений на рисунку 3.20, на якому приведено залеж-

ність мікротвердості на поверхні від температури та тривалості хіміко – термічної обробки.

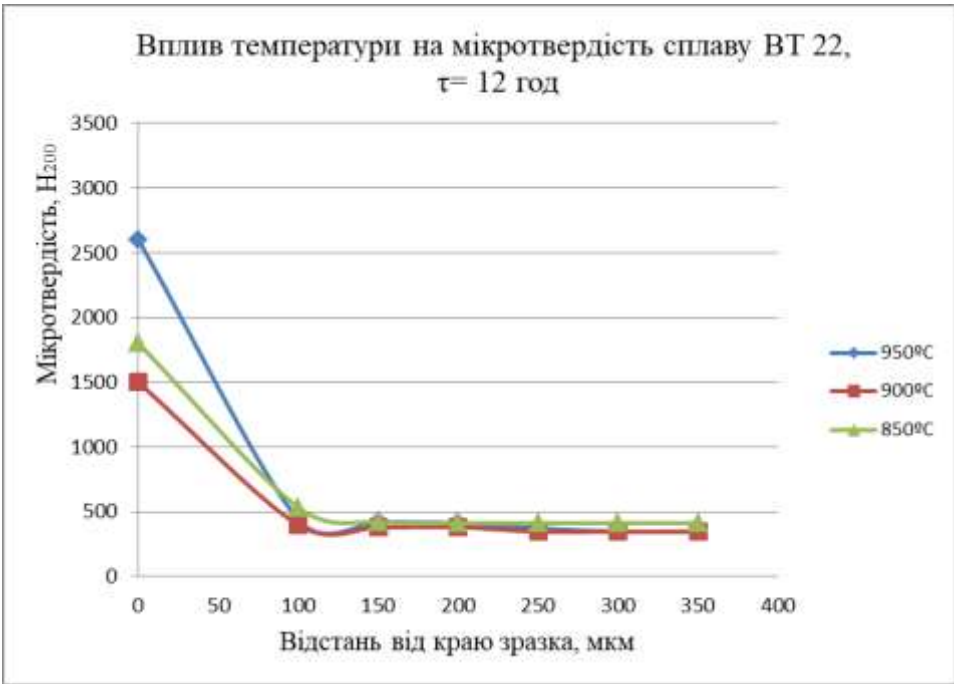


Рисунок 3.16 – Вплив температури на мікротвердість сплаву ВТ22, $\tau = 12$ год

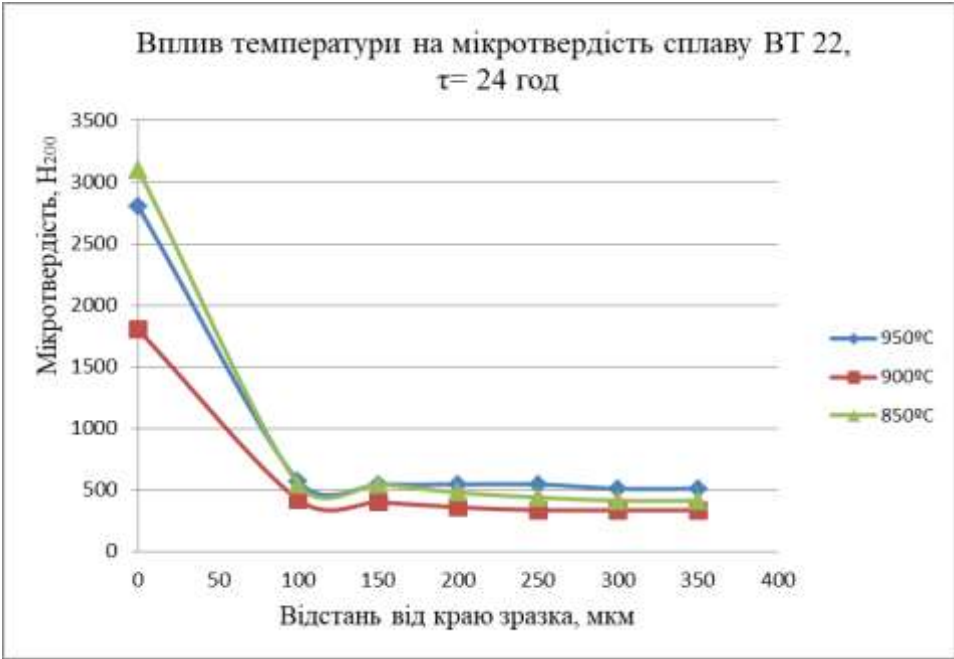


Рисунок 3.17 – Вплив температури на мікротвердість сплаву ВТ22, $\tau = 24$ год



Рисунок 3.18 – Вплив температури на мікротвердість сплаву ВТ22, $\tau = 36$ год

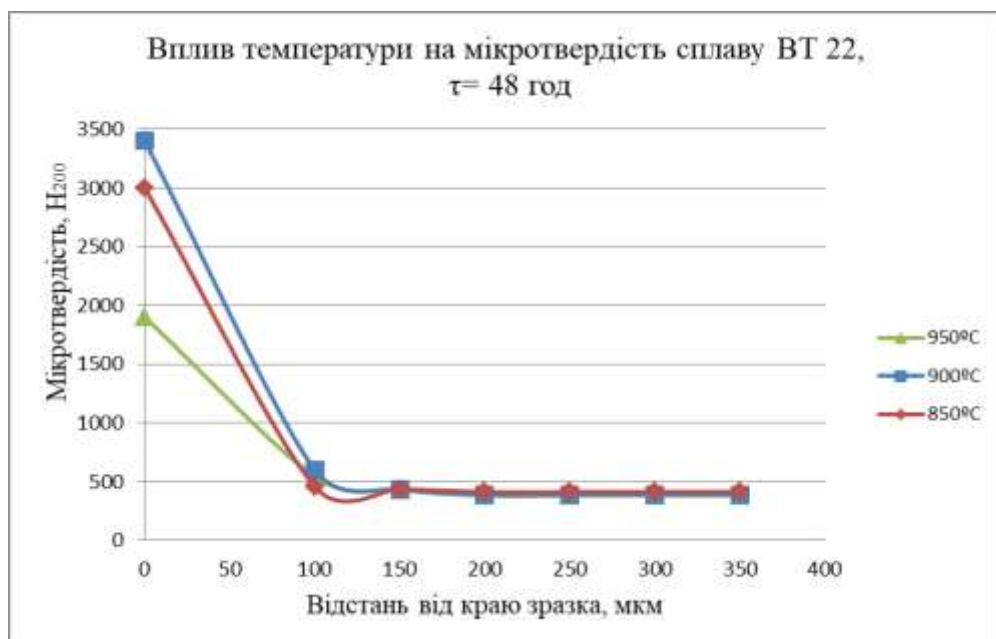


Рисунок 3.19 – Вплив температури на мікротвердість сплаву ВТ22, $\tau = 48$ год

Розглянувши приведену залежність можна зробити висновок, що при проведенні ХТО при температурі 900 °С найбільш ефективним буде витримка у 36 год та 48 год; при температурі 950 °С ліпше використовувати витримку при 24 год. З усіх розглянутих варіантів витримки при температурі 850 °С можна

використати будь-який час, окрім витримки у 12 год, бо вона не є ефективною для даної температури.

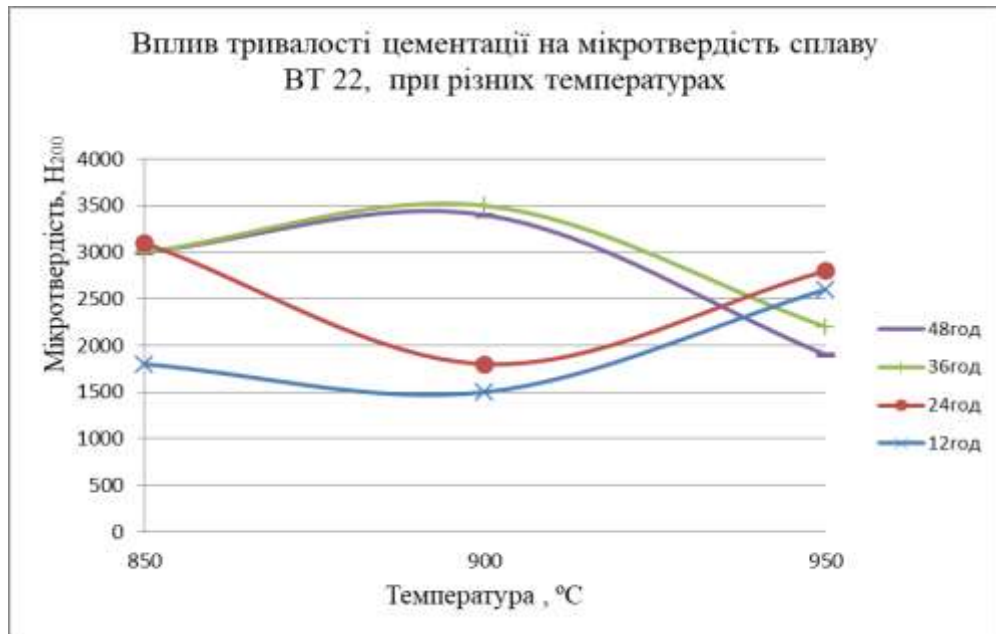


Рисунок 3.20 – Вплив тривалості цементації на мікротвердість сплаву VT22 при різних температурах

3.2 Результати дослідження глибини зміцненого шару

Задля більш детального вивчення впливу цементації на структуру та властивості титанового сплаву VT22 було проведено дослідження глибини зміцненого шару поверхні зразків. Дані вимірювань наведено в таблиці 3.2.

На основі даних таблиці для наглядності результатів, побудовано графік, зображений на рисунку 3.21, на якому приведено залежність глибини зміцненого шару сплаву VT22 від температури та тривалості цементації.

Аналізуючи наведену таблицю та графік, можна зробити висновок щодо малої ефективності хіміко-термічної обробки тривалістю 12 год при всіх вказаних температурах з-за отримання недостатньо великого зміцненого шару. Триваліша цементація призведе до отримання більшого зміцненого шару. Спостерігається загальна тенденція росту глибини зміцненого шару зі збільшенням часу витримки та температури хіміко-термічної обробки сплаву. Ефективною є

цементация при температурі 900 °С, бо зміцнені шари, отримані при різних витримках при вказаній температурі мають оптимальну глибину та властивості.

Таблиця 3.2 – Глибина шару зміцнених зразків зі сплаву ВТ22 після цементациї

Температура, ° С	Час, год	Глибина шару, мкм
850	12	80
	24	100
	36	100
	48	100
900	12	90
	24	100
	36	125
	48	100
950	12	100
	24	130
	36	130
	48	140

Аналізуючи наведену таблицю та графік, можна зробити висновок щодо малої ефективності хіміко-термічної обробки тривалістю 12 год при всіх вказаних температурах з-за отримання недостатньо великого зміцненого шару. Триваліша цементация призведе до отримання більшого зміцненого шару. Спостерігається загальна тенденція росту глибини зміцненого шару зі збільшенням часу витримки та температури хіміко-термічної обробки сплаву. Ефективною є цементация при температурі 900 °С, бо зміцнені шари, отримані при різних витримках при вказаній температурі мають оптимальну глибину та властивості.

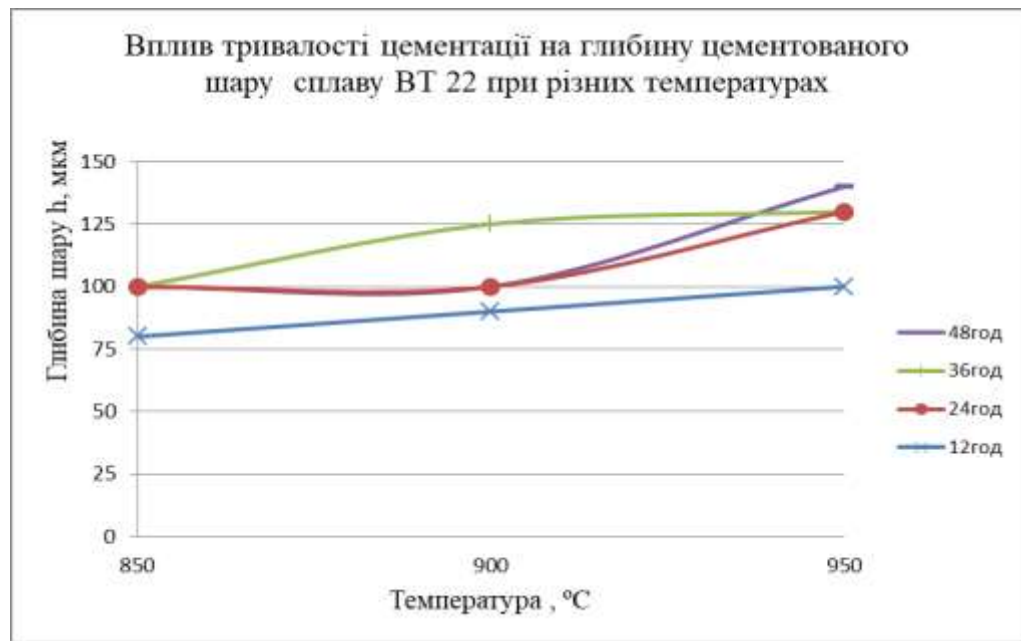


Рисунок 3.21 – Вплив тривалості цементації на глибину цементованого шару сплаву ВТ22 при різних температурах.

3.3. Результати досліджень величини зерна

Дослідження розміру зерна було спрямовано на вивчення впливу температури та тривалості хіміко-термічної обробки на розмір зерна металевої основи титанового сплаву ВТ22.

Отримані величини розміру зерна на відстані 200 мкм від краю зразка, де відсутній зміцнений шар, наведено в таблиці 3.3. Залежність розміру зерна від температури та тривалості цементації приведено на рисунку 3.22.

Як видно з наведених даних, вплив температури на часу витримки ідентичні: чим вища температура хіміко-термічної обробки, і триваліша витримка, тим більший розмір зерна в термообробленій основі титанового сплаву ВТ22.

При мінімальній часі хіміко-термічної обробки у 12 годин при будь яких температурах витримки не спостерігається значного росту зерна. Його величина змінюється незначно в межах 7 мкм - 14 мкм.

Максимальне з отриманих значень величини зерна спостерігається при хіміко-термічній обробці при температурі 950 °C, з витримкою 48 год. Поміче-

но значний ріст зерна при цій температурі в інтервалі витримки 36 год - 48 год від 20 мкм до 30 мкм.

Досить високі температури нагріву та значні витримки не призвели до значного росту зерна. Це може бути зумовлено впливом легуючих елементів, які сповільнюють дифузію в тілі металу, а також затримують ріст зерен при утворенні важкорозчинних карбідів.

Таблиця 3.3 – Розмір зерна цементованих зразків в залежності від температури цементациї та часу витримки.

Температура, °С	Час, год	Розмір зерна, мкм
850	12	7
	24	13
	36	17
	48	20
900	12	12
	24	13
	36	17
	48	23
950	12	14
	24	15
	36	20
	48	30

3.4 Результати дослідження структури цементованих зразків

З метою вивчення структури цементованих зразків їх досліджено за допомогою мікроскопу МИМ-7, на якому з допомогою фотокамери були зроблені

фотографії для кожного режиму термообробки. На рисунках 3.23 - 3.34 зображено структури, отримані в результаті всіх проведених режимів ХТО.

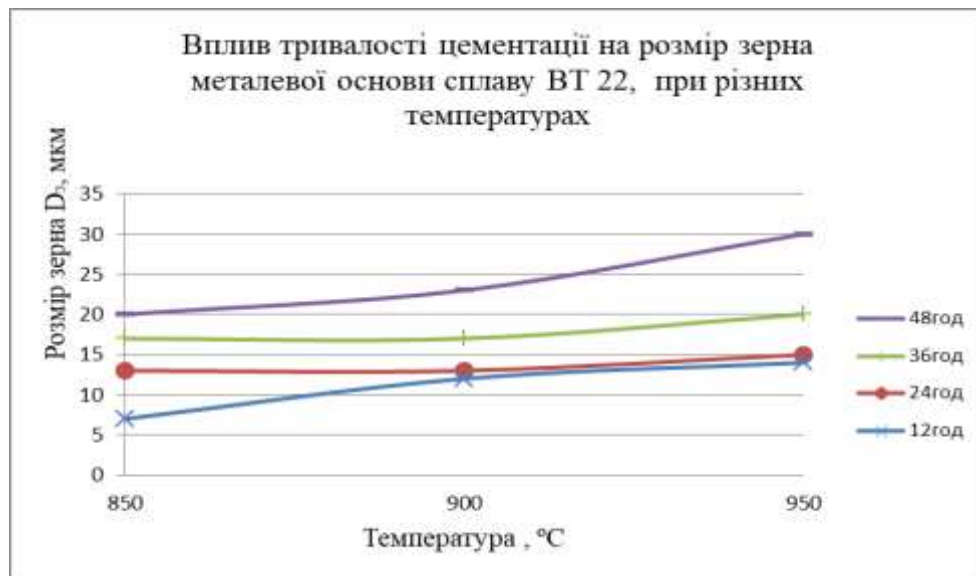


Рисунок 3.22 – Вплив тривалості цементації на розмір зерна металевісної основи сплаву ВТ22 при різних температурах

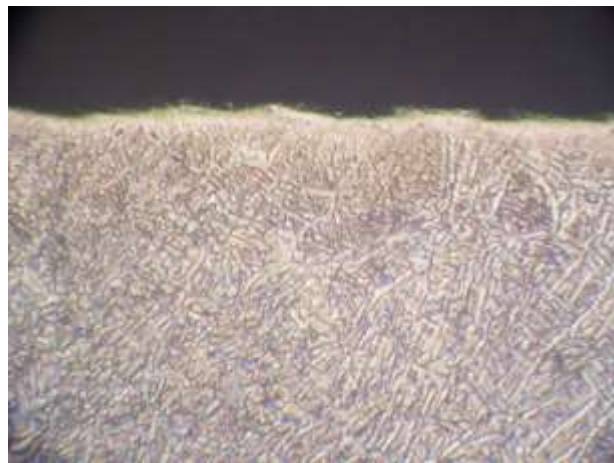


Рисунок 3.23 – Мікроструктура сплаву ВТ22 після цементації при температурі 850 °C, $\tau = 12$ год, $\times 500$

Дане дослідження можна вважати як узагальнююче у вивченні структури та властивостей титанового сплаву ВТ22.

Зображення структур дають чітку уяву про сформовану в результаті хіміко-термічної обробки структуру, про розмір зерна, наглядно дає змогу оцінити

глибину зміцненого шару, зробити висновок про наявність включень, дефектів у структурі цементованих зразків.

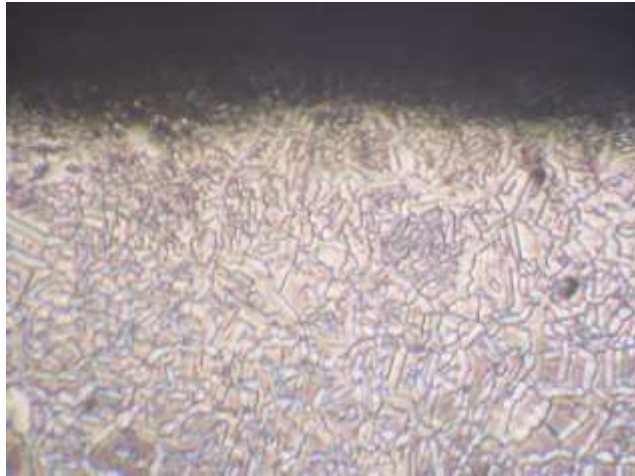


Рисунок 3.24 – Мікроструктура сплаву VT22 після цементації при температурі 850 °С, $\tau = 24$ год, $\times 500$

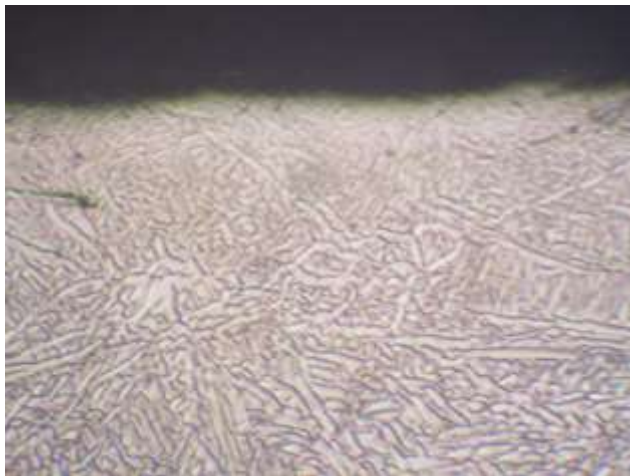


Рисунок 3.25 – Мікроструктура сплаву VT22 після цементації при температурі 850 °С, $\tau = 36$ год, $\times 500$

Зважаючи на те, що в літературі міститься досить невелика кількість даних щодо даного сплаву, режимів його обробки та структур, висновки робились виключно з результатів отриманих досліджень та з аналізу приведених в літературі даних про хіміко-термічну обробку ідентичних титанових сплавів.

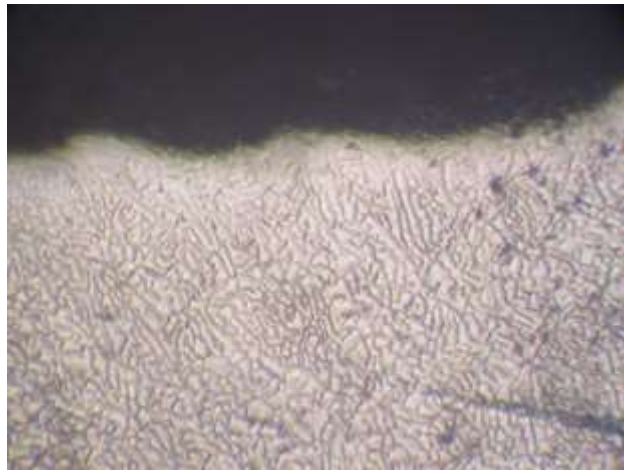


Рисунок 3.26 – Мікроструктура сплаву VT22 після цементациї при температурі 850 °С, $\tau = 48$ год, $\times 500$

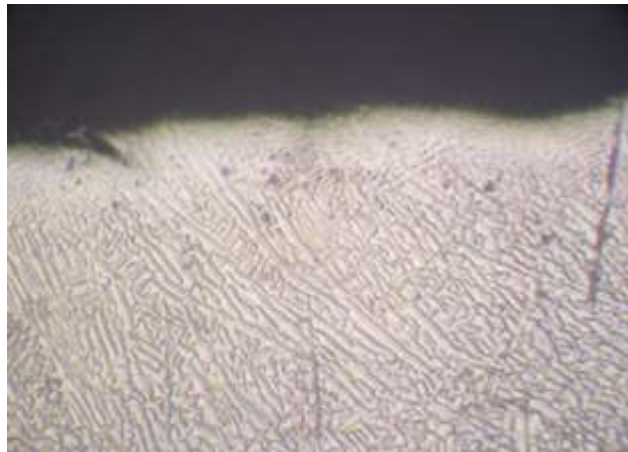


Рисунок 3.27 – Мікроструктура сплаву VT22 після цементациї при температурі 900 °С, $\tau = 12$ год, $\times 500$

Як відзначалося в аналітичному огляді джерел інформації, титановий сплав VT22 відносять до сплавів з $\alpha + \beta$ структурою (вони містять більш 2 % β – стабілізаторів: молібден, ванадій, кремній та ін.). Незважаючи на значне зміцнення при термічній обробці, сплав не має високої жароміцності, що пояснюється його гетерогенною структурою, яка сприяє розвитку в сплаві дифузійних процесів, що призводять до невеликого зменшення міцності.

Тому для стабілізації структури та характеристик жароміцності була використана раніше вказана термічна обробка: хіміко – термічна обробка при температурах 850 °С, 900 °С, 950 °С з подальшим охолодженням з піччю. Таким

чином, можна вважати проведену термічну обробку цементацією з відпалом серцевини. В результаті даної обробки в металевій основі сплава сформувалась рівноважна $\alpha + \beta$ структура.

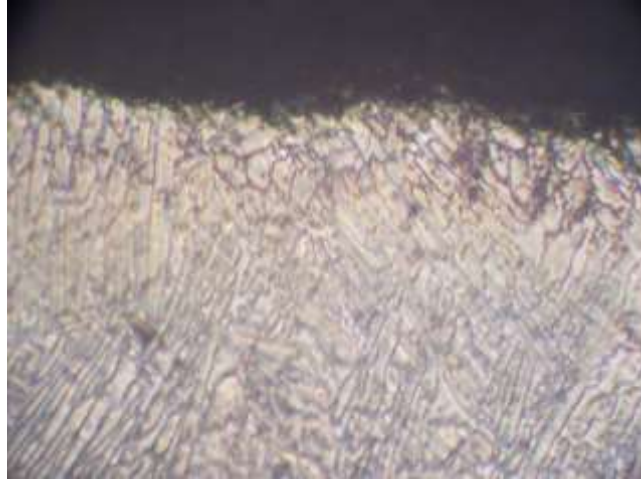


Рисунок 3.28 – Мікроструктура сплаву VT22 після цементації при температурі 900 °С, $\tau = 24$ год, $\times 500$

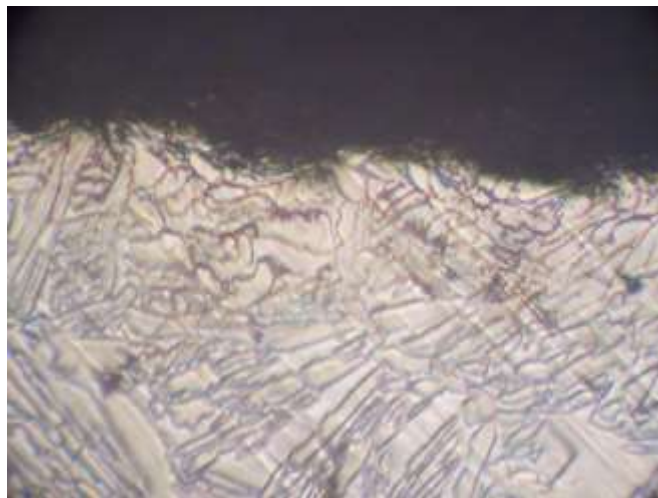


Рисунок 3.29 – Мікроструктура сплаву VT22 після цементації при температурі 900 °С, $\tau = 36$ год, $\times 500$

Також варто зазначити про наявність досить великої кількості легуючих елементів в сплаві, що також призводить до підвищення характеристик жароміцності та підвищення робочої температури сплаву VT22. Основними легуючи-

ми елементами, що сприяють підвищенню зазначених характеристик є алюміній, молібден, кремній.

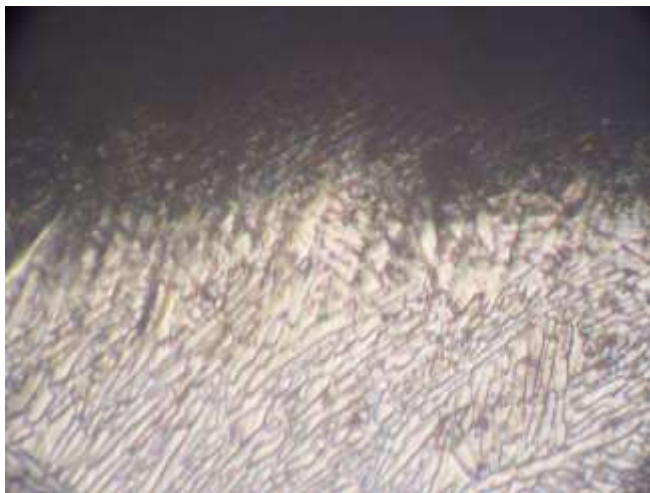


Рисунок 3.30 – Мікроструктура сплаву VT22 після цементації при температурі 900 °С, $\tau = 48$ год, $\times 500$

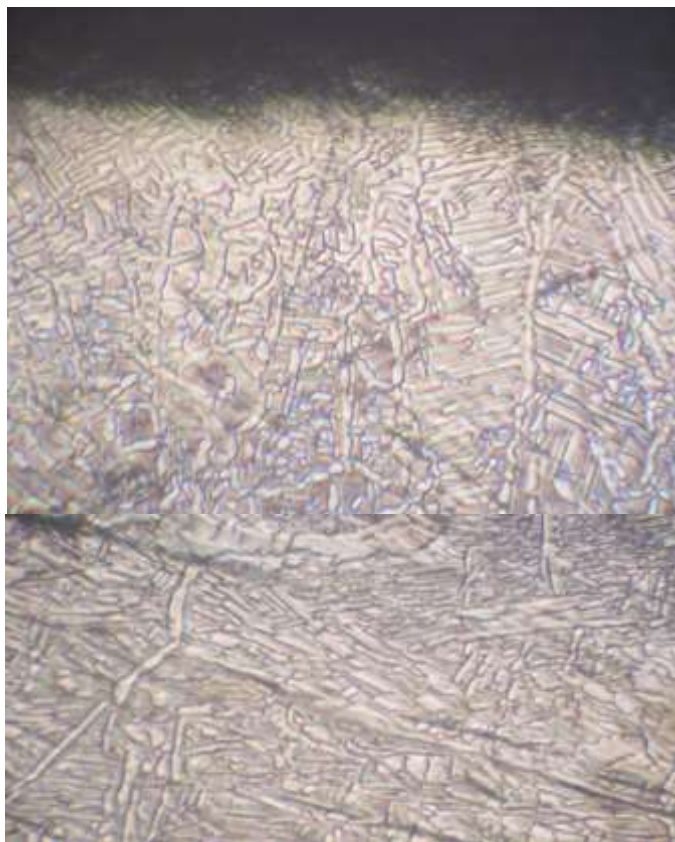


Рисунок 3.31 – Мікроструктура сплаву VT22 після цементації при температурі 950 °С, $\tau = 12$ год, $\times 500$

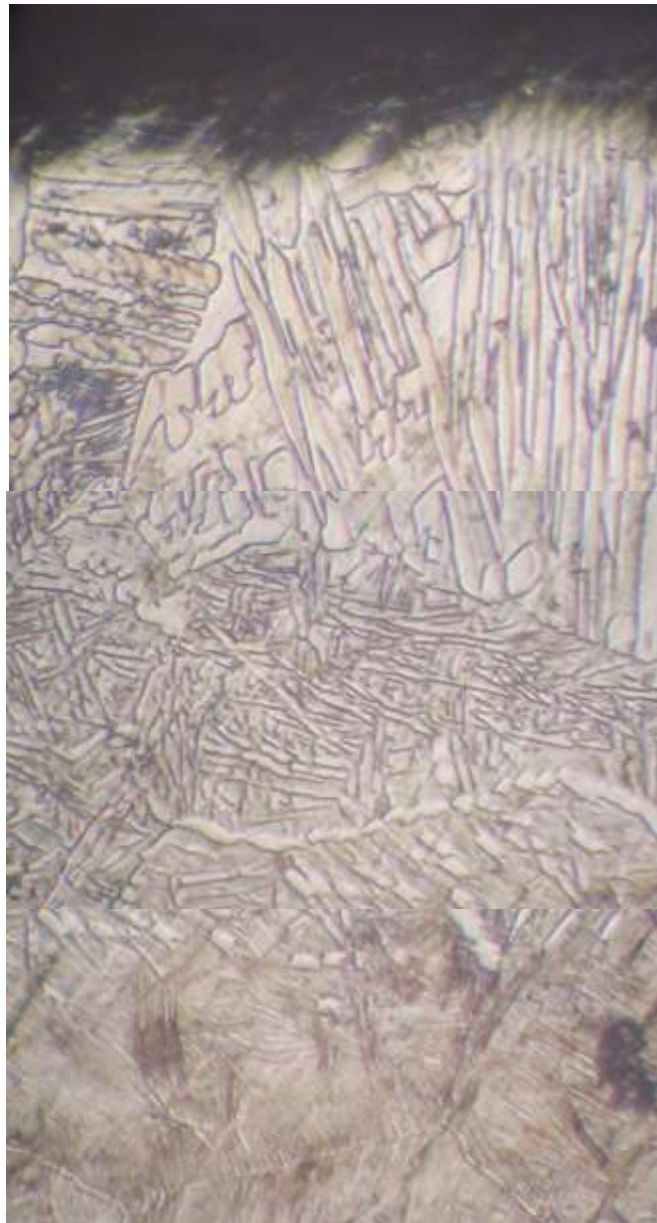


Рисунок 3.32 – Мікроструктура сплаву VT22 після цементації при температурі 950 °С, $\tau = 24$ год, $\times 500$

Також варто зазначити про наявність досить великої кількості легуючих елементів в сплаві, що також призводить до підвищення характеристик жароміцності та підвищення робочої температури сплаву VT22. Основними легуючими елементами, що сприяють підвищенню зазначених характеристик є алюміній, молібден, кремній.

Слід вказати, що титан, ванадій, молібден та хром – сильні карбідоутворюючі елементи.



Рисунок 3.33 – Мікроструктура сплаву VT22 після цементації при температурі 950 °С, $\tau = 36$ год, $\times 500$

Розчинність вуглецю в α - та β - титані невисока, тому зміцнення поверхні титану вуглецем відбувається за рахунок створення карбідів титану TiC , твердість якого складає 3000 кг/мм². Так як сплав VT22 легований багатьма елементами, то можливе утворення таких карбідів як: карбіди ванадію: VC (твердість 2094 кг/мм²), V_2C_3 (твердість 900 кг/мм²), VC_2 (твердість 700 кг/мм²); карбіди

молібдену Mo_2C (твердість 1500 кг/мм^2), Mo_3C (твердість 1500 кг/мм^2), карбіди кремнію SiC (твердість 3000 кг/мм^2), карбіди хрому Cr_3C_2 (твердість 1350 кг/мм^2), Cr_7C_3 (твердість 1800 кг/мм^2), Cr_{23}C_6 (твердість 1650 кг/мм^2) [3, 5].

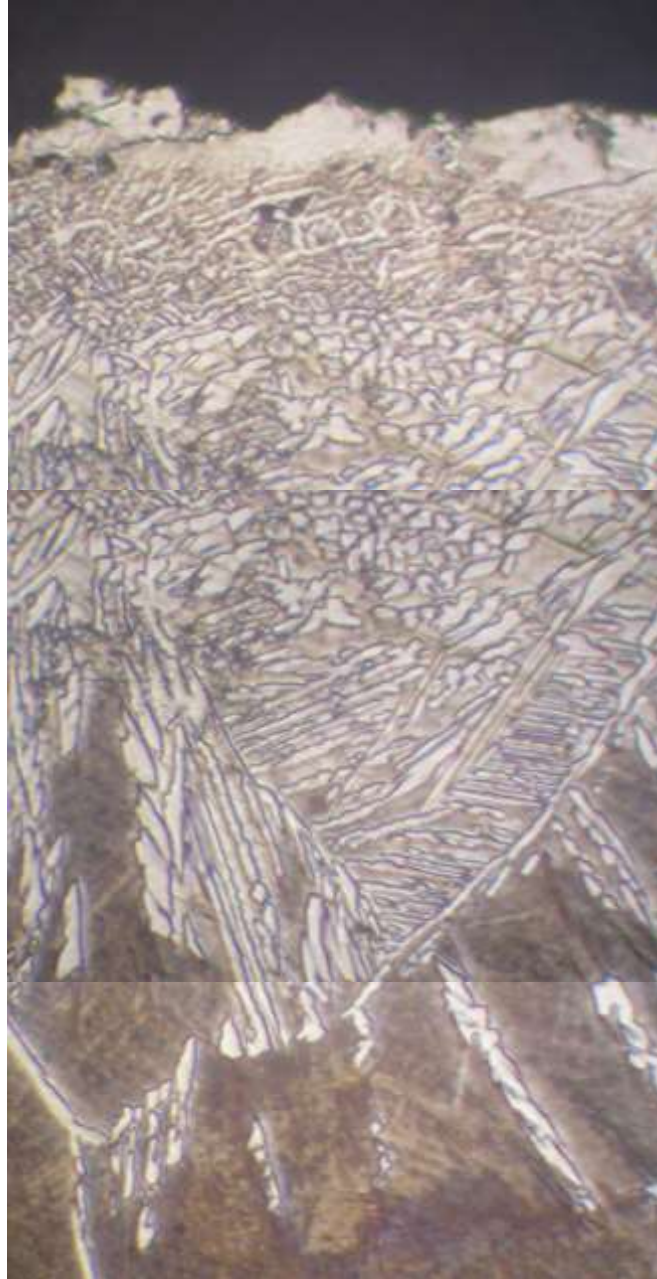


Рисунок 3.34 – Мікроструктура сплаву VT22 після цементації при температурі $950 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 48$ год, $\times 500$

У зміцненому шарі можлива наявність великої кількості карбідів, що в свою чергу впливає на значення твердості зміцненого шару. Проте, варто

пам'ятати, що при цементації титану в деревинному вугіллі поверхня металу може насичуватися киснем, а також, можливо, азотом та воднем, що значно підвищує крихкість серцевини зміцненого шару.

Титан утворює інтерметалічні з'єднання з багатьма легуючими елементами. В даному сплаві можливе утворення інтерметалідів титану з такими елементами, як хром, залізо та алюміній. Найбільший практичний інтерес має з'єднання Ti_3Al (твердість 250 кг/мм^2) та $TiAl$ (твердість 680 кг/мм^2), які мають високу міцність при температурах вище $600 \text{ }^\circ\text{C}$ та жароміцність [11, 13].

Крім карбідів та інтерметалічних з'єднань в поверхневому шарі можуть утворюватись також з'єднання титану з азотом, киснем, воднем, кремнієм, алюмінієм та комбіновані з'єднання.

Нітриди титану TiN мають високу твердість (від 9 до 10 одиниць за мінералогічною шкалою); з'єднання титану з киснем, такі як: TiO , TiO_2 (твердість 800 кг/мм^2), з кремнієм: $TiSi$, $TiSi_2$ (твердість 900 кг/мм^2) – не мають дуже високих значень твердості.

Титановий сплав VT22 після проведеної термообробки має голчасту структуру на поверхні, де розташований зміцнений шар. Після цементації при $950 \text{ }^\circ\text{C}$, яка призвела до утворення шару найбільшої товщини (більше 100 мкм) на поверхневих зонах голки мають великі розміри і розташовані у вигляді пакетів – зон з однаковою орієнтацією голок. Далі йде шар з голками менших розмірів, який переходить у двофазну металеву основу сплаву.

На жаль, відсутність проведення рентгенівського фазового аналізу не дозволяє однозначно ідентифікувати фазовий склад поверхневого шару.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок економічного ефекту

Основними джерелами економічного ефекту можуть бути:

- Зниження витрат на проектування у зв'язку зі скороченням циклу технічної підготовки виробництва;
- Підвищення якості проектування: зменшення помилок у технічній документації;
- Зниження трудомісткості, станкоємкості, матеріалоємності виробів; витрат на зміст і експлуатацію встаткування, браку при випуску виробів;
- Збільшення випуску виробів за рахунок зниження пристроїв устаткування, втрат робочого часу;
- Одержання додаткового прибутку у зв'язку з виготовленням виробів з поліпшеними техніко-експлуатаційними характеристиками;
- Зменшення величин оборотних коштів (у частині незавершеного виробництва) за рахунок прискорення їхньої оборотності в результаті скорочення тривалості циклу виробництва виробів.

Одним із завдань дипломної роботи є розрахунок економічного ефекту від запропонованого режиму хіміко-термічної обробки. Доцільність впровадження режиму хіміко-термічної обробки визначається:

- Порівнянням величин витрат по варіантах режимів ХТО;
- Розрахунком очікуваного економічного режиму від заданого режиму ХТО.

Розрахунок може бути виконаний одним із двох способів:

1. По показнику відносної економічної ефективності капіталовкладень (використовується, якщо мають місце декілька альтернативних варіантів);
2. З урахуванням сукупності показників річної економічної ефективності.

Використавши другий варіант можна розрахувати економічну ефективність режиму ХТО:

$$E = C + E_H \cdot K$$

де C – собівартість варіанту, грн.; K – капітальні вкладення, грн.; E_H – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень, визначається залежно від конкретного виробництва й не може бути нижче, ніж ставка банківського відсотка (у дипломній роботі запропоновано $E_H=0,2$).

Розрахунок капіталовкладень (K):

$$K = K_{уст} + K_{сп} + K_{осн}$$

де $K_{уст}$ – капіталовкладення у технологічне устаткування, грн.; $K_{сп}$ – капітальні вкладення у споруди цеха, грн.; $K_{осн}$ – капітальні вкладення у оснастку, грн..

Розрахунок капіталовкладень у технологічне устаткування.

$$K_{уст} = \sum_{i=1}^n K_{уст.i} \cdot O_i \cdot \mu_i,$$

де $K_{уст.i}$ - капіталовкладення в одиницю технологічного устаткування, зайнятого виконанням i -ої операції; O_i - кількість устаткування; μ - коефіцієнт зайнятості технологічного устаткування виконанням i -ої операції; n - кількість операцій.

Розрахунок капітальних вкладень у споруди цеха по операціям.

$$K_{сп} = \sum_{i=1}^n S_i \cdot \mu_{si} \cdot h_i \cdot \Pi_{сп},$$

де S_i - потрібна площа по варіантах на i -ої операції, m^2 ; μ_{si} - коефіцієнт зайнятості площі при виконання i -ої операції; h_i - висота приміщення цеха, в якому виконується операція, м; $\Pi_{сп}$ - вартість $1 m^3$ виробничої споруди, грн.

Розрахунок капітальних вкладень у оснастку.

$$K_{осн} = \sum_{i=1}^n K_{осн} \cdot \Pi_i \cdot \mu_{осн.i}, \quad (4.1)$$

де $K_{осн}$ - вартість одного екземпляра оснастки, грн.;

Π_i - кількість екземплярів оснастки;

$\mu_{очн.i}$ - коефіцієнт зайнятості технологічної оснастки при виконанні і-ої операції.

Проаналізував процес хіміко-термічної обробки зразків встановлено, що не потрібно допоміжних капіталовкладень ні на споруди, ні на обладнання, ні на оснастку. Таким чином, в розрахунковій формулі для вибору ефективного варіанта, відношення, можна не використовувати. В таблиці 2.2 показники відповідних капітальних затрат використовуватися не будуть.

Розрахунок заробітної плати.

Заробітна плата на один технологічний цикл процесу хіміко-термічної обробки з урахуванням всіх нарахувань на заробітну плату, а також доплат і додаткової заробітної плати визначається по формулі:

$$C_{zi} = C_{чи} \cdot t_i \cdot K_{\delta} \cdot K_{в} \cdot n_{снi} = 6,7 \cdot 30 \cdot 1,15 \cdot 1,3805 \cdot 2 = 638,21 \text{ грн}, \quad (4.2)$$

де $C_{чи}$ - годинна тарифна ставка робітника на і-тої операції, грн/год;

t_i - норма годин і-тої операції, г/оп;

$n_{снi}$ - облікова кількість робітників певної професії, чол.;

K_{δ} - коефіцієнт, що враховує розмір доплат і додаткової заробітної плати (у проекті величину K_{δ} , можна прийняти в розмірі 1,15);

$K_{в}$ - коефіцієнт, що враховує розмір всіх нарахувань на заробітну плату (соціальне страхування, пенсійне страхування, фонд зайнятості й інші фонди, $K_{в} = 1,3805$).

Годинну тарифну ставку і-того розряду ($C_{чи}$) варто приймати залежно від середньої місячної заробітної плати ($M_{3min} = 750$ грн/міс) і місячного фонду робочого часу, що у середньому дорівнює 167 годин, і тарифного коефіцієнта. Годинна тарифна ставка визначається за допомогою наступної формули

$$C_{ч} = \frac{M_{з} \cdot K_{Т}}{167} = \frac{750 \cdot 1,5}{167} = 6,7 \text{ грн/год}, \quad (4.3)$$

Тарифні коефіцієнти (K_T) приймаються в таких розмірах:

1-й розряд - 1,0; 2-й - 1,2; 3-й - 1,35; 4-й - 1,5; 5-й - 1,7; 6-й - 2,0.

Розрахунок амортизаційного фонду оформлено у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Розрахунок амортизаційного фонду

№	Група основних фондів	Вартість, грн	Амортизаційні відрахування	
			%	сума, грн
1	Споруди	25000	10	2500
2	Технологічне устаткування	200000	12	24000
3	Оснастка	5000	40	2000
Усього:		230000		28500

$$28500 \div 12 \div 22 \div 8 \cdot 30 = 404,83$$

Витрати на електричну енергію.

$$Z_e = Q_{el} \cdot C_{el} = 493,45 \text{ грн}$$

$$Z_e = 695 \cdot 0,71 = 493,45 \text{ грн}$$

де Q_{el} - спожита кількість електричної енергії на один технологічний цикл процесу хіміко-термічної обробки, мВтч;

C_{el} - ціна 1 мВтч, грн./мВтч.

Спожита кількість електричної енергії на один технологічний цикл процесу хіміко-термічної обробки може бути приблизно визначене по формулі:

$$Q_{el} = \frac{N_{\partial} \cdot \Phi_{\partial} \cdot K_o \cdot \eta_z}{K_e \cdot \eta_{\partial}} \cdot 10^{-3} = \frac{300 \cdot 30 \cdot 0,7 \cdot 0,75}{0,8 \cdot 0,85} = 695 \text{ мВтч} \quad (4.4)$$

де N_{∂} - сумарна вст. потужність енергоустаткування, кВт;

Φ_{∂} - дійсний річний фонд часу роботи встаткування на операцію, годин;

K_o - коефіцієнт одночасної роботи обладнання (0,7);

K_B коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі (0,85);

η_3 - коефіцієнт середнього завантаження встаткування (0,75);

η_0 - коефіцієнт корисної дії двигунів і іншого встаткування (0,8).

Вартість витрат освітлювальної енергії

$$Z_{eo} = Q_{elo} \cdot C_{el} = 44,55 \cdot 0,71 = 31,63 \text{ грн}, \quad (4.5)$$

де Q_{elo} - спожита кількість електричної енергії на один технологічний цикл процесу хіміко-термічної обробки, мВтч;

C_{el} - ціна 1 мВтч, грн/мВтч.

Кількість енергії для висвітлення, визначаємо по формулі:

$$Q_{elo} = T \cdot S \cdot qe = 30 \cdot 99 \cdot 0,015 = 44,55 \text{ мВт} \cdot \text{ч}, \quad (4.6)$$

де T - число годин висвітлення;

S - площа цеху, м^2 ; qe - питомі витрати електроенергії на висвітлення 1 м площі (приймаємо 0,015 кВт/год плюс 5% на чергове висвітлення).

Сумарну величину витрат на один технологічний цикл процесу хіміко-термічної обробки по варіантах представлено в таблиці 4.2.

4.2 Планування виконання дипломної роботи

Планування виконання техніко-економічної частини дипломної науково-дослідної роботи проведене у наступній послідовності: визначена загальна тривалість витрат часу, які передбачені планом для дипломно-дослідних робіт; складено перелік робіт, встановлена їх тривалість і послідовність виконання. Всі дані занесено в таблицю 4.3.

Таблиця 4.2 – Величина поточних витрат

Найменування витрат	Сума, грн
Заробітна платня	638,21
Амортизація	404,83
Електрична енергія	493,45
Освітлювальна енергія	31,63
Всього:	1568,12

Таблиця 4.3 Приблизний перелік робіт

№	Найменування робіт	Тривалість робіт (доба)	Номер наступної роботи
1	Аналіз літератури	20	2
2	Складання схеми роботи	2	3,4
3	Підбір технічного обладнання	3	5
4	Підбір необхідних матеріалів та режимів термообробки	4	5
5	Виготовлення зразків	3	6
6	Підготовка технічного обладнання до роботи	4	7
7	Проведення хіміко-термічної обробки зразків	16	8
8	Виготовлення мікрошліфів	10	9
9	Дослідження отриманих результатів (структур)	7	10
10	Обробка результатів	6	11
11	Узагальнення результатів дослідження	8	12,13
12	Розрахунки економіки	12	14
13	Робота з охорони праці та ЦО	12	14
14	Виготовлення плакатів	12	15
15	Оформлення пояснювальної записки	14	16
16	Підготовка доповіді до захисту	1	-

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Загальні питання охорони праці і навколишнього середовища

Питанням охорони праці та навколишнього середовища в Україні приділяється велике значення. Права громадян на охорону їх життя та здоров'я, на забезпечення нешкідливих та безпечних умов у процесі трудової діяльності закріплені у Конституції України та інших законодавчих актах. Створення безпечних умов праці – це невід'ємна частина соціально економічного розвитку держави, складова державної політики, національної безпеки та державного будівництва, одна з найважливіших функцій органів виконавчої влади, місцевих державних адміністрацій, виконавчих органів рад, підприємств.

Основними причинами аварій та травмування працівників є незадовільна організація робочих місць і виконання робіт, порушення трудової і технологічної дисципліни, безвідповідальне ставлення керівників виробництва і безпосередніх виконавців до дотримання вимог безпеки праці. Для уникнення аварій та травматизму працівників введені закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які причинили втрату працездатності», закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» та закон України «Про охорону праці».

На металургійних підприємствах здійснюється багато технологічних операцій, які забруднюють повітря. Зростання виробничих потужностей, поява нових технологічних процесів, комплексна механізація і автоматизація виробництва змінюють вигляд промислових підприємств в технологічному та гігієнічному розумінні.

Дипломна науково-дослідна робота «Вплив ХТО на структуру і властивості титанового сплаву ВТ22» проведена в лабораторії кафедри «Технологія металів і матеріалознавство». Об'єктами досліджень були дослідження процесів

дифузійного насичення зразків з титанового сплаву VT22, що піддали цементації.

При проведенні дипломної роботи використовувалось наступне обладнання: термічні пічі, обладнання для виготовлення шліфів (шліфувальні та полірувальні верстати), електронний мікроскоп та ін.

Питання розділу охорони праці розглянуті для етапів ХТО титанового сплаву VT22, дослідження та аналізу структури, отриманої в результаті процесу цементації, та створення безпечних умов праці для людини.

5.2 Виробнича санітарія

При проведенні науково дослідної роботи в лабораторії кафедри можливі небезпечні та шкідливі виробничі фактори, перелік яких наведено у табл. 5.1. згідно стандарту.

Таблиця 5.1 – Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів в приміщенні лабораторії кафедри “Технологія металів і матеріалознавство”

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори	Джерела їх виникнення	Нормуємий параметр	Характер впливу	Заходи по забезпеченню нормуємих параметрів не вище допустимих
Електричний струм	Електричне обладнання	U, B – напруга, I, A – електричний струм	Електричні травми, електричний удар	Конструктивні: ізоляція, огороження, схемно-конструктивні: занулення, захисне заземлення.
Шкідливі речовини	Травління шліфів, шліфувальні верстати, підготовка карбюратора	ПДК, гранично допустима концентрація, мг/м ³	Захворювання легень, отруєння	Приточно-витяжна вентиляція, герметизація устаткування
Неякісне освітлення	Освітлювальні прилади	E _{мін} , лк КПО, %	Захворювання органів зору	Використання більш раціональних джерел світла та освітлювальних приладів

Метеорологічні умови в приміщенні лабораторії кафедри «Технологія металів і матеріалознавство» обрані згідно з вимогами відповідно стандарту, наведені в табл. 5.2.

Забезпечення наведених параметрів мікроклімату в приміщенні лабораторії досягнуто за допомогою приточно - витяжної вентиляції, відповідно стандарту.

Таблиця 5.2 – Допустимі норми температури, відносної вологості, швидкості руху повітря в приміщенні лабораторії кафедри

Період року	Категорія роботи	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
			не більше	
Холодний	Легка – 1б	20–24	75	0,2
Теплий	Легка – 1б	21–28	60 (при 27°С)	0,1–0,3

Для забезпечення нормальної роботи в приміщенні лабораторії передбачене суміщене освітлення, що нормується ДБН В.2.5-28-2006. За характером зорова робота відноситься до роботи високої точності розряду зорової роботи III, під розряду «в», фон середній, контраст – середній, найменший розмір об'єкта розрізнення 0,3 мм - 0,5 мм.

Всі виробничі приміщення з постійним знаходженням у них людей, відповідно до санітарних норм і правил мають суміщене освітлення. Під час проведення хіміко-термічної обробки та дослідження отриманих результатів застосовується суміщене освітлення: природне освітлення - бокове, штучне - загальне.

Природне освітлення нормується ДБН В.2.5-28-2006 коефіцієнтом природної освітленості КПО.

Нормоване значення КПО для III – «в» розряду зорових робіт згідно ДБН В.2.5-28-2006 складає $e^{III} = 1,2 \%$. Оскільки дипломна робота виконана на Україні, тому нормативне значення КПО для приміщень розташованих в інших містах України визначено по формулі (5.1)

$$e_N = e_H m_N, \quad (5.1)$$

де e_H – значення КПО для III світлового поясу, $e_H = 1,2$;

m – коефіцієнт світлового клімату, $m = 0,9$;

N – номер групи забезпеченості суміщеним світлом, $N = 2$.

$$e_2 = 1,2 \cdot 0,9 = 1,08 \%$$

Реалізація цього КПО здійснена при будівництві шляхом створення необхідної площі віконних прорізів.

Штучне освітлення в лабораторії загальне рівномірне. Нормованою величиною штучного освітлення є мінімальне значення освітленості E_{min} , лк. Мінімально допустима освітленість E_{min} в приміщенні досягнута правильним розрахунком штучного освітлення (насамперед кількістю і розміщенням світильників, вибором типу та потужності ламп) відповідно до ДБН В.2.5-28-2006.

Для забезпечення нормованого значення освітленості розраховано штучне освітлення в лабораторії. Проведено розрахунок необхідної кількості світильників, типів ламп, необхідних для забезпечення нормальних умов роботи.

Розрахунок проведено методом коефіцієнта використання світлового потоку. Світловий потік однієї лампи Φ_L розраховано за формулою 5.2

$$\Phi_L = \frac{E_{min} \cdot k \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta}, \quad (5.2)$$

де E_{min} – мінімальна нормована освітленість, лк;

k – коефіцієнт запасу;

S – освітлювана площа, m^2 ;

Z – коефіцієнт мінімальної освітленості;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світлового потоку в частках одиниці;

N – число ламп у світильнику.

Лабораторія для виготовлення шліфів; що має наступні розміри : довжина $A = 11$ м, ширина $B = 9$ м, висота $H = 4,5$ м; повітряне середовище – менше 1 мг/м^3 диму та пилу.

Як кількісна характеристика освітленості береться найменша освітленість робочої поверхні E_{min} , що залежить від розряду зорових робіт, фону і контрасту об'єкта з фоном, а також від системи освітлення. Тому $E_{min} = 300$ лк.

Визначальними параметрами при виборі економічного джерела світла є будівельні параметри, архітектурно-планувальне рішення, стан повітряного середовища, економічне планування.

Перевагою люмінесцентних ламп є їх висока світловіддача, до 75 лм/Вт , і термін служби до 10000 год., гарна передача кольору, низька температура. Тому в лабораторії для виготовлення шліфів слід використовувати люмінесцентні лампи типу ЛБ 80-4.

Вибір світильників здійснюється з урахуванням світлотехнічних, економічних вимог, умов повітряного середовища. Вибираємо світильник типу ПВЛМ, який складається з двох ламп потужністю 80 Вт .

Коефіцієнт запасу k враховує запиленість приміщення, зниження світлового потоку ламп у процесі експлуатації. Повітряне середовище в цеху має менше 1 мг/м^3 диму та пилу, тому $k=2$.

Коефіцієнт мінімальної освітленості Z характеризує нерівномірність освітлення. Він залежить від відношення відстані між світильниками до розрахункової висоти (L/h). Рекомендується брати $Z=1,1$ для люмінесцентних ламп.

Індекс приміщення i визначається за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (5.3)$$

де A , B , h – довжина, ширина і розрахункова висота (висота підвісу світильника над робочою поверхнею) приміщення, м.

$$h = H - h_{зв} - h_p, \quad (5.4)$$

де H – геометрична висота приміщення;

$h_{зв}$ – висота звисання світильника, $h_{зв}=0,5$ м;

h_p – висота робочої поверхні, $h_p=1,0$ м.

$$h = 4,5 - 0,5 - 1 = 3 \text{ м};$$

$$i = \frac{11 \cdot 9}{3 \cdot (11 + 9)} = 1,65 \text{ м}.$$

Коефіцієнт використання світлового потоку η є складною функцією, що залежить від типу світильника, індексу приміщення, коефіцієнта відбиття стелі, стін і підлоги.

Для даного типу приміщення приймають: $\rho_c = 70\%$, $\rho_{ст} = 50\%$, $\rho_n = 30\%$.
Методом інтерполяції знаходимо проміжне значення коефіцієнта використання:
 $\eta \approx 57,21\%$.

Загальну кількість світильників визначаємо за формулою 5.2.

$$\Phi_{л} = 4960 \text{ лм}$$

$$N = \frac{E_{\min} \cdot k \cdot S \cdot Z}{\Phi_{л} \cdot n \cdot \eta},$$

$$N = \frac{300 \cdot 2 \cdot 99 \cdot 1,1}{4960 \cdot 2 \cdot 0,5721} \approx 11,51 \text{ шт.}$$

Приймаємо $N=12$ шт.

Відстані між світильниками:

$$A = 3L + 2 \cdot L/2,$$

$$\text{звідси } L = A/4 = 11/4 = 2,75 \text{ м;}$$

$$B = 2l + 2 \cdot L/2$$

$$\text{звідси } l = B/3 = 9/3 = 3 \text{ м;}$$

Відстані між стіною та світильниками дорівнюють:

$$L/2 = 1,375 \text{ м; } l/2 = 1,5 \text{ м.}$$

Згідно стандарту в приміщенні лабораторії рівень звуку L_p не перевищує 60 дБ. Для забезпечення нормованого рівня шуму в приміщенні лабораторії використані конструктивні рішення: шумопоглинальні засоби (перфоровані плити, панелі); перегородки; раціональне розміщення устаткування відповідно до стандарту.

5.3 Міри безпеки

Клас приміщення за ступенем враження електричним струмом відносять до підвищеної небезпеки, оскільки є можливість одночасного дотику людини до маючих з'єднання з землею металоконструкцій будинків, механізмом з одного боку і до металевих корпусів електроустаткування – з іншої. .

Живлення обладнання від мережа змінного струму частотою $f = 50$ Гц, напругою до 380/220 В і вище з глухо заземленою нейтраллю.

У приміщенні лабораторії передбачені наступні міри електробезпеки: конструктивні, схемно-конструктивні та експлуатаційні згідно ПУЕ:2006.

Конструктивні заходи безпеки відповідають стандарту. Для усунення можливості дотику людини до струмоведучих частин всі рубильники встановлені в закритих корпусах, струмоведучі частини поміщені в захисний корпус, або

покриті шаром ізоляції, що виключає можливість дотику до них, застосовується блоковий монтаж.

Згідно стандарту у якості схемно-конструктивних заходів безпеки передбачене занулення та захисне заземлення.

5.4 Пожежна безпека

Причинами, що можуть викликати пожежу в приміщенні лабораторії з устаткуванням і технікою є: несправність електроустаткування, коротке замикання електричних ланцюгів, перегрів апаратури, атмосферні явища, неправильне використання електроустаткування.

Приміщення лабораторії, для проводиться хіміко-термічна обробка відноситься по вибухопожежній і пожежній небезпеці до категорії «В» згідно НАПБ Б.03.002-2007, і до Іступеня вогнестійкості будинку згідно ДБН В 1.1-7-2002. Клас приміщення за пожежною небезпекою П-Па згідно ПУЕ:2006.

Для запобігання пожежі регулярно проводиться контроль і профілактика ізоляції, перевірка на придатність плавких вставок і запобіжників у обладнанні.

Пожежна безпека в приміщенні лабораторії відповідно до ГОСТ 12.1.004.91* забезпечується системою протипожежного захисту, системою пожежного захисту, а також проведенням організаційних заходів.

Система запобігання пожежі містить у собі: контроль і профілактику ізоляції, наявність плавких вставок і запобіжників в устаткуванні, захисне заземлення і занулення, захист від блискавки будинку згідно ДСТУ Б В.2.5.-38:2008.

У приміщенні лабораторії системою пожежного захисту передбачені наступні міри: застосування засобів пожежогасіння, вогнегасників типу ВВК-5; евакуаційні виходи, застосування засобів колективного й індивідуального захисту; застосування засобів пожежної сигналізації і засобів повідомлення про пожежу.

Організаційними заходами щодо забезпечення пожежної безпеки, при роботі в приміщенні лабораторії, є навчання працівників правилам пожежної без-

пеки, правильна експлуатація устаткування, наявність планів евакуації, проведення протипожежного інструктажу службовців та ін.

5.5 Захист навколишнього середовища

Під час проведення хіміко-термічної обробки та підготовки шліфів задля вивчення мікроструктури відбувається виділення у повітря робочої зони шкідливих газів, та пилу. Це можливо під час травлення зразків, під час підготовки карбюризатора задля процесу цементації. Джерела забруднення води, повітря, стандарту, та повітря приміщення згідно стандарту не перевищують.

Очищення виробничих стічних вод відбувається за допомогою їх пропускання крізь очисні спорудження. Тверді або рідкі відходи піддають під утилізацію в спеціально відведених місцях.

Виконання наведених нормативних параметрів небезпечних та шкідливих виробничих факторів дозволяє забезпечити безпечні умови роботи дослідника на робочому місці.

ВИСНОВКИ

Проаналізувавши експериментальні дослідження впливу параметрів хіміко - термічної обробки на структуру та властивості титанового сплаву VT22 можна зробити наступні висновки:

1. Використання хіміко – термічної обробки з метою отримання зміцненого поверхневого шару призводить до підвищення твердості та зносостійкості, що в свою чергу, розширює сферу промислового використання даного сплаву.
2. Найвищі результати твердості зміцненого шару отримано в результаті проведення хіміко-термічної обробки за наступним режимом: температура 900 °С, тривалість 36 годин.
3. Даний режим ХТО дозволяє отримати оптимальну глибину зміцненого шару ~120 мкм, при цьому розмір зерна металевої основи залишається достатньо невеликим.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Кравченко О.М., Дяченко В.С. Титан та його сплави у сучасному машинобудуванні: монографія. – Київ: Техніка, 2018. – 312 с.
- 2 Павлюк І.В. Металознавство і термічна обробка високотемпературних сплавів: навч. посібник. – Львів: Львівська політехніка, 2019. – 256 с.
- 3 Сидоренко Д.П., Марченко Ю.В. Хіміко-термічна обробка титанових сплавів у промислових умовах // Матеріалознавство та інженерія поверхні. – №4, 2020. – С. 45–53.
- 4 Грицак Р.Є., Новіков С.О. Модифікація поверхні титану методами високотемпературної дифузії. – Харків: Вид-во НТУ «ХП», 2021. – 198 с.
- 5 Пономаренко Т.А. Властивості та застосування жароміцних титанових сплавів у авіакосмічній галузі: огляд. – Дніпро: АерокосмПром, 2022. – 147 с.
- 6 Клименко М.Г., Орел П.Т. Механізми утворення зміцнених шарів при низькотемпературній газовій насичувальній обробці титану // Фізика і хімія матеріалів. – Т. 53, № 2, 2019. – С. 122–130.
- 7 Сергієнко Л.А. Технології екологічно безпечної обробки металів: сучасні стандарти та вимоги. – Київ: ЕкоСтандарт, 2020. – 204 с.
- 8 Мельник Я.В. Енергоефективні методи термічної та дифузійної обробки металів: монографія. – Вінниця: Універсум, 2022. – 184 с.
- 9 Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: Навч. посібник / А.М. Верховлюк, А.В. Нарівський, В.Г. Могилатенко / За ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. – К.: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. – 224 с.
- 10 В.А. Білоус, В.М. Воеводін, В.М. Хороших, Г.І. Носов, В.Г. Маринін та ін. Створення експериментального обладнання і основних технологічних прийомів отримання кавітаційно-стійких захисних покриттів на робочих поверхнях лопаток парових турбін з титанового сплаву ВТ6 з ме-

тою заміщення імпорту аналогічної продукції // Наука та інновації. 2015, т. 12, №4, с. 29-39.

11 Titanium and its alloys. Massaki Nakai, Masato Ueda, Sengo Kobayashi. Journal Of The Japan Institute Of Light Metals. 2018. Vol. 68. № 8 pp. 444–447.

12 Williams J.C., Boyer R. Opportunities and Issues in the Application of Titanium Alloys for Aerospace Components. Metals. 2020. Vol. 10(6). pp. 705; <https://doi.org/10.3390/met10060705>

13 Ахонін С.В., Білоус В.Ю. Селін Р.В. Вржижевський Э.Л., Петриченко И.К., Антонюк С.Л. Вплив термічної обробки на структуру та властивості зварних з'єднань високоміцних титанових сплавів на основі β -фази. Сучасна електрометалургія. № 4, 2021, С 45 – 67.

14 Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Матеріалознавство» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 132 Матеріалознавство / Укл.: Лисенко О.Б, Калінія Т.В. Кам'янське, ДДТУ, 2019-36 с.

15 Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Селин Р.В., Петриченко И.К. Термічна обробка отриманого способом ЕПП високоміцного псевдо- β -титанового сплаву та його зварних з'єднань. Сучасна електрометалургія. 2020. №1. С. 14–25.

16 Reddy, M. K. P., Naik, R. P., Samatham, M., & Kumar, C. H. Review on different welding techniques of Titanium and its alloys. International Journal of Scientific Research in Science. Engineering and Technology. 2020 (www. ijsrset. com), Vol.7. (1), Print ISSN 2395-1990. <https://doi.org/10.32628/IJSRSET207150>

17 Czerwinski F. Heat Treatment: Conventional and Novel Applications / F. Czerwinski – InTech, 2012. – 408 p.

18 Titanium-based alloy: pat. EP 1882752; publ. 03.06.2009.

19 Titanium-based alloy: pat. US 6632396; publ. 14.10.2003.

20 ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. 66 с.

- 21 ДСТУ EN 60079-10-1:2019. Вибухонебезпечні середовища. Частина 10-1. Класифікація областей. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 54 с.
- 22 ДСТУ ISO 13849-1:2020. Безпечність машин. Частина 1. Загальні принципи проектування. – Київ: Мінекономіки України, 2020. – 92 с.
- 23 Онищенко В.І. Стан та тенденції розвитку технологій захисту повітряного середовища від промислових викидів. – Полтава: ПНТУ, 2021. – 173 с.
- 24 Коваленко Г.О., Дубовик М.С. Системи вентиляції та очищення повітря на промислових підприємствах: довідник. – Одеса: Технопростір, 2019. – 228 с.
- 25 Наказ Міністерства енергетики та захисту довкілля України № 167 від 15.04.2020 р. «Про затвердження Вимог щодо контролю та дозвільних норм для промислових викидів».
- 26 ДСТУ ISO 45001:2019. Система управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 56 с.
- 27 Мельник Я.В. Енергоефективні методи термічної та дифузійної обробки металів: монографія. – Вінниця: Універсум, 2022. – 184 с.

ДОДАТОК А
ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

Міністерство освіти та науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Механічний факультет

Кафедра технології металів і матеріалознавства імені О.М. Петриченка

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ
магістра

**«ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ
СПЛАВУ ВТ22»**

Завідувач кафедри д-р техн. наук, проф.

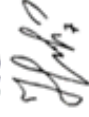
Діана ГЛУШКОВА



ПІДПИС

Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент

Юрій ДУДУКАЛОВ



Керівник, доцент

Тетяна ПРОТАСЕНКО



Студент гр. МС-61-24

Владислав ЄЛФІМОВ



Харків – 2025

Міністерство освіти та науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Механічний факультет
Кафедра технології металів і матеріалознавства імені О.М. Петриченка



ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ
магістра

**«ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА
СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ ВТ22»**

Виконав студент гр. МС-61-24
Керівник роботи, доц.

Харків - 2025

Владислав ЄЛФІМОВ
Тетяна ПРОТАСЕНКО

АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Володіючи унікальним набором фізико-механічних характеристик, титанові сплави зарекомендували себе як універсальні конструкційні рішення. Вони поєднують у собі морозостійкість, притаманну алюмінію та аустенітним сталям, відмінну стійкість до корозії, як у найкращих мідно-нікелевих та нержавіючих сталях, а також питому міцність, що перевершує більшість інших конструкційних матеріалів. Через це титанові сплави мають значний потенціал у аерокосмічній галузі, хімічній промисловості, суднобудуванні, аж до застосування як тари для зберігання агрохімікатів і добрив у сільському господарстві.

Оброблюваність титанових сплавів на етапах металургійного та машинобудівного виробництва цілком достатня для створення майже будь-яких компонентів чи вузлів. Отже, донедавна ключовими факторами, що обмежували масштаби та галузі застосування титанових сплавів, виступали їхня висока ціна та обмежена доступність. Отже, поточний рівень наукових знань про титанові сплави, надвичайно вигідна сукупність їх властивостей для машинобудівної продукції, а також економічна вигода від їхнього впровадження дають підстави прогнозувати, що в найближчі роки сфера застосування титану та його сплавів суттєво розшириться.

ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження - визначення впливу часово-температурних технологічних параметрів ХТО на структуру та властивості титанового сплаву після проведення цементації.

Метод дослідження - визначення характеристик утворення дифузійного шару у сплаві VT22 після проведення цементації у твердому карбюризаторі за різними режимами.

Варіюючи температуру та час хіміко-термічної обробки в роботі намагались отримати високий комплекс механічних властивостей, оцінити глибину дифузійного шару і можливості підвищення зносостійких властивостей сплаву за рахунок зміцнення поверхні виробу.

МАТЕРІАЛ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідженню піддавалися зразки сплаву ВТ22, хімічний склад якого наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад сплаву ВТ22, %

Спла	Fe	C	Si	Cr	Mo	V	N	Ti	Al	Zr	O	H
В	0.5-	≤	≤	0.5-2	4-5.5	4-5.5	≤0.05	78.5-	4.4-	≤0.3	≤0.2	≤
ВТ22	1.5	0.1	0,15					86.6	5.9			0.015

Сплав ВТ22 відноситься до двофазних $\alpha + \beta$ - сплавів мартенситного типу.

РЕЖИМИ ТЕРМООБРОБКИ ЗРАЗКІВ

Зразки піддавалися цементації при температурах 850° С, 900° С, 950° С з витримкою 12, 24, 36 і 48 годин при кожній температурі

Таблиця 2 - Режими термообробки зразків

№ зр.	Температура нагріву, °С	Час витримки, год	№ зр.	Температура нагріву, °С	Час витримки, год.
1	850	12	7	900	36
2	850	24	8	900	48
3	850	36	9	950	12
4	850	48	10	950	24
5	900	12	11	950	36
6	900	24	12	950	48

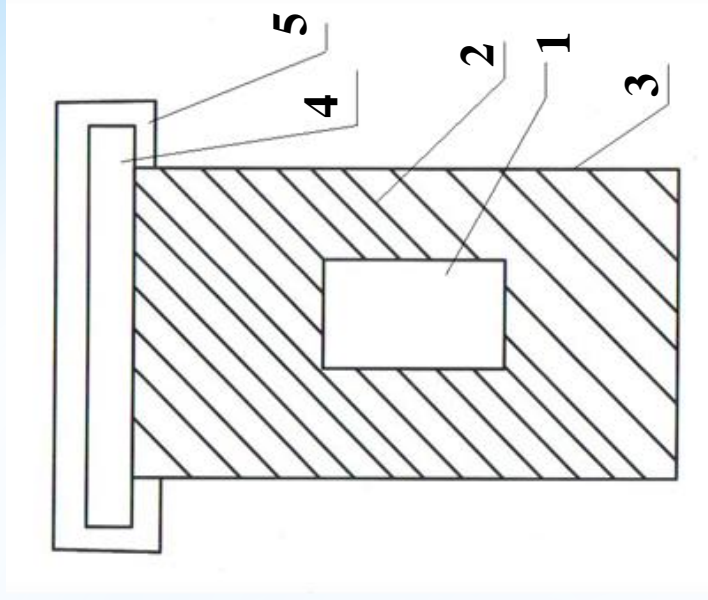
ПРОЦЕС ЦЕМЕНТАЦІЇ У ТВЕРДОМУ КАРБЮРИЗАТОРІ



Лабораторна муфельна піч СНОЛ - 2.4.2/11

У якості карбюризатора застосовувалося деревне вугілля з додаванням CaCO_3 в кількості, що не перевищує 5%. Вуглекислий кальцій додається з метою уникнення спікання карбюризатора. Тигель закривається кришкою і обмазується вогнетривкою глиною для забезпечення герметичності.

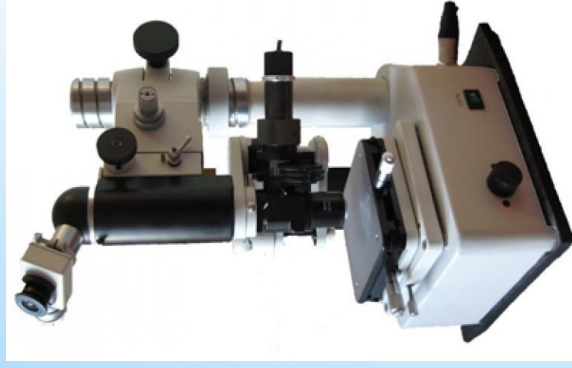
Після витримування при заданій температурі охолодження зразків проводилося з піччю.



Розміщення зразка в тиглі.

1. Зразок;
2. Карбюризатор;
3. Корпус тигля;
4. Кришка тигля;
5. Вогнетривка глина

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ



Прилад ПМТ-3

Для аналізу впливу хіміко-термічної обробки на властивості титанового сплаву було проведено вимірювання мікротвердості.

Мікротвердість вимірювалася за допомогою приладу ПМТ-3 при навантаженні 200 г починаючи від краю зразка до серцевини с метою отримання повної картини зміни твердості й вивчення глибини цементованого шару. Вимірювання мікротвердості проводиться до виходу на постійне значення твердості титанового сплаву, яке спостерігається в серцевині зразка.

Дослідження товщини цементованого слою проводилось за допомогою окуляра з вимірювальною лінійкою.

Визначення розміру зерна проводилося методом підрахунку перетину зерен (метод січних). Визначення величини зерна проводять при такому збільшенні, щоб в полі зору знаходилось цілих від 80 до 200 зерен.

За результат вимірювання приймають середній розмір зерна, d (мм).



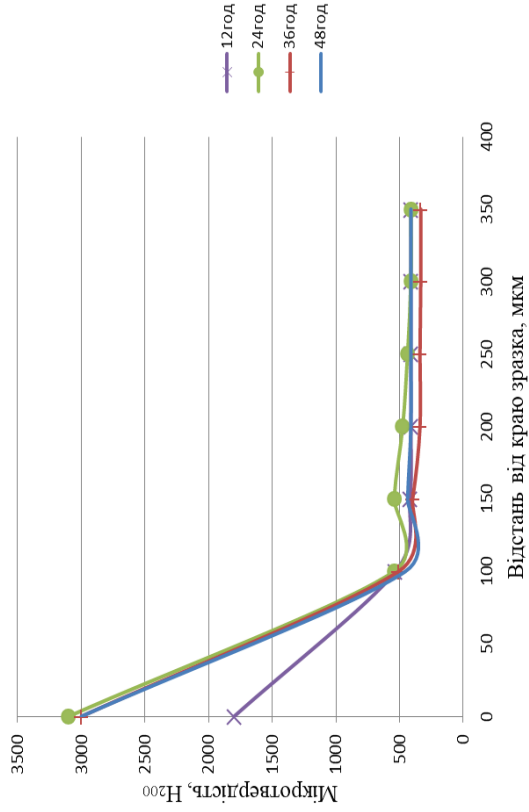
Мікроскоп металографічний

OLYMPUS BX53M

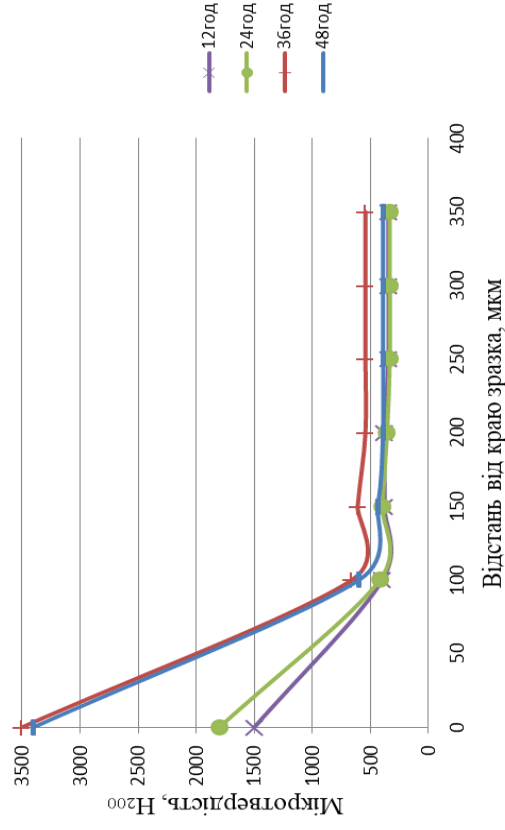
Результати вимірювання мікротвердості

Температура, ° C	Час, год	Відстань від краю зразка, мкм									
		Поверхня	100	150	200	250	300	350	400	450	500
850	12	1800	532	420	412	200	250	300	350	400	412
	24	3100	544	544	476	438	412	412	412	412	412
	36	3000	509	398	398	340	340	340	340	340	340
	48	3000	456	438	412	412	412	412	412	412	412
900	12	1500	398	380	380	346	346	346	340	340	340
	24	1800	420	398	358	334	334	334	334	316	316
	36	3500	660	611	544	544	544	544	544	544	544
	48	3400	598	438	392	392	392	392	392	392	392
950	12	2600	438	420	412	372	372	346	346	346	346
	24	2800	570	544	544	544	544	509	509	456	456
	36	2200	557	487	487	487	487	487	487	392	392
	48	1900	544	429	380	380	380	372	372	366	366

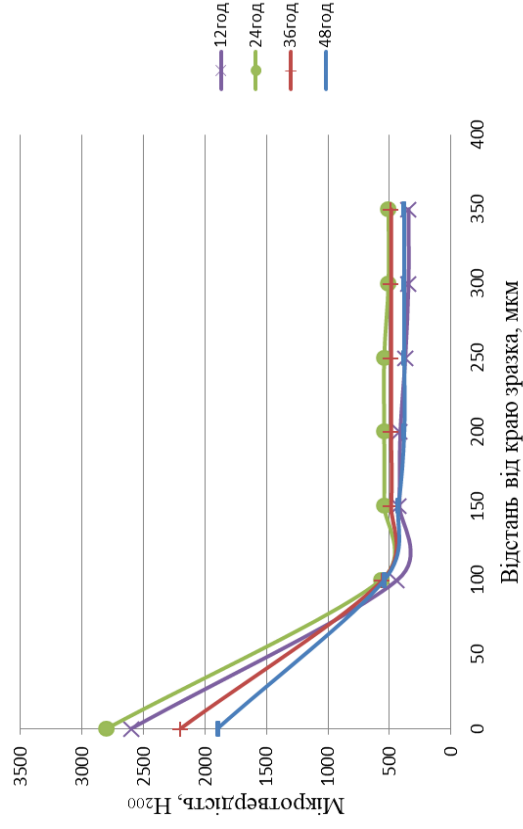
Вплив тривалості цементації на мікротвердість сплаву
ВТ 22, температура 850°C



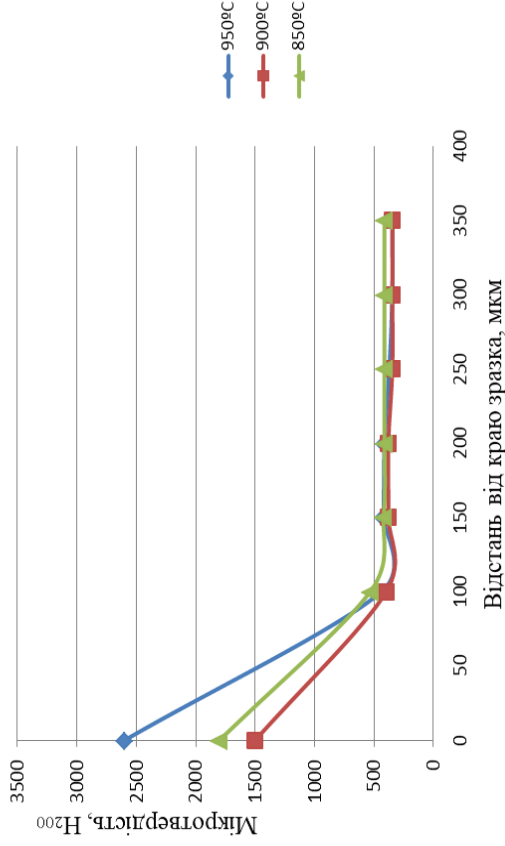
Вплив тривалості цементації на мікротвердість сплаву
ВТ 22, температура 900°C



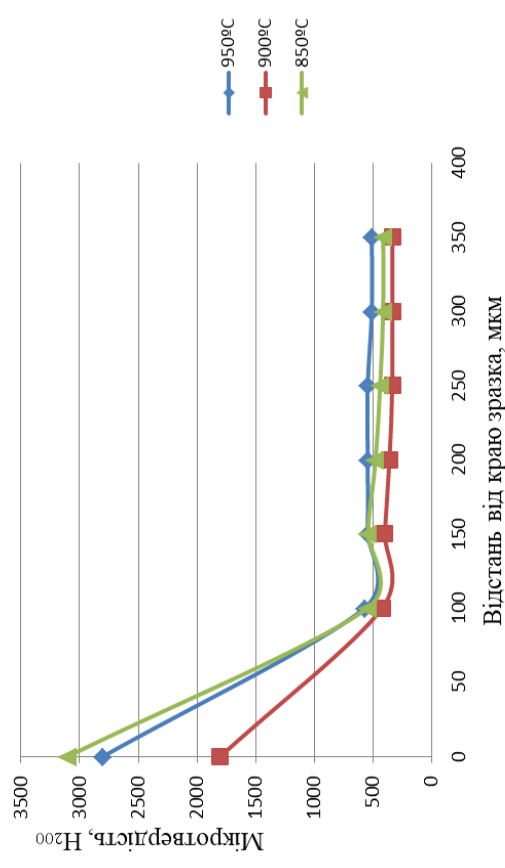
Вплив тривалості цементації на мікротвердість сплаву
ВТ 22, температура 950°C



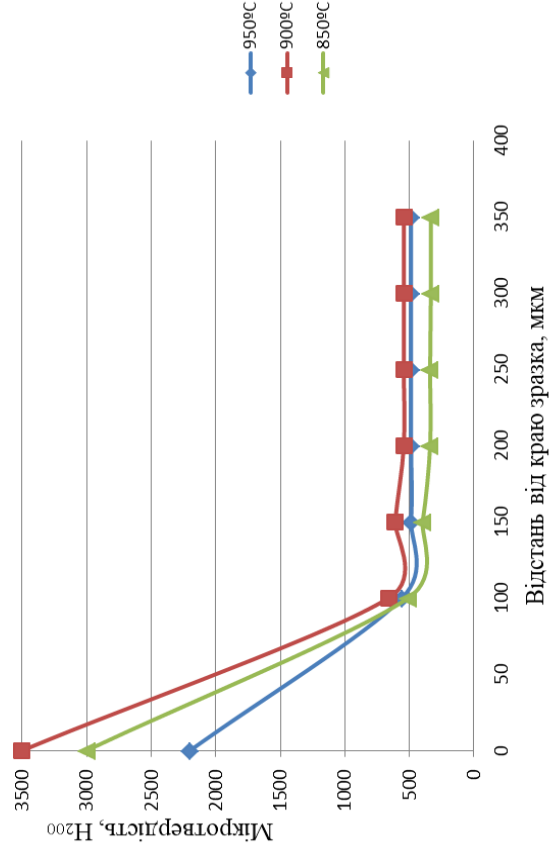
Вплив температури на мікротвердість сплаву ВТ 22,
 $\tau = 12$ год



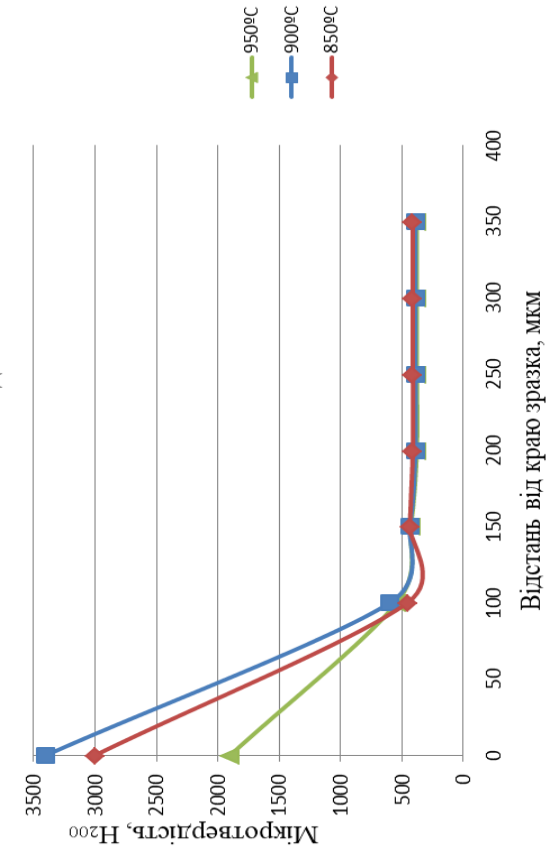
Вплив температури на мікротвердість сплаву ВТ 22,
 $\tau = 24$ год



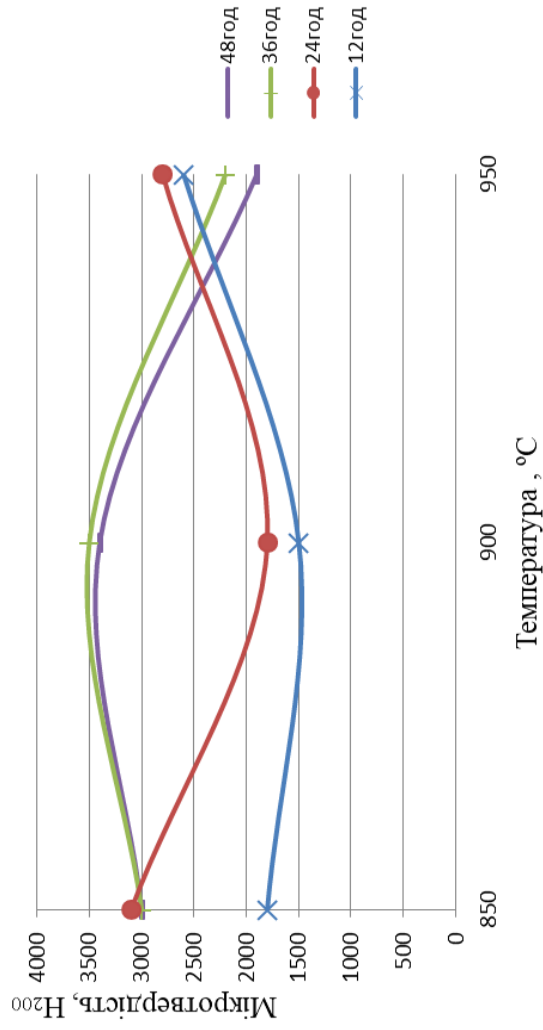
Вплив температури на мікротвердість сплаву ВТ 22,
 $\tau = 36$ год



Вплив температури на мікротвердість сплаву ВТ 22,
 $\tau = 48$ год



Вплив тривалості цементації на мікротвердість сплаву ВГ 22, при різних температурах



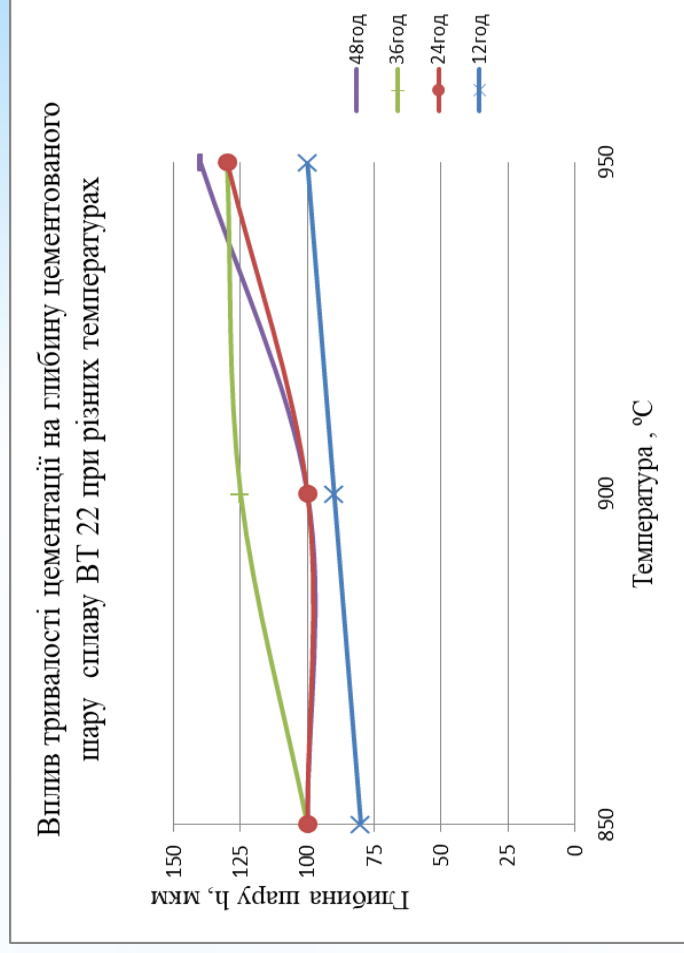
Проаналізувати вплив тривалості цементації на ефективність режиму хіміко - термічної обробки, можна відзначити, що при всіх досліджених температурах ХТО найменший та найбільший час витримки (12 год та 48 год) дали незадовільні результати.

Розглянувши приведену залежність можна зробити висновок, що при проведенні ХТО при температурі 900 °C найбільш ефективним буде витримка у 36 год; при температурі 950 °C доцільніше використовувати витримку при 24 год. З усіх розглянутих варіантів витримки при температурі 850 °C можна використати будь-який час, окрім витримки у 12 год, бо вона не є ефективною для даної температури.

Результати вимірювання товщини зміцненого шару

Глибина шару зміцнених зразків зі сплаву ВТ22 після цементації

Температура, °С	Час, год	Глибина шару, мкм
850	12	80
	24	100
	36	100
	48	100
900	12	90
	24	100
	36	125
	48	100
950	12	100
	24	130
	36	130
	48	140



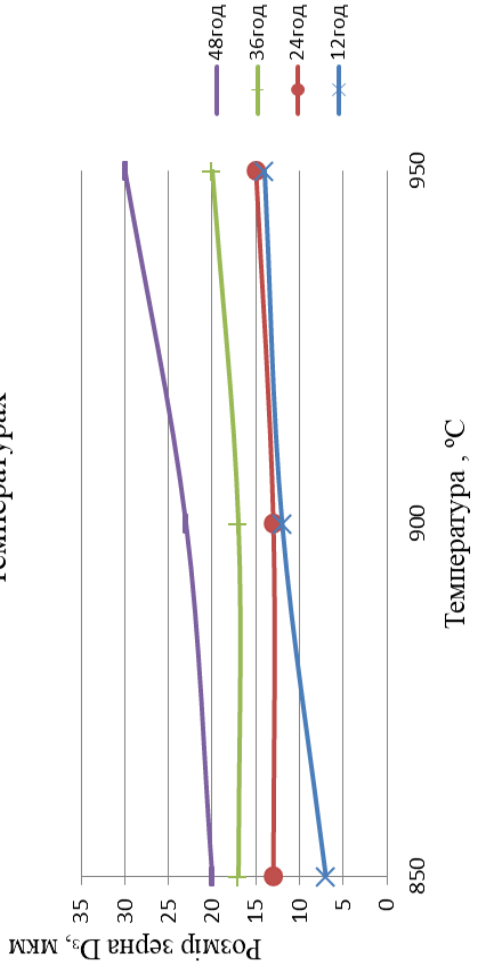
Спостерігається загальна тенденція зростання глибини зміцненого шару зі збільшенням часу витримки та температури хіміко-термічної обробки сплаву. Ефективною є цементація при температурі 900 °С, бо зміцнені шари, отримані при різних витримках при вказаній температурі мають оптимальну глибину та твердість.

Розмір зерна у сплаві ВТ22 залежно від параметрів ХТО

Розмір зерна цементованих зразків сплаву ВТ22

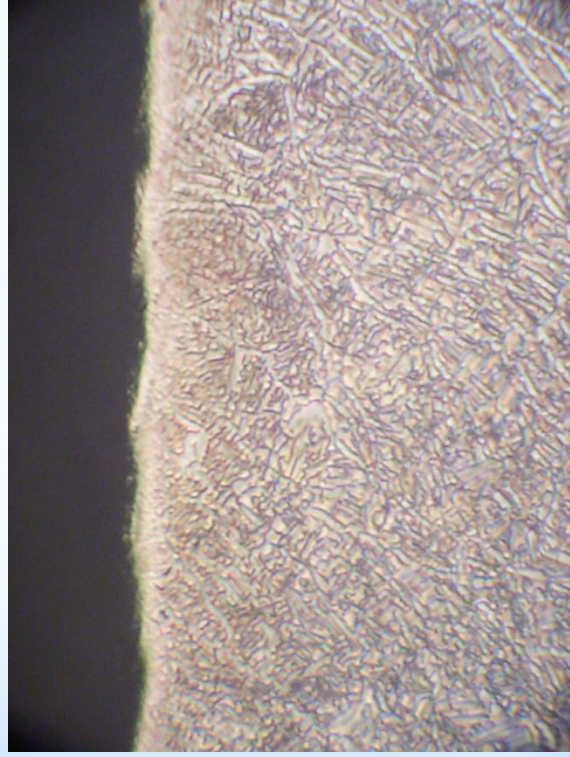
Температура, °С	Час, год	Розмір зерна, мкм
850	12	7
	24	13
	36	17
	48	20
900	12	12
	24	13
	36	17
	48	23
950	12	14
	24	15
	36	20
	48	30

Вплив тривалості цементації на розмір зерна металевої основи сплаву ВТ 22, при різних температурах

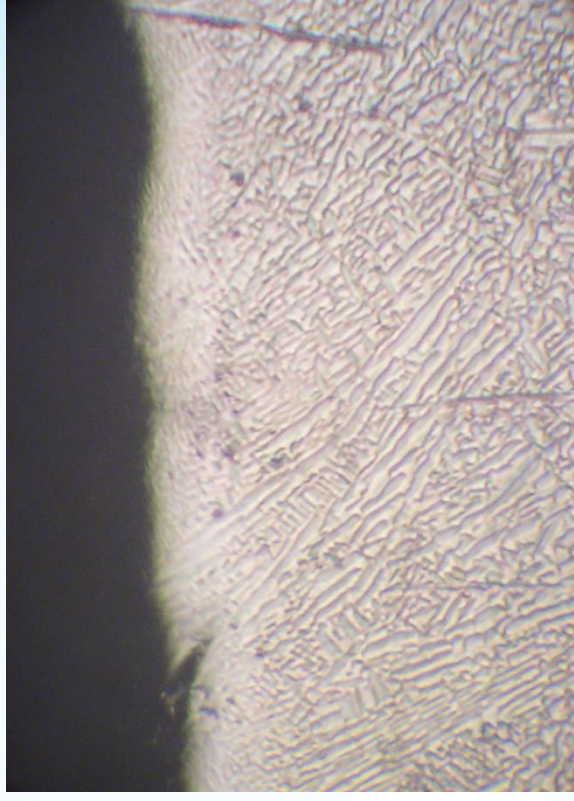


Вплив температури на часу витримки аналогічні: чим вища температура хіміко-термічної обробки, і триваліша витримка, тим більший розмір зерна в термообробленій основі титанового сплаву ВТ22. Однак, досить високі температури нагріву та значні витримки не призвели до значного росту зерна. Це може бути зумовлено впливом легуючих елементів, які сповільнюють дифузю, а також затримують ріст зерен при утворенні важкорозчинних карбідів.

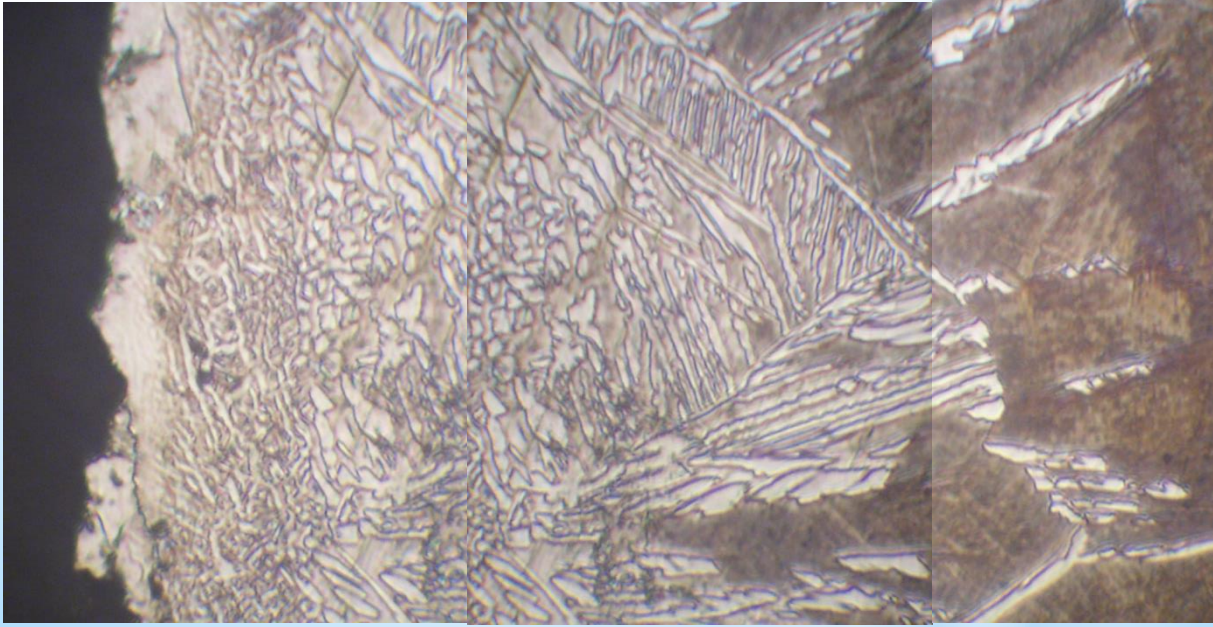
**Результати дослідження структури
цементованих зразків сплаву ВТ22,
 $\tau = 12$ год, $\times 500$**



$t_{\text{цем}} = 850 \text{ } ^\circ\text{C}$



$t_{\text{цем}} = 900 \text{ } ^\circ\text{C}$



Металева основа сплава - рівноважна $\alpha + \beta$ структура.

Фаза	Твердість, МПа
TiC	30000
VC	20940
V_2C_3	9000
VC_2	7000
Mo_2C	15000
Mo_3C	15000
SiC	30000
Cr_3C_2	13500
Cr_7C_3	18000
$Cr_{23}C_6$	16500

В даному сплаві можливе утворення інтерметалідів титану з такими елементами, як хром, залізо та алюміній, а також інших сполук.

$t_{цем} = 950\text{ }^\circ\text{C}, \tau = 48\text{ год}$

ВИСНОВКИ

Проаналізувавши експериментальні дослідження впливу параметрів хіміко - термічної обробки на структуру та властивості титанового сплаву ВТ 22 можна зробити наступні висновки:

- 1 Використання хіміко-термічної обробки з метою отримання зміцненого поверхневого шару призводить до підвищення твердості, а значить і зносостійкості, що в свою чергу, розширює сферу промислового використання даного сплаву.
- 2 Найвищі результати твердості зміцненого шару отримано в результаті проведення хіміко-термічної обробки за наступним режимом: температура 900 °С, тривалість 36 годин.
- 3 Даний режим ХТО дозволяє отримати оптимальну глибину зміцненого шару ~120 мкм, при цьому розмір зерна металевої основи залишається достатньо невеликим.

Дякую за увагу

Вітаємо АНДРІЙ СУМІНОВ,

Ми завершили аналіз документа на плагіат.

**ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ
ТА ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ ВТ22**

Автор: Єлфімов В.

Отримані коефіцієнти подібності:

Коефіцієнт подібності 1: **1.86%**

Коефіцієнт цитування: **0.54%**

Заміна букв: **93**

прогалини: **0**

Мікропробіли: **0**

Інтервали: **7**

Пошук контенту ШІ

Індикатор Контенту ШІ: ---

Щоб відкрити інтерактивний звіт, натисніть [сюди](#)

Якщо у Вас виникли запитання, зв'яжіться з нами за адресою:

ukraine@strikeplagiarism.com

Strikeplagiarism.com

Будь ласка, не відповідайте на це повідомлення. Додаткова інформація доступна на веб-сайті

<https://panel.strikeplagiarism.com>

Ofic Plagiat.pl Sp. z o.o., власник системи StrikePlagiarism.com, зареєстрований за адресою: м. Варшава, вул. Гданська 2/67, 01-633, ІПН: 5262874777, Регон: 140124469, внесений до Національного судового реєстру Районного суду міста Варшави під номером KRS 0000236

Ви отримали цей електронний лист, оскільки створили обліковий запис на сайті <https://panel.strikeplagiarism.com>. Якщо це не ви пройшли реєстрацію, будь ласка, зв'яжіться з нами.

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу магістра
«Вплив параметрів хіміко-термічної обробки на структуру
та властивості сплаву VT22», що виконана студентом групи МС-61-24
механічного факультету ХНАДУ
Єлфімовим Владиславом Вадимовичем

Тема магістерської роботи є актуальною та сучасною, присвячена отриманню даних про вплив температури нагрівання та часу витримання на процеси дифузійного насичення поверхні вуглецем в двофазному титановому сплаві VT22.

Студентом Єлфімовим В.В. було проаналізовано значну кількість літературних джерел інформації по даній тематиці, проведено вимірювання твердості з метою оцінки глибини та твердості поверхневого зміцненого шару після різних режимів цементації, а також металографічні дослідження зразків з метою визначення впливу параметрів ХТО на природу і морфологію дифузійного шару. Були запропоновані рекомендації по вибору оптимального режиму цементації.

В якості недоліків слід відзначити відсутність проведення фазового аналізу дифузійного шару.

При виконанні дипломної роботи було використано сучасний пакет прикладних програм, зокрема системи Excel, за допомогою якого побудовані графіки.

Дана науково-дослідна робота є цілком завершеним дослідженням та відповідає усім вимогам щодо дипломних робіт рівня магістра. Вона виконана на досить високому науково-експериментальному рівні та заслуговує відмінної оцінки.

Рецензент кваліфікаційної роботи,
доцент кафедри Матеріалознавства,
НТУ «ХП», канд. техн. наук

Олена РЕБРОВА

“ 7 ” 12 2025 р.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ВІДГУК

керівника кваліфікаційної роботи магістра
виконаної здобувачем денної форми навчання
механічного факультету групи МС-61-24
Єлфімовим Владиславом Вадимовичем

на тему: «ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА
СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ VT22»

Дипломна робота студента Єлфімова Владислава Вадимовича присвячена актуальній темі – дослідженню можливості отримання зміцненого поверхневого шару титанового сплаву VT22 після проведення цементації за різними режимами.

Науковий інтерес робіт пов'язаний з можливістю отримати підвищені механічні та експлуатаційні характеристики деталей та елементів устаткування, виготовлених з деформуємого титанового сплаву VT22 шляхом ХТО.

Для виконання поставленої мети були проведені аналіз розподілу твердості у дифузійному шарі титанового сплаву після різних режимів цементації у твердому карбюризаторі, а також металографічні дослідження сплаву VT22. Встановлений вплив температури та часу витримання на кінетику протікання процесів насичення вуглецем.

Структура роботи відповідає вимогам, які до неї пред'являються, а змістовна частина розглядає представлену тему докладно і всебічно.

При виконанні дипломної роботи студент Єлфімов В.В. продемонстрував відповідальне відношення до всіх етапів як теоретичної так і практичної спрямованості, хороший рівень теоретичної підготовки, вміння самостійно вирішувати поставлені завдання.

У цілому робота студента Єлфімова В. В. виконана на необхідному теоретичному та методичному рівнях, повністю відповідає вимогам, які до неї пред'являються, заслуговує відмінну оцінку.

Керівник дипломної роботи, доц.



Тетяна ПРОТАСЕНКО

«_____» _____ 2025 р.