

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНО ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-фізичний інститут
Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра фізичного матеріалознавства
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему «Дослідження недоліків термічного оброблення
титанових сплавів»

Виконав: студент 6 курсу, групи ІФ-213М
напряму підготовки (спеціальності)

132 Інженерне матеріалознавство

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Архіпова Олена Олександрівна

(прізвище та ініціали)

Керівник Глотка О.А., к.т.н., доцент

(прізвище та ініціали)

Рецензент Балик Г.А. к.т.н. проф.

(прізвище та ініціали)


м. Запоріжжя
2018 рік

Запорізький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет ІФТ, ІФФ
Кафедра фізичного матеріалознавства
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
Напрямок підготовки 132 Інженерне матеріалознавство
(код і назва)
Спеціальність Прикладне матеріалознавство
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

 Завідувач кафедри проф., д.т.н.,
Ольшанецький В.Ю.
" 11 " 12 20 18 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Архіпова Олена Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження недоліків термічного оброблення титанових сплавів»

керівник проекту (роботи) Глотка О.А., к.т.н., доцент кафедри фізичного матеріалознавства

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "18" жовтня 2018 року № _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____


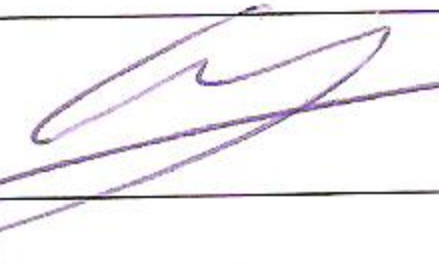


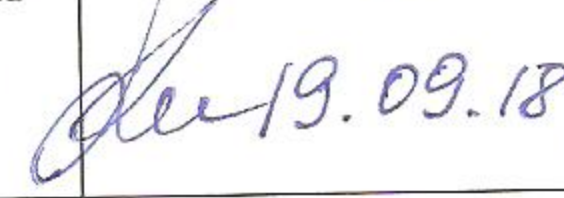
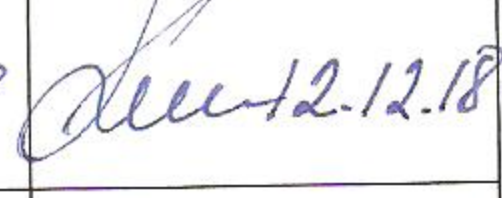
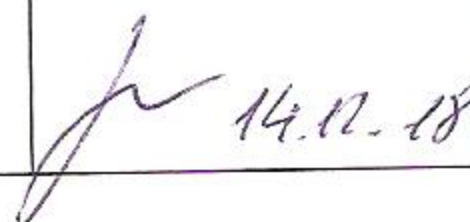
3. Вихідні дані до проекту (роботи) титановий сплав ВТ6, ендопротез тазостегнового суглоба

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Титан і титанові сплави в медицині, матеріали та методика досліджень, воднева крихкість титанових сплавів, характерні ознаки водневої крихкості α - β -титанових сплавів, механізм водневого окрихчення α - β -титанових сплавів, термічна обробка сплаву титану ВТ6, аналіз потенційних небезпек, заходи по забезпеченню загальної безпеки, виробничої санітарії і гігієни праці, з пожежної безпеки, з цивільної охорони, характеристика ринку титанових ендопротезів, економічне обґрунтування наукового дослідження.

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

Особливості титанового сплаву ВТ6, хімічний склад та механічні властивості сплаву ВТ6, порівняно з іншими титановими сплавами, типовий вид флокенів на поверхні крихкого руйнування, графік класичної ТО і модернізованої, механічні властивості сплаву ВТ6 після класичної ТО та після ТВО, зміна мікроструктури сплаву ВТ6 після ТВО, вплив водню на ударну в'язкість титану та його сплавів, зміна механічних властивостей технічно чистого сплаву Ті-Мп, в залежності від вмісту водню, охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях, економічна частина.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Основний	Глотка О.А., к.т.н., доцент кафедри фізичного матеріалознавства		
Охорона праці	Нестеров О.В., к.т.н., доцент кафедри охорони праці і навколишнього середовища		
Економічна частина	Круглікова В.В., к.е.н., доцент кафедри підприємництва, торгівлі та біржової діяльності	 19.09.18	 12.12.18
Нормо-контроль	Ткач Д.В. к.т.н. кафедри фізичного матеріалознавства		 14.12.18

7. Дата видачі завдання 3 вересня 2018р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Титан і титанові сплави	01.10-5.10	
2	Титанові сплави в медицині	5.10-10.10	
3	Матеріали та методика досліджень	10.10-14.10	
4	Воднева крихкість титанових сплавів	14.10-19.10	
5	Характерні ознаки водневої крихкості α - β -титанових сплавів	19.10-24.10	
6	Механізм водневого окрихчення α - β -титанових сплавів	24.10-29.10	
7	Термічна обробка сплаву титану ВТ6	29.10-01.11	
8	Аналіз потенційних небезпек	1.11-06.11	
9	Заходи по забезпеченню загальної безпеки	06.11-12.11	
10	Заходи по забезпеченню виробничої санітарії і гігієни праці	12.11-17.11	
11	Заходи з пожежної безпеки	17.11-21.11	
12	Заходи з цивільної охорони	21.11-26.11	
13	Характеристика ринку титанових ендопротезів	26.11-30.11	
14	Економічне обґрунтування наукового дослідження	30.11-07.12	

Студент


(підпис)

Архіпова О.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Глотка О.А.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 68стор.; 7 таблиць;15 рис.; 34 джерел.

Об'єкт дослідження – термічна обробка титанового сплаву ВТ6.

Мета дипломної роботи – дослідити актуальність і доцільність використання титанових сплавів для виготовлення ендопротезу тазостегнового суглоба.

Титанові сплави в медицині.

Дослідили явище водневої крихкості в титанових сплавах, причини і наслідки цього явища. Дослідили переваги термоводневої обробки титанового сплаву ВТ6 і зміни в мікроструктурі сплаву після неї.

МЕДИЦИНА, СПЛАВИ ТИТАНУ, ВТ6, КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ,
КОМПОНЕНТ СТЕГНОВИЙ, ЕНДОПРОТЕЗ, ВОДНЕВА КРИХКІСТЬ,
ТЕРМОВОДНЕВА ОБРОБКА, МІКРОСТРУКТУРА

ЗМІСТ

Завдання на дипломний проект.....	2
Реферат.....	4
Вступ.....	6
1 Літературний огляд.....	7
1.1 Титан і титанові сплави.....	8
1.2 Титанові сплави в медицині.....	12
2 Матеріали та методики досліджень.....	19
3 Експериментальний розділ.....	24
3.1 Воднева крихкість титанових сплавів.....	24
3.2 Характерні ознаки водневої крихкості α - β -титанових сплавів.....	30
3.3 Механізм водневого окрихчення α - β -титанових сплавів.....	34
3.4 Термічна обробка сплаву титану VT6.....	36
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	41
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	41
4.2 Заходи по забезпеченню загальної безпеки.....	42
4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії і гігієни праці.....	49
4.4 Заходи з пожежної безпеки.....	52
4.5 Заходи з цивільної охорони.....	54
5 Економічна частина.....	57
5.1 Характеристика ринку титанових ендопротезів.....	57
5.2 Економічне обґрунтування наукового дослідження.....	59
Висновки.....	64
Перелік посилань.....	65

ВСТУП

Медична сталь - таку сталь використовують для виготовлення медичних інструментів. Це пов'язано саме з властивостями матеріалу. На такій сталі повинно менше утворюватися подряпин, де може накопичуватися бруд, надаючи сприятливе середовище для розмноження мікробів. Ця сталь повинна бути стійка до впливу кислот і лугів, в тому числі при високих температурах. Саме тому в медицині використовують титанові сплави.

Титан і його сплави володіють високою втомною міцністю при знакозмінних навантаженнях, що дуже важливо при виготовленні внутрішньокісткових фіксаторів, зовнішніх і внутрішніх протезів, які постійно піддаються змінним навантаженням.

Титан є інертним металом по відношенню до біологічного середовища. Конструкції з титанових сплавів добре переносяться людським організмом, обростає кістковою і м'язовою тканиною. Метал практично не піддається корозії в агресивних середовищах людського тіла, а структура тканин, що оточують титанові конструкції, не змінюється протягом тривалого часу.

Хірургічні імплантати піддаються значним вигинаючим, розтягуючим навантаженням, а отже повинні володіти достатніми механічними характеристиками для того, щоб функціонувати в організмі людини.

Медицина відноситься до тих галузей, в яких все повинно бути якісно і стерильно. Якщо на медичних інструментах будуть помітні сліди іржі, то використання таких інструментів при лікуванні пацієнта недопустиме.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Медицина - це сфера, в якій стерильність і якість важливі, як ніде, тому до всіх матеріалів, що застосовуються в лікувальних і наукових установах, розроблені підвищені вимоги. Для виробництва інструментів використовується медична нержавіюча сталь або сплави титану.



Рисунок 1.1 – Медичні інструменти

Застосування обумовлене властивостями матеріалу, його щільністю і твердістю. Вироби з медичного металу не схильні до появи таких дефектів:

- менше утворюються подряпини, які є місцями скупчення бруду;
- матеріал не роз'їдається лугами і кислотами;
- це надійні і довговічні вироби;
- матеріал максимально стійкий до корозії.

Так формується ще одна назва - хірургічна сталь. Матеріал повинен використовуватися не тільки для виготовлення ріжучого інструменту, але і іншого медичного приладдя, таких як кювети і посуд. Документ формує уявлення про марки медичного металу.

1.1 Титан і титанові сплави

Титан - хімічний елемент з порядковим номером 22, атомна вага 47,88, сріблясто-білого кольору[1]. Щільність 4,51 г / см³, $T_{пл} = 1668 + (-) 5 \text{ } ^\circ \text{C}$, $t_{кип} = 3260 \text{ } ^\circ \text{C}$. Він поєднує легкість, міцність, високу корозійну стійкість, низький коефіцієнт теплового розширення, можливість роботи в широкому діапазоні температур.

Оксид титану TiO_2 вперше був досліджений в 1789 році англійським вченим, фахівцем в області мінералогії У. Грегором, який при виявленні магнітного залозистого піску виділив окис невідомого металу, назвавши її менакеновою. Перший зразок металевого титану отримав в 1825 році шведський хімік і мінераловед Й. Я. Берцеліус.

У періодичній системі елементів Д. І. Менделєєва Ті розташований в IV групі 4-го періоду під номером 22. У найважливіших і найбільш стійких з'єднаннях метал чотиривалентний. За зовнішнім виглядом схожий на сталь. Титан відноситься до перехідних елементів. Цей метал плавиться при достатньо високій температурі ($1668 \pm 4 \text{ } ^\circ \text{C}$) і кипить при $3300 \text{ } ^\circ \text{C}$, прихована теплота плавлення і випаровування майже в два рази більше, ніж у заліза.

Відомі дві алотропічні модифікації титану (два різновиди даного металу, що мають однаковий хімічний склад, але різну будову і властивості). Низькотемпературна альфа-модифікація, яка існує до $882,5^\circ \text{C}$ і високотемпературна бета-модифікація, стійка від $882,5^\circ \text{C}$ і до температури плавлення.

За щільністю і питомою теплоємністю титан займає проміжне місце між двома основними конструкційними металами: алюмінієм і залізом. Варто також відзначити, що його механічна міцність приблизно вдвічі більше, ніж чистого заліза, і майже в шість разів вище, ніж алюмінію. Але вказаний матеріал може активно поглинати кисень, азот і водень, які різко знижують

пластичні властивості металу. З вуглецем титан утворює тугоплавкі карбіди, що володіють високою твердістю.

Титан має низьку теплопровідність, яка в 13 разів менше теплопровідності алюмінію і в 4 рази - заліза. При кімнатній температурі коефіцієнт термічного розширення порівняно малий, але з підвищенням температури він зростає.

Модулі пружності титану невеликі і виявляють значну анізотропію. Модулі пружності характеризують здатність матеріалу пружно деформуватися при додаванні до нього сили. Анізотропія полягає у відмінності властивостей пружності в залежності від напрямку дії сили. З підвищенням температури до 350°C модулі пружності зменшуються майже за лінійним законом. Невелике значення модулів пружності титану - істотний його недолік, тому що в деяких випадках для отримання досить жорстких конструкцій доводиться застосовувати великі перетини виробів в порівнянні з тими, які впливають з умов міцності.

Титан має досить високий питомий електроопір, який в залежності від вмісту домішок коливається в межах від $42 \cdot 10^{-8}$ до $80 \cdot 10^{-6}$ Ом \cdot см. При температурах нижче 0,45 К він стає надпровідником.

Титан - парамагнітний метал. Зазвичай у парамагнітних речовин при нагріванні магнітна сприйнятливість зменшується. Магнітна сприйнятливість характеризує зв'язок між намагніченістю речовини і магнітним полем в цій речовині. Даний матеріал є винятком з цього правила - його сприйнятливість істотно збільшується з температурою.

Найважливішими перевагами титанових сплавів перед іншими конструкційними матеріалами є їх високі питома міцність і жароміцність в поєднанні з високою корозійною стійкістю. Крім того, титан і його сплави добре зварюються, парамагнітні і володіють деякими іншими властивостями, що мають важливе значення в ряді галузей техніки. Вище названі якості титанових сплавів відкривають значні перспективи їх використання в тих областях машинобудування, де потрібні висока питома міцність і

жароміцність в поєднанні з високою корозійною стійкістю. Це стосується, в першу чергу, до таких галузей техніки як авіабудування, ракетобудування, суднобудування, хімічне, харчове та транспортне машинобудування.

Торкаючись деяких специфічних властивостей титану, можна відзначити, що він представляє великий інтерес як конструкційний матеріал для космічних кораблів.

Титанові сплави розділяють на три великі групи:

1. Конструкційні та високоміцні титанові сплави являють собою тверді розчини, що дозволяє їм забезпечувати оптимальне співвідношення характеристик міцності і пластичності.
2. Жароміцні титанові сплави являють собою тверді розчини з більшою або меншою кількістю хімічної сполуки (або початковій стадії його утворення), що забезпечує їм підвищену жароміцність при мінімальному зниженні пластичності.
3. Титанові сплави на основі хімічної сполуки - представляють інтерес як жароміцний матеріал з низькою щільністю, здатний конкурувати з жароміцними нікелевими сплавами в певному температурному інтервалі.

В даний час титан - один з найважливіших конструкційних металевих матеріалів. Для цього титану протягом 200 років довелося пройти шлях від визнання його непридатним в конструкційних цілях до загального поклоніння як перед одним з найперспективніших і вічних металів.

Сплав типу ВТ6 (Ti-6Al-4V) ($\alpha + \delta$) -класу відносяться до числа титанових сплавівнайбільш поширених за кордоном [2]. Сплав Ti-6Al-4V використовується для виготовлення великогабаритних зварних і збірних конструкцій літальних апаратів, для виготовлення балонів, що працюють під внутрішнім тиском в широкому інтервалі температур від 196 до 450 ° C, і цілого ряду інших конструктивних елементів. За даними зарубіжної преси,

близько 50% титану, який використовується в авіакосмічній промисловості припадає на сплав Ti-6Al-4V, аналогом якого є вітчизняні сплави типу ВТ6.

Таке широке поширення цього сплаву пояснюється вдалим його легуванням [3]. Алюміній в сплавах системи Ti-Al-V підвищує міцність і жароміцні властивості, а ванадій відноситься до числа тих небагатьох легуючих елементів в титані, які підвищують не тільки властивості міцності, але і пластичність.

Поряд з високою питомою міцністю сплави цього типу мають меншу чутливість до водню в порівнянні зі сплавами ОТ4 і ОТ4-1, низькою схильністю до сольовий корозії і гарною технологічністю.

Сплави добре деформуються в гарячому стані. Зі сплавів типу ВТ6 отримують прутки, труби, профілі, поковки, штамповки, плити, листи. Вони зварюються всіма традиційними видами зварювання, в тому числі і дифузійним зварюванням. При зварюванні ЕПЗ (електронно-променеве зварювання) міцність зварного шва практично дорівнює міцності основного матеріалу, що в кращий бік відрізняє цей сплав від ВТ22. Сплави типу ВТ6 застосовують у відпаленому і термічно зміцненому станах. Відпал листів, тонкостінних труб, профілів і деталей з них зазвичай проводять при 750-800°C з наступним охолодженням на повітрі або разом з піччю. Відпал прутків, поковок, штамповок і інших великогабаритних напівфабрикатів і деталей з них проводять при 750-800°C. Охолодження разом з піччю великих напівфабрикатів запобігає їх викривленню, а для дрібних деталей дозволяє уникнути часткового гарту. Однак останнім часом було доведено, що доцільно підвищити температуру відпалу до 900-950 °C, що призведе до підвищення в'язкості руйнування і ударної в'язкості при збереженні високих пластичних властивостей через формування змішаної структури з великою часткою пластинчастої складової. Подвійний відпал також дозволяє підвищити в'язкість руйнування і опір корозійному розтріскуванню.

1.2 Титанові сплави в медицині

Вироби з титанових сплавів широко застосовуються в медицині. Конструкторів медичної техніки, медичного інструментарію і лікарів різних професій в титанових сплавах привертають перш за все біологічна інертність по відношенню до живого організму в поєднанні зі значними механічними властивостями, антикорозійною стійкістю, а також низькою вартістю титану і доступністю. Ці якості титану і забезпечили дуже великий інтерес до нього і інтенсивне проведення конструкторських робіт і клінічних випробувань різних виробів. Відомо, що по корозійній стійкості в багатьох медичних агресивних середовищах титан не поступається платині; він стійкий в кислотних і лужних розчинах. Швидкість корозії титану в морській воді (за своїм хімічним складом дуже схожою на лімфу в організмі людини) - 0,00002 мм / рік або 0,02 мм в 1000 років [4]. Титан і його сплави стійкі до перекису водню, бензину, фенолу, формальдегіду. Після багаторазової стерилізації кип'ятінням і обробки в автоклаві, багатомісячної витримки в 3% -ому розчині хлораміну, 96-градусів етиловому спирті, розчині сулеми, трихлоретиленом слідів корозії на титанових сплавах не виявлено. Лише після перебування протягом декількох діб в 10% -ній спиртовій настоянці йоду, у титанових сплавів спостерігається точкова корозія.

Завдяки виключно високому опору корозії титан - прекрасний матеріал для виготовлення хімічної апаратури і медичного інструментарію.

Титанові сплави володіють високою втомної міцністю при знакозмінних навантаженнях, що дуже важливо при виготовленні внутрішньокісткових фіксаторів, зовнішніх і внутрішніх протезів, які постійно піддаються змінним навантаженням.

Титан - немагнітний матеріал з низькою електропровідністю, що особливо цінно, тому що завдяки цьому можна використовувати фізіотерапію для лікування хворих, в організмі яких знаходяться титанові

конструкції. Все це робить титан вельми перспективним для широкого застосування в медицині.

Але найважливішим результатом багаторічних і ретельних досліджень виявилось те, що титан є інертним металом по відношенню до біологічної середовищі. Конструкції з титанових сплавів добре переносяться людським організмом, обростає кістковою і м'язовою тканиною. Метал практично не піддається корозії в агресивних середовищах людського тіла, а структура тканин, що оточують титанові конструкції, не змінюється протягом тривалого часу. Своєю хімічної індиферентністю титан перевершує всі нержавіючі сталі. Цінно, що технічно чистий титан містить набагато менше домішок, ніж інші використовувані в медицині сплави.

Використання титану дає можливість лікувати навколосуглобові переломи, застосовуючи конструкції складної конфігурації, які раніше не могли бути вжиті через труднощі з їх видалення. У техніці скелетного витягування починають застосовувати титанові скоби (клеми).

Титан вигідно відрізняється від інших металів, конкуруючих з ним, не тільки своєю біологічною інертністю, а й цінними механічними властивостями. Щоб мати таку ж міцність на розрив, яку має стержень титану діаметром 10 мм, залізний стержень повинен бути не менше 14 мм в діаметрі. Титан є таким конструкційним матеріалом, який дозволяє підвищити міцність виробу, зберігши його розміри, або без втрати міцності отримати вигреш у вазі до 40% і значно зменшити обсяг конструкції. Це робить титан найкращим металом для внутрішніх протезів. Особливо ефективним є застосування титану в артропластиці стегна.

Організм людини добре переносить конструкції з титанового сплаву. Уже багато років такі сплави застосовуються в медицині. Вони стійкі до корозії в агресивних середовищах людського тіла. На їх поверхні утворюється оксидна плівка, яка перешкоджає виходу іонів імплантату в організм. Тканини навколо таких імплантатів не змінюються. Титанові сплави дуже міцні, здатні витримувати велике навантаження. Вони міцніше,

ніж хром, нікель, нержавіючі сталі. При стерилізації медичних інструментів з таких сплавів спиртом, обпаленням, парами формаліну і т.д. поверхні титанових сплавів не руйнуються. І найважливіше - титанові сплави не викликають алергії.

Часто кажуть, що титан - метал хірургів [5]. Дійсно, в хірургічній практиці титанові сплави застосовуються для виготовлення різних кісткових імплантатів (рисунок 1.2). Протез тазостегнового суглоба з титанового сплаву здатний витримувати зусилля до трьох тисяч кг. В організмі титановий сплав стійкий. Тому тканини, прилеглі до нього, не запалюються. Крім того, виготовляються титанові імплантати швидко. І вартість їх значно нижче вартості імплантатів з інших сплавів.



Рисунок 1.2 – Хірургічні імплантати

Одним з досить поширених способів лікування переломів кісток нині є металевий остеосинтез. Використовувані для остеосинтезу стрижні забезпечують повну нерухомість осколків і тим самим сприяють процесу консолідації перелому. Однак через деякий час, якщо використовувати нержавіючі сталі, у багатьох хворих виникають ускладнення. Структурна і хімічна неоднорідність нержавіючих сталей в деяких випадках є причиною руйнування фіксаторів, що веде до переломів конструкції. Надалі продукти корозії пошкоджують кісткову тканину, іони

заліза активно вступають у взаємодію з солями організму, викликаючи реактивне запалення і біль.

Таким чином, нержавіюча сталь, навіть сама високоякісна, не є бездоганним матеріалом для проведення остеосинтезу.

Виготовлення кісткових фіксаторів з титанового сплаву дозволяє уникнути подібних ускладнень за рахунок біологічної нейтральності металу, що дає можливість використовувати титанові конструкції для тривалого і навіть постійного знаходження в людському організмі. Це надзвичайно важливо, коли остеосинтез робиться особам похилого віку, так як використання нового металу позбавляє пацієнта від операції з видалення фіксатора.

Титан широко використовується в медицині вже протягом багатьох років. Переваги - міцність, опір корозії, і головне те, що у деяких людей виникає алергія на нікель - обов'язковий компонент нержавіючих сталей, в той час як ні в кого не виявлено алергії на титан.

Завдяки хорошому поєднанню фізико-механічних і антикорозійних властивостей, сплав ВТ6 (Т1-6А1-4У) став основним матеріалом, на основі якого в даний час різними закордонними та вітчизняними фірмами виготовляються навантажені компоненти імплантатів, зокрема ніжки ендопротезів тазостегнового суглоба. Конкретні марки сплавів, в вітчизняному виробництві, відрізняються від зарубіжних аналогів. Так сталося і зі сплавом ВТ6 (Т1-6А1-4У), в якому максимальний вміст ванадію сягає 5,3%, в той час як в закордонному аналогу воно становить 4,5%. Проте в нас сплав ВТ6 допущений для виготовлення імплантатів. Однак, останнім часом з'явилися повідомлення про можливість накопичення іонів ванадію в тканинах органів людини, де був імпантований елемент зі сплаву ВТ6, і в деяких країнах почалися дослідження можливості заміни ванадію на менш токсичні легуючі елементи. Так в Німеччині з'явився сплав Т1-5А1-2,5Ре. В даний час цей сплав поряд зі сплавом Т1-6А1-4У внесений в міжнародний

стандарт, який визначає коло сплавів на основі титану, допущених для виготовлення імплантатів.

У той же час власний підхід до створення титанових сплавів привів до того, що вітчизняному протезуванню вже понад 40 років промисловість виробляє широку номенклатуру напівфабрикатів із сплаву ВТ20 (Ti-6Al-1Mo-2Zr).

На відміну від сплаву ВТ6 вміст токсичного ванадію в сплаві ВТ20 знижений до 1-1,8% по масі, а достатній рівень міцності ($\sigma_{\text{в}} = 1100$ МПа в деформованих напівфабрикатах) досягається введенням 1% по масі менш токсичного молібдену і 2% по масі нетоксичного цирконію.

Титанові сплави ВТ6 і ВТ20 мають високу корозійну стійкість в фізіологічному розчині, однак, це необхідна, але недостатня умова біосумісності матеріалу. Важливою характеристикою є також токсичність продуктів корозії. З цієї точки зору сплав ВТ20 має явну перевагу перед сплавом ВТ6.

Використання титану дає можливість лікувати навколосуглобові переломи, застосовуючи конструкції складної конфігурації, які раніше не могли бути вжиті через труднощі з їх видалення. У техніці скелетного витягування починають застосовувати титанові скоби (клеми).

Застосовуються титанові сплави і при виготовленні медичних інструментів - скальпелів, гачків, пластинчастих пінцетів, затискачів. Ці інструменти набагато легше інструментів з нержавіючої сталі.

Знайшли застосування титанові сплави у виробництві інвалідних колясок, зовнішніх ортопедичних протезів.

Титанові сплави міцні і пластичні, як сталь, легкі, як алюміній, і стійкі до корозії, як вуглепластик. Вони незамінні в хірургії, стоматології, офтальмології, ортопедії.

Дослідження виявили, що титанові сплави можуть вільно застосовуватися там, де потрібна дуже висока корозійна стійкість медичних інструментів і не потрібно великої твердості. Невисока твердість титану,

відсутність ріжучих властивостей не дає поки можливості розширити його застосування в хірургічному інструментарії.

Труднощі пояснюється тим, що існуючі в промисловості методи зміцнення титану в медичній промисловості застосовувати не можна, так як до виробів пред'являються специфічні вимоги. Медичні апарати і інструменти працюють в специфічних умовах (в контакті з фізіологічним розчином, йодом, стерилізуються шляхом кип'ятіння у воді або в автоклавах при температурі до 200°C і т. д.).

Для збільшення твердості, зносостійкості, зниження коефіцієнта тертя проводять термічну і хіміко-термічну обробку (азотування).

Процес анодування дозволив отримати на зразках із титанового сплаву (надалі – на виробках) кольорову плівку різних відтінків: золотисту, зелену, синю, фіолетову, бузкову. Всі вони піддавалися стерилізації шляхом кип'ятіння в воді протягом 1800 ° при шестикратному повторенні. Після кожного циклу стерилізації проводили візуальне спостереження зміни кольору покриття і появи плям корозії. Найбільш корозійностійкої і міцною плівкою є оксидна плівка жовтого (золотистого), фіолетового і лілового кольору.

Таким чином було встановлено, що медичні інструменти, виготовлені з титанових сплавів, на 20-30% легше таких же виробів з нержавіючої сталі, мають кращу корозійну стійкість, більш довговічні і зручні в роботі.

Загальна оцінка стегнового компонента (рисунок 2.2) тотального ендопротеза кульшового суглоба складається при розгляді особливостей дизайну окремих його елементів - власне ніжки, якості обробки її поверхні, головки, шийки і комірця [6].

У внутрішніх умовах організму титанові сплави, на відміну від інших конструкційних металів, практично не піддаються корозії за рахунок утворення поверхневої плівки двоокису титану.

Хірургічні імплантати піддаються значним вигинаючим, розтягуючим навантаженням. Є думка, що визначальним параметром матеріалу ніжки

протеза кульшового суглоба є модуль пружності. Це пояснюється тим, що при експлуатації деформація (вигин) ніжки ендпротеза, який закріплений в кістці, впливає на кісткову тканину і при значному вигині може пошкоджувати цю тканину, приводячи до лізису кістки. Сплав ВТ 6 володіє модулем пружності, найбільш відповідним модулю пружності кістки. Більш низьке значення модуля пружності дозволяє краще передавати робочі навантаження і успішніше стимулювати зростання кісткових утворень. У разі великих деформацій при високому модулі - великий тиск передається на кістку.

Матеріал, з якого виготовлена головка стегового компонента ендпротеза, є також важливою складовою, оскільки різні матеріали мають різні характеристики зношування в парі з поліетиленом.

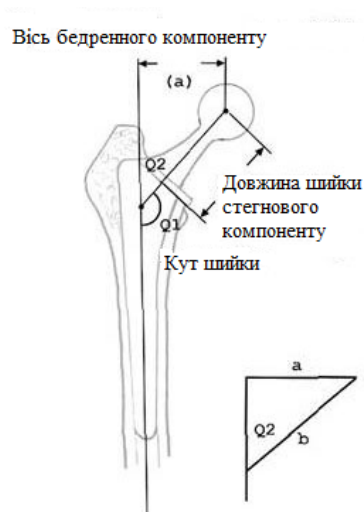


Рисунок 1.3 – Схематичне представлення стегового компонента

Особливості дизайну стегового компонента включають геометричні характеристики (довжина, форма, поперечний переріз), властивості матеріалу і стан поверхні.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Компонент стегновий цементний виконаний зі сплаву титану ВТ6 (таблиця 2.1) [7].

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сплаву ВТ6 порівняно з іншими титановими сплавами

Сплав	Хімічний склад									
	Fe	C	Si	V	N	Ti	Al	Zr	O	H
ВТ5	до 0,3	до 0,1	до 0,15	до 1,2	до 0,05	92,385 - 95,7	4,3 - 6,2	до 0,3	до 0,2	до 0,015
ВТ6	до 0,6	до 0,1	до 0,1	0,8 - 2,5	до 0,05	84,938 - 91,7	5,5 - 7	1,5 - 2,5	до 0,15	до 0,012
ВТ20	до 0,3	до 0,1	до 0,15	0,9 - 1,9	до 0,05	86,635 - 93,1	3,5 - 6,3	до 0,3	до 0,15	до 0,015

У порівнянні з широко вживаними кобальтовими сплавами і нержавіючими сталями для ендопротезування титанові сплави характеризуються найбільш високими значеннями корозійної стійкості, біологічної сумісності з тканинами організму і не викликають алергічних реакцій. Крім того, вони мають нижчі показники модуля пружності і щільності при високій питомій міцності (таблиця 2.2) [8].

Таблиця 2.2 – Механічні властивості матеріалу ВТ6 порівняно з іншими титановими сплавами

Сплав	Механічні властивості			
	σ_b	δ_5	ψ	KCU
	МПа	%	%	кДж / м ²
ВТ5	750-950	10-14	32	400
ВТ6	900-1100	8-20	20-45	400
ВТ20	950-1150	10	25	450

Дослідження процесу сухого тертя сплаву ВТ6 в парі зі СВМПЕ або кістковим цементом в початковому стані (HRC = 28 од.) і після термоводневої обробки (HRC = 42 од.) показало, що збільшення твердості матеріалу призводить не тільки до зменшення його зносу, але також і до зменшення в 10 разів зносу кісткового цементу і в 5 разів СВМПЕ (рис. 2.3) [9]. Збільшення тривалості шляху тертя до величини, еквівалентної 5 років експлуатації, показало, що знос СВМПЕ в парі тертя зі сплавом Co-Cr-Mo збільшується в 5 разів, а знос поліетилену зі сплавом ВТ6 (ТВО) - тільки в 1,5 рази.

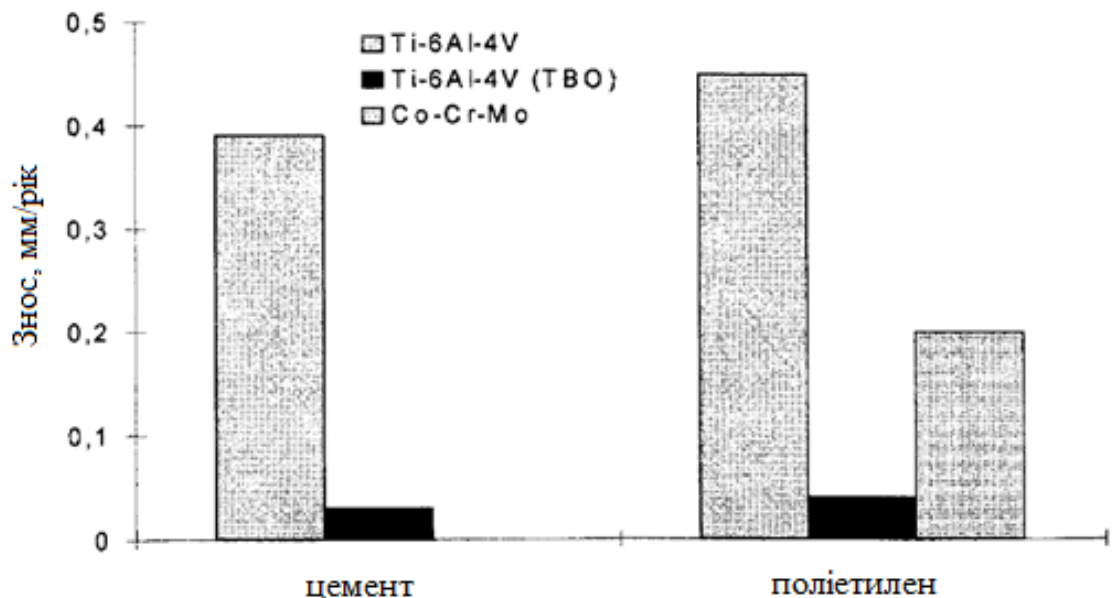


Рисунок 2.3 - Знос кісткового цементу і СВМПЕ при терті з різними матеріалами

Для проведення випробувань на тертя пари "головка - чаша з СВМПЕ" були виготовлені головки ендопротезів тазостегнового суглоба зі сплаву ВТ6. Одна головка піддалася ТВО; друга головка залишалася в вихідному гарячекатаному стані. Крім того, для порівняння були випробувана головка зі сплаву Co-Cr-Mo.

На рис. 2.4 показані значення коефіцієнта тертя. Пунктирна лінія відповідає максимальному коефіцієнту тертя в здоровому природному суглобі (0,04).

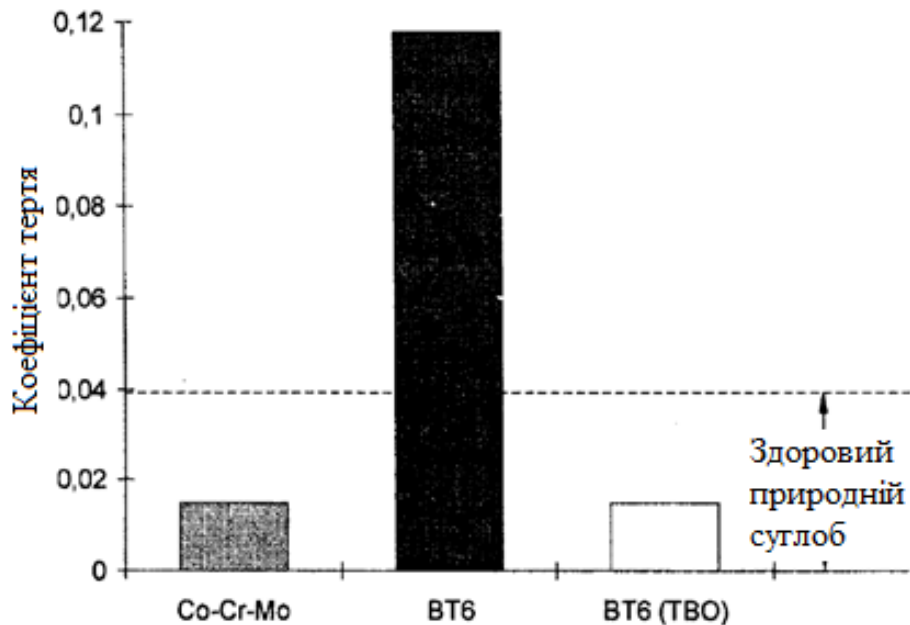


Рисунок 2.4 - Значення коефіцієнта тертя кульової головки, виготовленої з різних матеріалів в парі з СВМПЕ

Як показали проведені дослідження практично однакові коефіцієнти тертя мають головки зі сплаву Co-Cr-Mo і зі сплаву VT6, підданого ТВО, причому внутрішня порожнина чаш з СВМПЕ після випробувань залишалася без видимих слідів зносу (рис. 2.4).

При випробуванні головки зі сплаву VT6, що не піддаються спеціальній обробці, значення коефіцієнта тертя перевищує максимально допустимий. Після проведення випробувань в чашці з СВМПЕ були виявлені продукти зносу (див. рис.2.4).

Проведені дослідження показали, що застосування ТВО дозволяє істотно подрібнити структуру матеріалу і значно збільшити зчеплення окисної плівки з основою. Крім того, досягається підвищення твердості матеріалу до 40-42 од. НРС, що відповідає твердості деформованого кобальт-

хром-молібденового сплаву. Збільшення твердості після ТВО викликає зменшення схильності сплаву ВТ6 до мікропластичної деформації. Це призводить до поліпшення поліруємості поверхні і, відповідно, забезпечує поліпшення трибологічних характеристик.

Таким чином, після надання нових властивостей титанових сплавів відкриваються нові можливості їх використання в області ендопротезування суглобів.

Механізм випробувань на ударну в'язкість розглянемо на рис. 2.5 [10].

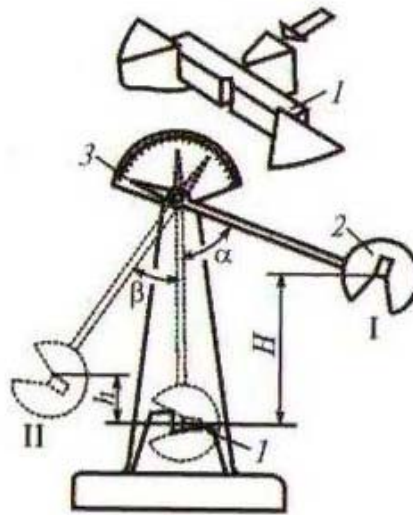


Рисунок 2.5 – Маятниковий копер

Випробування проводиться на маятниковому копрі. Для випробування на ударну в'язкість виготовляють особливі зразки, що мають форму брусків з квадратним поперечним перерізом. Випробування зразків повинно проводитися в одних і тих же умовах, щоб результати, що отримали, можна було порівняти. Тому зразки стандартизовані.

Маятниковий копер з вантажем в 10, 15 або 30 кг, укріплений на станині, піднімають на певну висоту і закріплюють засувкою. Після звільнення засувки маятник вільно падає і вдаряє по зразку з боку, протилежного надрізу.

При випробуванні металів на удар визначають ударну в'язкість, яку позначають КС. Ударна в'язкість КС - це відношення роботи К руйнування стандартного зразка до площі його поперечного перерізу F в місці надрізу:

$$КС = K / F, \text{ Дж} / \text{м}^2$$

Залежно від виду концентратора в зразку (U, V, T) в позначенні ударної в'язкості вводять третій індекс, відповідно до виду концентратора: КСУ, КСV, КСТ.

Стандартний зразок встановлюють на опорах стійок копра так, щоб удар маятника 2 припадав проти надрізу. Маятник масою G за допомогою спеціальної рукоятки піднімають на висоту H в верхнє початкове положення I. При падінні маятник вдаряє по зразку, руйнує його і піднімається в положення II-висоти h. Для зупинки маятника є гальмо.

Якщо запас потенційної енергії маятника позначити через GH, то робота, витрачена на деформацію і руйнування зразка, дорівнює різниці енергії маятника в його положеннях I і II (до і після удару), т. ч. .:

$$K = GH - Gh = G (H - h)$$

Висловивши висоту маятника в положенні до і після удару через силу маятника l і кути α і β , отримаємо вираз для визначення роботи, витраченої на деформацію і руйнування зразка:

$$K = Gl (\cos \beta - \cos \alpha),$$

де α - кут початкового підйому маятника; β - кут підйому маятника після руйнування зразка, що фіксується на шкалі 3. Маса вантажу і довжина маятника відомі. Кут α є величиною постійною. Знаючи кут β за результатами випробувань, визначають роботу K і ударну в'язкість КС.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Воднева крихкість титанових сплавів

Водневої крихкістю називають погіршення однієї або декількох механічних характеристик металу в результаті його наводорожування [11]. Водневе окрихчення відображає сукупність взаємопов'язаних явищ, які змінюють механічні властивості металів, в кожному з яких бере участь водень. Схильність сталі до водневого окрихчення оцінюють, в основному, по зниженню її пластичності. Однак для оцінки технічного стану та залишкового ресурсу металевої конструкції практичний інтерес представляє вплив наводорожування на опір крихкому руйнуванню і характеристики тріщиностійкості.

Розглянемо питання прояви водневої крихкості, обумовленого наводорожуванням металу при технологічних процесах виготовлення зварних, литих і кованих конструкцій. Водень потрапляє в метал при виплавці, травленні, нанесенні гальванічних покриттів, зварюванні. Розчиняючись в фериту матриці, він займає переважно октаедричні пори в ОЦК решітці, викликаючи при цьому збільшення обсягу на $\sim 1,75 \text{ см}^3 / \text{моль}$.

Водневе окрихчення відбувається в результаті міграції розчиненого в металі водню до дислокацій, викликаючи їх закріплення (блокування). Тому негативний вплив водню проявляється, головним чином, в зниженні пластичності при деформації з невеликими швидкостями, коли швидкість дифузії водню збігається зі швидкістю переміщення дислокацій.

Температура експлуатації та швидкість навантаження істотно впливають на схильність до водневого окрихчення. Рухливість водню дуже висока при кімнатній температурі і зростає в два і чотири рази при підвищенні температури до 100 і 200 ° С відповідно. Ефект підвищення температури може проявитися двояко: в можливості підвищення концентрації водню на дефектах структури, в збільшенні ймовірності відходу

водню з металу. При зниженні температури швидкість дифузії водню зменшується, і при певних швидкостях переміщення дефектів кристалічної решітки типу дислокацій водень не в змозі переміщатися разом з ними.

Для явища водневої крихкості властиві такі закономірності: зниження пластичності проявляється в певному інтервалі температур і швидкостей деформації; провали характеристик пластичності з ростом швидкості деформації зміщуються до більш високих температур; при збільшенні вмісту водню температурний інтервал провалів пластичності розширюється [12].

Вільний водень знаходиться в сталі в іонізованому стані (протони). Пересування водню в твердому стані металу відбувається під дією градієнта концентрацій, полів пружних напружень і електричного струму. Розтягуючі напруги збільшують, а стискаючі зменшують дифузію водню в сталі.

Водень дифундує в зону напруг, що розтягують (у концентраторів напружень). Дифузія водню в умовах градієнта його концентрації зростає при підвищенні температури і проявляється в десорбції (відході) водню зі сталі.

Відомі такі механізми, які за участю водню погіршують властивості конструкційних сплавів: взаємодія з дислокаціями; взаємодія з міжатомними зв'язками в кристалічній решітці; створення осередків внутрішнього тиску; створення гідридів.

Невеликі концентрації водню в твердому розчині практично не впливають на ударну в'язкість. Навантаження відбувається занадто швидко і часу для перенесення водню в зону передруйнування тріщини, що розвивається, недостатньо. При великих концентраціях водню, коли він знаходиться у вигляді молекул в колекторах або утворює гідриди, ударна в'язкість знижується. За критерій окрихчення при випробуваннях на ударний вигин приймають відношення ударної в'язкості наводороженого до певної концентрації зразка до ударної в'язкості зразка після вакуумного відпалу. Чим менше величина цього відношення, то чутливіший сплав до водневої крихкості при ударному навантаженні.

Істотне окрихчення металу під дією внутрішнього водню спостерігається також при малоциклових навантаженнях. Довговічність після попереднього наводороження різко падає. Зниження довговічності оцінюється коефіцієнтом впливу водню $R_H = N_K / N$, де N_H і N - середні для кожної амплітуди і температури числа циклів до руйнування наводорожених і ненаво- дорожених зразків.

Взаємодіючи з дислокаціями, водень накопичується навколо них, переноситься дислокаціями, полегшуючи їх рух і тим самим зменшує міцність матеріалу. Є дані про придушення воднем поперечного ковзання дислокацій, що змінює характер ковзання. Водень, пов'язаний з рухомою дислокацією, підхоплюється нею і осідає на дефектах решітки - межах фаз і включень. У цих умовах локальне пересичення воднем може виникати в матеріалі, що знаходяться в середовищі з низьким тиском газоподібного водню.

Є дані про можливість зниження вільної енергії поверхні матеріалу внаслідок адсорбції водню на його поверхні. Такий механізм водневої крихкості називають декогезивним.

Концентрація водню в кристалічній решітці в околиці розділу фаз, включень і кордонів зерен знижується внаслідок стоку водню на ці кордони і створення в стоці молекулярного водню. В результаті все нові порції водню будуть дифундувати в ці зони, приводячи до утворення все більшої кількості молекулярного водню і зростання його тиску в утворюючихся внутрішніх порожнинах.

Процес водневої крихкості, що залежить від внутрішнього тиску в пустотах і мікротріщинах, обумовлює зниження рівня напружень, необхідних для руйнування. При високому ступені насичення матеріалу воднем практично не потрібно зовнішньої напруги для зародження і зростання мікротріщин. Цей вид пошкодження конструкційного матеріалу називають незворотною водневою крихкістю.

При концентрації вище межі розчинності в твердій фазі водень може взаємодіяти з багатьма металами і утворювати вторинні фази - гідриди.

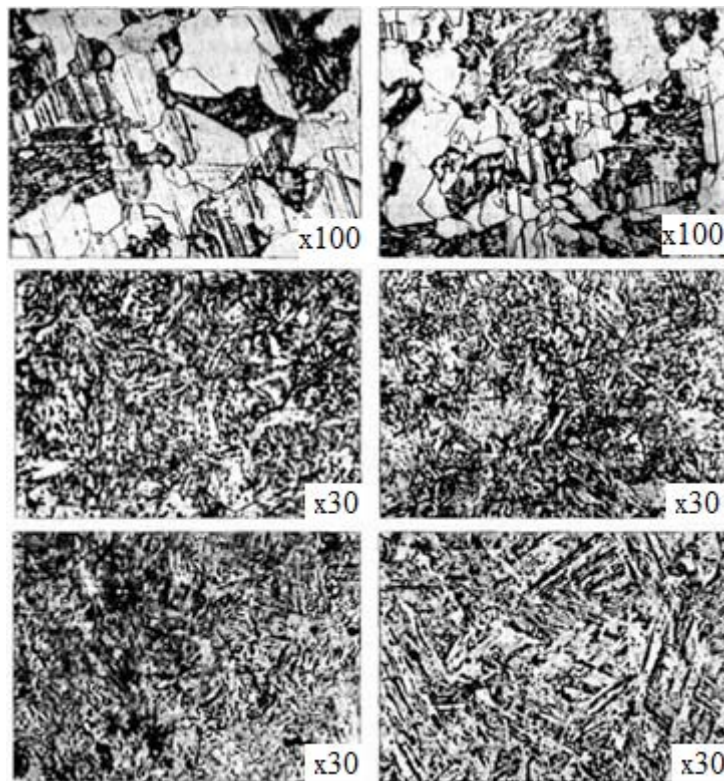


Рисунок 3.1 - Типовий вид флокенів на поверхні крихкого руйнування

Пов'язаний водень в сталі може знаходитися в колекторах і карбогідрідах (хімічно пов'язаний стан), не погіршуючи механічні властивості сталі, оскільки не може легко дифундувати в процесі деформації.

Помітний вплив водню на характеристики механічних властивостей проявляється при вмісті його в сталі в кількості $1-2 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$; при подальшому збільшенні його концентрації пластичність і справжнє руйнівне напруження металу істотно знижуються.

В період перебування матеріалу під дією зовнішнього навантаження водень утворює бульбашки і тріщини по внутрішніх поверхнях розділу фаз, на кордонах зерен і / або неметалічних включень, викликаючи уповільнене руйнування. Це явище, описане ще в 1875 р в іноземній літературі, називають внутрішньою водневою крихкістю (по суті це воднева крихкість технологічного походження).

Отже значний вплив на властивості титану та його сплавів надає водень (β -евтектоїдний стабілізатор). Це обумовлено, з одного боку, великою рухливістю водню в титані та його сплавах, з іншого - здатністю титану утворювати гідриди при низьких температурах. У чистому титані евтектоїдне перетворення протікає при температурі 319°C при наявності водню понад 0,18% (рис. 3.2). Оскільки розчинність водню в α -титані з пониженням температури різко падає, то можливе утворення вторинних гідридів при більш низькій концентрації водню.

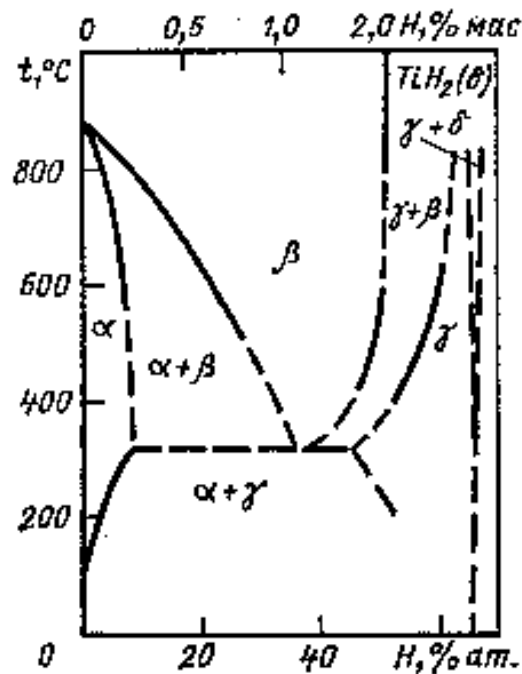


Рисунок 3.2 - Діаграма стану системи титан – водень

У зв'язку з тим, що гідридна фаза в порівнянні з основним металом володіє великим питомим об'ємом, то в зоні, що контактує з гідридними виділеннями, виникають напруження розтягу. Це полегшує зародження тріщини, і руйнування сплавів стає крихким. Воднева крихкість особливо проявляється при випробуванні на ударну в'язкість (рис. 3.3).

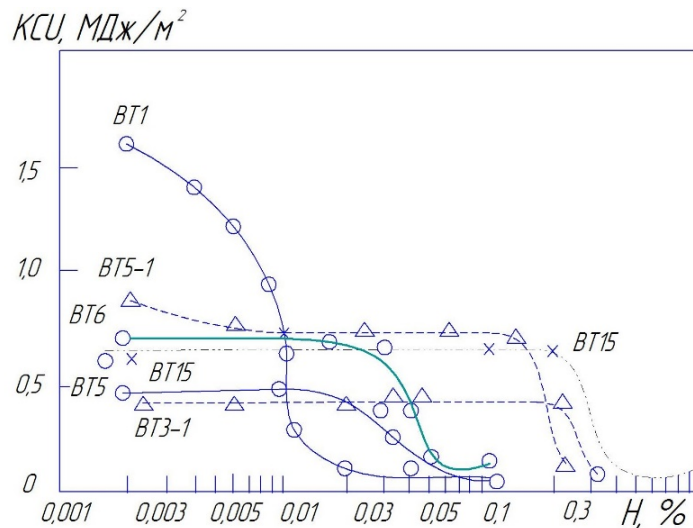


Рисунок 3.3 - Вплив водню на ударну в'язкість титану і його сплавів

Оскільки розчинність водню в β -титані вище, ніж в α -титані, то сплави з $\alpha + \beta$ - і β -структурою менш схильні до водневої крихкості [13]. У зазначених сплавах воднева крихкість проявляється при більшому вмісті водню. Воднева крихкість може бути обумовлена не тільки гідридами, що утворилися в результаті розпаду пересиченого твердого розчину, а й розчиненим воднем, який, блокуючи дислокації, ускладнює пластичну деформацію, сприяє окрихченню сплаву.

Воднева крихкість, пов'язана з розпадом перенасиченого твердого розчину і утворенням гідридів, характерна для α -сплавів титану, що володіють малою розчинністю водню. Алюміній підвищує розчинність водню в α -фазі, тому підвищення його змісту сприяє зниженню схильності α -сплавів до водневої крихкості. Окрихчення сплавів через блокування дислокацій воднем характерно для $\alpha + \beta$ - і β -сплавів.

Воднева крихкість в результаті виділення гідридної фази може проявитися і при концентрації водню нижче межі розчинності. Утворення гідридної фази можливо в результаті перерозподілу водню з утворенням локальних обсягів з підвищеною концентрацією водню. Перерозподіл водню може бути обумовлений транспортуванням водню дислокаціями при

пластичної деформації, розвитком дифузії водню в неоднорідному температурному полі або полі напружень.

В температурному полі водень дифундує в зону знижених температур, а в полі напруг - в зону, де діючі напруги сприяють збільшенню параметрів решітки. Зокрема, перерозподіл водню в полі напруг може стати однією з причин уповільненого руйнування.

Для запобігання водневої крихкості вміст водню в сплавах обмежують. У більшості сплавів допускається не більше 0,015% водню. Однак в деяких сплавах допустима гранична концентрація водню нижче, наприклад, в сплаві ОТ4-1 до 0,005%, ОТ4 до 0,01%. У деяких випадках можливе підвищення концентрації водню в сплаві в процесі обробки (травлення, зварювання, гарячої обробки та ін.). У подібних випадках для зниження концентрації водню в сплаві використовують вакуумний відпал.

Розглянуті особливості в поведінці титану і його сплавів (висока активність, велика чутливість до режимів термообробки, а також наявності домішок впровадження) необхідно враховувати при розробці технологічного процесу.

3.2 Характерні ознаки водневої крихкості α - β -титанових сплавів

Водень є хімічним елементом, стабілізуючим β -фазу, він має більшу спорідненість з β -фазою в α - β -сплавах [14]. При евтектоїдній температурі розподіл цього елемента між β - і α -фазами виражається у відношенні 5: 1. При 20⁰С це відношення вище внаслідок значного зменшення розчинності водню в α -фазі. Окрихчення α - β -титанових сплавів під впливом водню вивчається багато років.

Рейлскі вважає, що α - β -титанові сплави, що містять до 4,5% (ат.) водню (що в 5 разів перевищує концентрацію, що викликає окрихчення), не

мають гідридної фази. Однак авторадіографічні дослідження α - β -титанових сплавів, що містять не більше 2,7% (ат.) Водню, показало, що після термічного старіння водень ліквує по границям між α - β -фазами. Так як при виробництві технічних α - β -сплавів використовується велика кількість елементів, що стабілізують β -фазу, не дивно, що явище водневої крихкості вивчалось на досить різноманітних за складом титанових сплавах. Однак, у всіх вивчених сплавах явище водневої крихкості відрізнялося одними і тими ж ознаками.

Через більш високу розчинність водню в β -фазі в порівнянні з α -фазою не дивно, що явище водневої крихкості протікає в α - β -сплавах інакше, ніж в однофазному α -титані. У цих сплавах під впливом водню змінюються в першу чергу властивості при випробуванні на розтяг, а не властивості, які визначаються при ударному випробуванні.

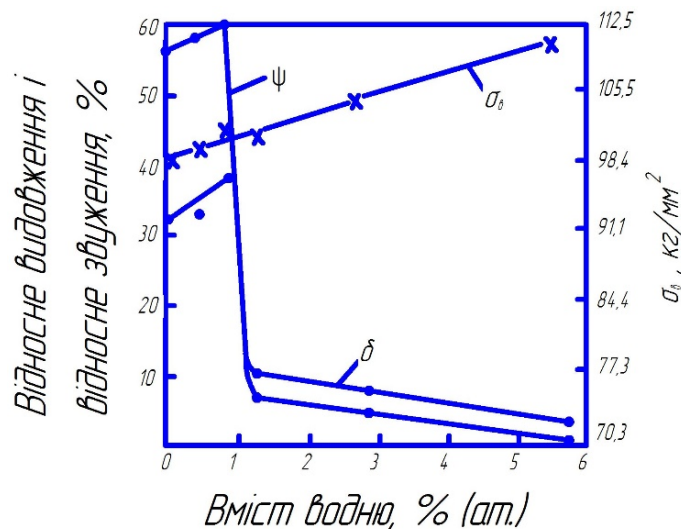


Рисунок 3.4 – Зміна механічних властивостей технічно чистого сплаву Ti-Mn в залежності від змісту водню

Типові промислові α - β -сплави містять 8% (вага.) Марганцю. Водневе окрихчення цього сплаву вивчалось Крайгхедом, Леннінген і Джаффе. На рис. 3.4 продемонстрована зміна властивостей цього сплаву при випробуванні на розтяг при 20⁰С з малою швидкістю деформації в залежності від вмісту

водню. При малих концентраціях водню пластичність сплаву злегка зростає, а потім різко знижується з підвищенням вмісту водню від 0,86 до 1,28% (ат.).

Опір сплаву з 8% Mn удару при випробуванні надрізаних зразків в інтервалі температур від -196 до 100 ° С (в тому числі область переходу сплаву, що не містить водень, з пластичного стану в крихкий) залишається незмінним з підвищенням вмісту водню аж до 4,9% (ат.). Деяке невелике зменшення опору удару з підвищенням вмісту водню спостерігається для сплаву титану з алюмінієм і марганцем при 100 ° С. Звідси можна зробити висновок, що водень викликає невелике підвищення критичної температури крихкості, визначеної за зміною опору удару.

Чутливість сплавів цього класу до водневого окрихчення збільшується зі зменшенням швидкості деформації, тоді як у разі α -титану спостерігається протилежна тенденція.

Зразки сплаву Ti - 140A (який містить сліди заліза, хрому, молібдену і вуглецю) випробовувалися при кімнатній температурі зі швидкостями деформації 0,5 і 2,5 мм / хв. Цей сплав окрихчується при малій швидкості деформації після досягнення концентрації водню 0,1% (ат.), що є критичним значенням. В той час як при збільшенні швидкості деформації пластичність сплаву не змінюється навіть після того, як концентрація водню перевищить це критичне значення.

Враховуючи опубліковані з цього питання данні можна зробити висновок, що при звичайних умовах випробування на розтягнення зі зменшенням швидкості деформації пластичність зразків знижується лінійно. Швидкість деформації може бути зменшена нижче швидкості деформації при випробуванні на розтяг, якщо додавати постійне навантаження в умовах випробування на тривалу міцність. Такі випробування, проведені при 20⁰С на сплаві Ti- 140A, показали, що в цьому випадку значно змінюється величина відносного звуження. Зразок, що містить водень, руйнувався крихко при напрузі, яка не викликає руйнування металу, що не містить водень.

Ступінь водневої крихкості досліджених сплавів також змінюється при зміні температури. Барт і його співробітники показали, що в разі сплаву Ti - 140A ефект окрихчення спостерігається при температурах понад 90 ° C, тоді як деякі інші вчені вказують, що цей ефект мізерно малий при температурах нижче -4 ° C. В цьому випадку водневе окрихчення титану дуже схоже на окрихчення сталі. Оптимальною умовою для процесу окрихчення є мала швидкість деформації при кімнатній температурі.

Концентрація водню, необхідна для отримання значного окрихчення, є функцією від швидкості деформації і температури. Знаючи залежність ступеня окрихчення від температури, концентрація водню, що викликає ефект окрихчення, є мінімальною при кімнатній температурі і збільшується з підвищенням або зниженням температури. При всіх температурах кількість водню, необхідного для окрихчення металу, збільшується зі збільшенням швидкості деформації. Для підтвердження цього можна навести два приклади.

По-перше, при випробуванні сплаву з 8% Mn при 20⁰C з досить малою швидкістю деформації окрихчення спостерігалось при концентрації 1% (ат.) водню, в той час як при випробуванні того ж сплаву на розтягнення швидкістю деформації і на удар він окрихчувався при концентрації 2,7 і 5,3% (ат.) водню відповідно.

По-друге, при випробуванні на розтягнення сплаву Ti - 140A при кімнатній температурі з малою швидкістю деформації окрихчення відбувається при 1,2% (ат.) водню. Цей же сплав руйнується завчасно при вмісті 0,85% (ат.) водню при випробуванні на тривалу міцність, тобто при досить малій швидкості деформації. Пластичність різко знижується при досягненні певного критичного вмісту водню, причому цей вміст відрізняється для різних сплавів.

Пластичність сплавів титану високої чистоти з 3 і 6% Mn і технічного титану з 8% Mn знижується приблизно при утриманні 1% (ат.) водню; сплав з 4% Mn і 4% Al не окрихчувався навіть при вмісті водню понад 5% (ат.)

Звідси випливає, що межі коливання при вмісті водню в α - β сплавах можуть бути розширені при збереженні високої пластичності за рахунок введення такого α -стабілізуючого елемента, як алюміній. З порівняння сплавів титану, що містять марганець, зі сплавами, в яких β -фаза стабілізується молібденом, випливає, що межі коливання вмісту водню також залежать від вибору β -стабілізатора. Виходить, з цієї точки зору, молібден є найкращим стабілізатором, ніж марганець.

У зв'язку з таким значним впливом водню на пластичність цих сплавів в основному досліджувався вплив водню саме на цю властивість. Межа плинності і твердість по Віккерсу сплаву титану з 8% Mn децю зростають зі збільшенням вмісту водню. Межа міцності сплаву титану з 4% Mn і 4% Al змінюється подібним чином. Межа міцності сплаву Ti - 140A не змінюється зі зміною вмісту водню в інтервалі крихкості.

3.3 Механізм водневого окрихчення α - β -титанових сплавів

Схильність α - β -сплавів до водневого окрихчення змінюється в залежності від температури і швидкості деформації таким же чином, як і у сталі. Тому не дивно, що механізм водневої крихкості цих сплавів, запропонований Барке і підтверджений Джаффе, Лспінгом і Крайгхедом, в основному подібний до механізму окрихчення сталі, запропонованого Морлеттом, Джонсоном і Тройяно.

Згідно Барке, розвиток деформації в металі викликає дифузію водню з розчину впровадження па основі β -фази до деяких певних ділянок в зразку. Цей процес призводить до «мікросегрегації» водню в ділянках, де під впливом прикладеної напруги можуть зародитися мікротріщини. Поширення таких тріщин може потім викликати крихке руйнування. Оскільки сегрегація водню є дифузійним процесом, то для досягнення критичного ступеня

ліквації, яка має шкідливу дію на метал, необхідний певний час. Тому при досить великій швидкості деформації метал пластично деформується раніше, ніж досягається критична локальна концентрація водню. При малій швидкості деформації мікросегрегація досягає критичної величини раніше, ніж відбудеться пластична деформація матеріалу, в результаті чого він крихко руйнується.

Зниження температури зменшує швидкість дифузії водню. Відповідно, якщо, наприклад, при кімнатній температурі деяка невелика швидкість деформації буде достроково мала для того, щоб викликати окрихчення металу, то при більш низьких температурах вона може виявитися занадто великою. Тому схильність до окрихчення зменшується з пониженням температури. Однак окрихчення відбуватиметься при більш низькій температурі в тому випадку, якщо вміст водню буде підвищено. В результаті кількість здатного дифундувати водню буде більше, так що критичний ступінь мікросегрегації може бути досягнута навіть при більш низькій швидкості дифузії. Також при підвищенні швидкості деформації при будь-якій заданій температурі кількість водню, що викликає окрихчення металу, буде збільшуватися. Це відбувається тому, що час, протягом якого може відбуватися викликана напругою дифузія водню (сприяє досягненню критичного ступеня ліквідації), зменшується.

У разі, коли випробування проводиться при температурах $\sim 100^\circ \text{C}$, окрихчення металу під впливом водню не спостерігається. Барке вважає, що це відбувається або завдяки зменшенню схильності водню до сегрегації при більш високих температурах, або внаслідок загального підвищення пластичності матеріалу при більш високих температурах.

У першому випадку він вважає, що в результаті підвищення температури посилюються термічні коливання атомів, внаслідок чого розподіл водню залишається досить гомогенним і критичний ступінь сегрегації не може бути досягнута. У другому випадку він передбачає, що внаслідок збільшення пластичності матеріалу зародження або

розповсюдження тріщин (або те й інше разом) не може відбуватися навіть при наявності ділянок, збагачених воднем.

Барке не висловлює ніякої певної думки про природу ділянок, в яких передбачувана мікросегрегація може мати місце. Однак Джаффе, Леннінген і Крайгхед на підтвердження цієї гіпотези вважають, що сегрегація водню може мати місце на поверхнях розділу α - β -фаз. Це здається розумним, враховуючи відносно низьку розчинність водню в α -фазі в порівнянні з β -фазою. Якщо (як передбачалося) при накладенні напруги відбувається міграція атомів водню з їх рівноважного положення в β -фазі, то водень буде збиратися на кордоні між α - і β -фазами, так як внаслідок незначної розчинності його в α -фазі при кімнатній температурі лише невелика кількість мігруючого водню зможе розчинитися в ній (по іншу сторону кордону).

Слід зазначити, що хоча така сегрегація водню по межі поділу фаз є, мабуть, логічним наслідком механізму, розробленого Барке, металографічний аналіз зразків, окрихчених під впливом водню, не підтвердив існування такої гідридної фази. Однак в одній з останніх робіт при електронноскопічному і авторадіографічному дослідженні сплаву складного складу з 2,7% (ат.) водню на кордонах розділу α - β -фаз було виявлено невелику кількість гідридної фази. Показано що фаза, яка містить водень, утворюється в результаті термічного старіння. Можливо, що виділення подібного типу можуть мати місце в результаті деформаційного старіння сплавів цього типу.

3.4 Термічна обробка сплаву титану VT6

Поверхня виробів з титану і його сплавів покрита тонкою окисною плівкою, що становить величину 0,5-0,6 нанометрів. Така плівка забезпечує повний захист металу від корозії в організмі людини. Однак при впливі контактних навантажень, що виникають при терті, наприклад, головки

ендопротеза о чашу або при мікрорусі ніжки в цементній мантії, відбувається її відрив. Для того, щоб поліпшити антифрикційні властивості титану та його сплавів, необхідно, по-перше, значно збільшити площу контакту окисної плівки з основою і, по-друге, підвищити твердість до значень, відповідної твердості деформованих кобальтових сплавів. Це можна досягти за рахунок подрібнення структури вихідного матеріалу.

Титанові сплави піддають відпалу, гартуванню і старінню [15]. Відпал застосовують для зняття зміцнення після пластичної деформації і підвищення термічної стабільності - здатності зберігати незмінними механічні властивості при підвищених температурах. Гартування і відпал титанових сплавів виконують для підвищення механічних властивостей деталей. Режими зміцнювальної термічної обробки деталі зі сплаву VT6 наведено в табл. 3.2.

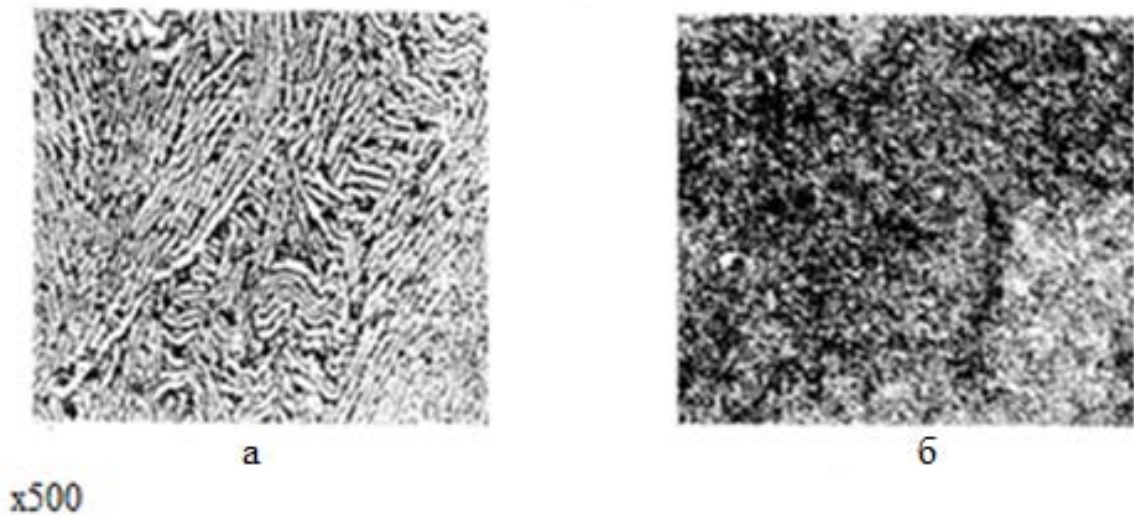
Таблиця 3.2 - Режими зміцнювальної термічної обробки деталі зі сплаву VT6

Марка сплаву	Температура гартування, С		Старіння	
			Температура нагріву, °С	Витримка, год
VT6	900 ...	950	450 ...550	2... 4

Виконуючи термічну обробку титанових сплавів, слід пам'ятати, що при високих температурах вони активно взаємодіють з киснем, азотом, воднем і іншими газами. Внаслідок цього деталі з титанових сплавів потрібно нагрівати в вакуумних печах або в середовищі інертних газів (застосування газових або електричних печей з повітряною атмосферою не рекомендується).

Для того, щоб поліпшити антифрикційні властивості титану та його сплавів, необхідно, по-перше, значно збільшити площу контакту окисної плівки з основою і, по-друге, підвищити твердість до значень, відповідної твердості. Це можна досягти за рахунок подрібнення структури вихідного матеріалу.

У вихідному гарячекатаному стані сплав ВТ6 має пластинчасту структуру (рис. 3.6а) і твердість 26-28 одиниць НРС. Традиційними методами термічної обробки неможливо отримати необхідний рівень твердості і структури. Тому було проведено дослідження щодо впливу термоводневої обробки на формування структури, зміни твердості і антифрикційні властивості сплаву ВТ6.



а – в вихідному гарячекатаному стан; б - після ТВО

Рисунок 3.6 – Мікроструктура зразків зі сплаву ВТ6

В даний час в області технології обробки титанових сплавів можливості традиційних методів, таких як термічна, термомеханічна і інші види обробок, практично вичерпані. У зв'язку з цим для задоволення постійно зростаючих вимог до комплексу фізико-механічних і експлуатаційних характеристик промислово освоєних титанових сплавів необхідно застосовувати інноваційні методи обробки. До них в повній мірі може бути віднесена термоводнева обробка (ТВО) титанових сплавів [16].

Термоводнева обробка заснована на використанні водню в якості постійного або тимчасового легуючого елемента, що дозволяє здійснювати ефективно перетворення структури титанових сплавів в твердому стані і,

відповідно, отримувати необхідні поєднання властивостей оброблюваного напівфабрикату або готового виробу.

Завершальною стадією термоводневої обробки є вакуумний відпал наводнених напівфабрикатів або виробів, в процесі якого відбувається зниження вмісту (видалення) водню до безпечних концентрацій з метою виключення можливого розвитку ефекту водневої крихкості при подальшій експлуатації виробів, підданих ТВО. У процесі дегазації відбувається одночасний вплив двох факторів - температури відпалу і концентрації водню, яка при цьому безперервно змінюється з плином часу. Внаслідок цього вакуумний відпал грає важливу роль у формуванні кінцевої структури матеріалу, яка, в свою чергу, визначає рівень властивостей і технологічність.

Відпал зразків зі сплаву ВТ6 проводили при температурі 800 ° С до концентрації 0,8 мас.% водню [17].

Твердість сплаву залежить від розміру структурних складових, тобто чим дрібніше структура, тим вище твердість, а розмір виділяються частинок залежить від температури обробки - чим нижче температура, тим дрібніше розмір структурних складових. У зв'язку з цим вакуумний відпал проводили при температурі 600°С. Нижче 600°С проводити вакуумний відпал неможливо, тому що існуюча на поверхні сплаву тонка окісна плівка перешкоджає процесу дегазації. Після вакуумного відпалу твердість зразків досягла 40-42 HRC, структура характеризувалася рівномірними дрібнодисперсними виділеннями розміром близько 0,3-0,7 мкм. (Рис. 3.6 б).

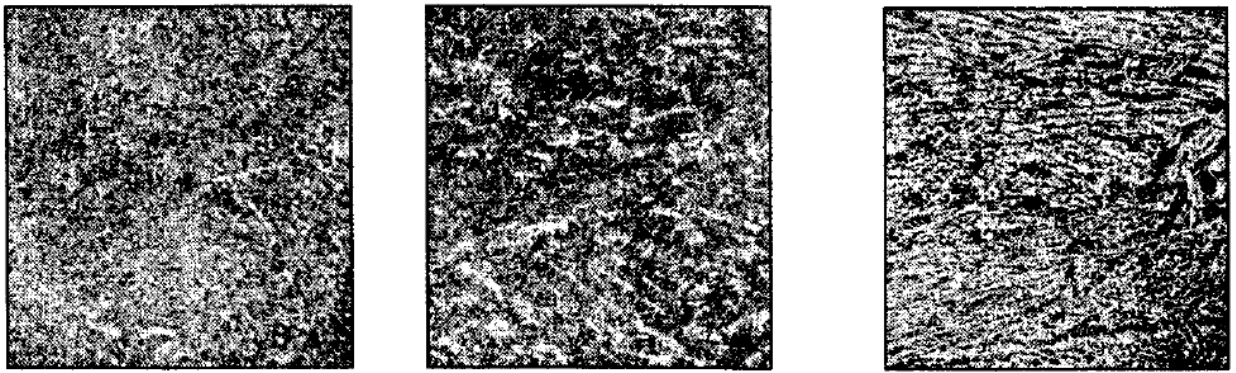
Сплав ВТ6, підданий ТВО, має високу міцність (≈ 1200 МПа) і невисоку пластичність ($\approx 3,5\%$). Ці значення є цілком задовільними, так як головка є конструктивним елементом тазостегнового суглоба, який не відчуває навантажень, що вимагають високого запасу пластичності.

У той же час ніжка ендопротеза для цементної фіксації, з одного боку, повинна мати поверхню з високим опором абразивному зносу про цемент, а з іншого боку, повинна мати високий запас пластичності і втомної міцності.

Тому був розроблений режим ТВО, що дозволяє отримати на поверхні високу твердість зі збереженням пластичної серцевини.

Режим ТВО для поверхневого зміцнення відрізняється відсутністю ізотермічної витримки після завершення процесу наводорожуючого відпалу.

Проведення вакуумного відпалу за розробленим режимом практично не призводить до зміни структури в центральній області зразка в порівнянні з вихідною. У міру наближення до периферійних областей відбувається її подрібнення, і на поверхні вона дуже мілкодисперсна (рис. 3.7).



x 500

поверхня

середина зразка

Рисунок 3.7 - Зміна мікроструктури по перетину зразка зі сплаву ВТ6 після ТВО

Така структура забезпечує отримання на поверхні твердості 40-42 HRC, а в серцевині 28-30 HRC. Дана обробка дозволяє отримати поверхнево зміцненого шару порядку 400-600 мкм, міцність ніжок - 1050 МПа, пластичність - 13% і межа витривалості на базі 107 циклів - 550 МПа.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі дипломної роботи розглядаються заходи безпеки при дослідженні недоліків термічного оброблення титанових сплавів, зокрема водневої крихкості.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Аналіз потенційних небезпек:

а) можливість ураження електричним струмом внаслідок невиконання правил з електробезпеки, несправності обладнання, відсутність заземлення, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

б) незадовільна організація робочого місця дослідника відносно вимог ергономіки, що може призвести до зниження працездатності;

в) небезпеки, пов'язані з визначенням хімічного складу дослідних матеріалів методом спектрального аналізу;

г) небезпеки, пов'язані з випробуванням механічних властивостей, випробувань на зносостійкість і на ударну в'язкість.

д) незадовільні параметри повітряного середовища в робочій зоні через неефективну роботу системи кондиціонування, що може призвести до загальних захворювань органів дихання та появи алергічних реакцій;

е) небезпеки, які пов'язані з використанням ПК при проведенні досліджень;

є) недостатній рівень освітленості приміщення дослідної лабораторії, внаслідок неефективності системи загального і штучного освітлення;

ж) можливість загоряння внаслідок порушення правил безпеки чи виходу з ладу обладнання може призвести до пожежі;

з) небезпеки, які пов'язані з умовами праці, зокрема в умовах надзвичайних ситуацій відсутність організації дій.

4.2 Заходи по забезпеченню загальної безпеки

Заходи по забезпеченню загальної безпеки:

а) Для виключення можливості ураження електричним струмом згідно з ПУЕ — 2011 «Правила устрою електроустановок» передбачається:

- Всі співробітники лабораторії повинні пройти навчання та перевірку знань з електробезпеки та у відповідності з НПАОП.0.00-7.11-12«Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [18]отримати 2-3 групу з електробезпеки. Періодично один раз на рік необхідно перевіряти опір заземлення, який не повинен перевищувати 4 Ом. Якість заземлення перевіряється щорічно з оформленням акту відповідно нормативних вимог ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [19].

- Періодично, не рідше ніж два рази на рік, передбачається перевіряти справність контактів електроз'єднань, штепсельних вилок з'єднувальних провідників. В тому випадку, якщо при дотику до не струмопровідних частин електроприводу відчувається електричний струм, передбачається вимикання приладу від електромережі. Ремонт електричного обладнання проводять особи, котрі мають кваліфікаційну' групу (не менше III групи) з електробезпеки.

-Усі ремонтні роботи на мікроскопі проводять тільки після повного відключення від електричної мережі. При зміні катоду після розкриття

електронної гармати перед тим, як доторкнутися рукою до фокусу чого електроду, треба зняти заряд з катодного вутла шляхом його заземлення.

-Усі ремонтно-монтажні роботи або огляд високовольтних частин мікроскопу проводити не менш, ніж двома особами.

Для захисту людей від ураження електричним струмом передбачено використовувати подвійну ізоляцію провідників.

б) Організація робочого місця передбачає:

- доцільнерозташування робочого місця у виробничому приміщенні;
- вибір ергономічно обґрунтованого робочого положення, меблів з урахуванням антропометричних характеристик людини;
- раціональне компонування обладнання на робочих місцях;
- урахування характеру та особливостей трудової діяльності.

Одна із найважливіших умов підвищення працездатності - якнайкраще організоване робоче місце. Робоче місце дослідника - це сукупність всього, що використовується в роботі, інакше кажучи меблі, комп'ютер, інші організаційно-технічні засоби.

На продуктивність розумової діяльності мають вплив відволікаючі, розсіюючі фактори: шуми, розмови, переміщення сторонніх осіб, невміння дослідника довгоконцентрувати увагу на об'єкті дослідження. Сукупність цих факторів слід враховувати при організації праці дослідника.

Важливе місце у продуктивності розумової праці відіграє звичка до місця роботи, робоча обстановка. Поняття робочої обстановки включає в себе робоче приміщення (кімната, кабінет, лабораторія, бібліотека); робочу зону (письмовий стіл, стілець, шафа, стелаж) і розташування предметів у ній, вологість і температура повітря навколишнього середовища, освітлення (природне, штучне); звукове поле (шум, вібрація). При цьому необхідно керуватись НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників».

Кожному дослідникові необхідно організувати робоче місце згідно з вимогами до технологічного процесу, обладнання, інструментів, пристосуванням та інших засобів праці.

Забезпечення сприятливих умов праці передбачає створення фізіолого-гігієнічного комфорту для виконання науково-дослідних робіт. Дослідники під час роботи працюють переважно сидячи за столом. Тому дуже важливо, щоб площа та об'єм робочою зони відповідали вимогам ГОСТ 12.2.032-78 «Робоче місце при виконанні робіт сидячи» [20] і складала 6 м² та 30 м³ відповідно.

Аналіз виявив, що висота стола в приміщенні лабораторії має відповідати висоті ліктів людини у положенні сидячи, висота стільця - висоті колінного суглоба над підлогою, беручи до уваги висоту каблука. Сидіння стільця не повинно бути плоским. Незначне заглиблення створює зручність для дослідника. Найкраще взагалі використовувати зручні та гігієнічні стільці з м'яким сидінням. Спинка стільчика повинна бути широкою і вигнутою, за формою спини людини. Вимоги до стула наведено в Частині 5 «Вимоги до компонування робочого місця та до робочої пози» ДСТУ ISO 9241-5:2004 «Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі» [21].

На столі не повинно бути зайвих речей. Оскільки погляд дослідника здебільшого спрямований на лівий бік стола, то в цьому напрямку розміщують ще не виконані документи, праворуч - виконані. Розміщуючи столи у лабораторії дослідника, потрібно прагнути до збільшення продуктивності праці при якнайменших витратах енергії. Одночасно потрібно звертати увагу на фізіолого-гігієнічні фактори і об'єм, площу, напрям денного світла і штучного освітлення, що падає на стіл.

в) Потенційно рентгенофлуоресцентні аналізатори становлять небезпеку, тим що містять в конструкції джерела радіаційного (рентгенівського) випромінювання і високої напруги. Джерелом випромінювання є рентгенівська трубка потужністю 4 - 10 Вт.

Живлення трубки здійснюється від високовольтного джерела живлення з номінальною напругою 40 кВ і вихідним струмом 0,5 мА.

Небезпека рентгенівського випромінювання полягає в спричинених ним негативні наслідки на здоров'я людини, а саме:

- зміна складу крові після опромінення в навіть невеликих надлишкових дозах. У цьому випадку зміни є оборотними;
- незворотні зміни складу крові під вплив тривалого надлишкового випромінювання;
- утворення катаракт;
- підвищення ризику захворювання на рак, в тому числі раки крові;
- раннє старіння;

В силу накладеного обмеження на потужність рентгенівського джерела портативних РФ-аналізаторів, їх енергія випромінювання не настільки висока як у стаціонарних, але при використанні цих приладів обов'язково беззастережне дотримання всіх правил експлуатації з керівництва користувача, «Норм радіаційної безпеки НРБ-99» і «Основних санітарних правил забезпечення радіаційної безпеки ОСПОРБ-99».

Друге джерело небезпеки - висока (40 кВ) напруга живлення рентгенівської трубки.

Ураження електричним струмом небезпечно тим, що викликає порушення координації, запаморочення з можливими травмами при падінні, спазми м'язів здатні спровокувати порушення дихання, і навіть зупинку серця. В силу особливостей поширення високої напруги, підвищена вологість, пил, мікротріщини в ізоляції і інші чинники здатні збільшити ймовірність ураження електричним струмом.

Конструкції мобільних рентгенівських спектрометрів провідних фірм-виробників розроблені з урахуванням жорстких вимог до безпеки, але гарантовано забезпечують захист тільки при строгому дотриманні персоналом всіх правил експлуатації і техніки безпеки. Проте, працівники, які експлуатують рентгенофлуоресцентні спектрометри, обов'язково повинні

мати II групу допуску до робіт на електроустановках з напругою вище 1000 В. Санітарні правила і норми СанПіН відносять операторів рентгенівських спектральних установок (приладів) до категорії А з обов'язковим періодичним медичним оглядом. Вагітні та жінки повністю звільняються від роботи на будь-яких рентгенівських приладах і установках від моменту підтвердження вагітності до закінчення грудного вигодовування.

г) Загальні вимоги з охорони праці для дослідника фізико-механічних випробувань:

1. До виконання механічних випробувань допускаються особи, вік яких дозволяється нормами законодавства, які пройшли медичний огляд в прийнятому порядку і не мають протипоказань до виконання даного виду робіт, які пройшли навчання за відповідною програмою, перевірку теоретичних знань і практичних навичок безпечних способів роботи, які отримали посвідчення за охорони праці та допущені до самостійної роботи в установленому порядку.

Перед допуском до самостійної роботи дослідник фізико-механічних випробувань (надалі «дослідник») повинен пройти стажування протягом перших 2-14 змін (залежно від кваліфікації працівника) під керівництвом спеціально призначеної особи.

2. Періодичний медичний огляд дослідник повинен проходити в порядку, встановленому Міністерством охорони здоров'я.

3. Періодичну перевірку знань з питань охорони праці дослідник повинен проходити не рідше одного разу на 12 місяців.

4. Дослідник повинен мати чітке уявлення про небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язаних з виконанням робіт і знати основні способи захисту від їх впливу основні шкідливі і небезпечні виробничі фактори: хімічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори, недостатня освітленість робочої зони, підвищена або знижена температура повітря робочої зони, гострі кромки, задирки і шорохуватість інструментів і обладнання.

Дослідник повинен:

- знати вимоги, викладені в інструкціях (паспортах) заводів-виготовлювачів обладнання та інструкції з охорони праці;
- знати будову устаткування, застосовуваного в лабораторії;
- знати вимоги електро- і пожежобезпеки при виконанні робіт і вміти користуватися засобами пожежогасіння;
- користуватися при виконанні робіт засобами індивідуального захисту, що видаються відповідно до Галузевими типовими нормами видачі засобів індивідуального захисту робітникам і службовцям організацій: халат х / б, фартух прогумований з нагрудником, рукавички гумові, окуляри захисні, куртка х / б на утеплювальній прокладці, чоботи гумові, вміти надавати долікарську допомогу потерпілому; виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку; знати санітарно-гігієнічні умови праці і дотримуватися вимог виробничої санітарії.

5. Дослідник не повинен наражатися на небезпеку і перебувати в місцях виконання робіт, які не належать до безпосередньо виконуючихся.

6. Дослідник зобов'язаний знати порядок повідомлення адміністрації про випадки травмування, появи небезпеки, що загрожує аварією або пожежею.

7. Про всі помічені несправності обладнання, приладів і пристосувань дослідник повинен повідомити безпосереднього керівника робіт і до їх усунення до роботи не приступати.

Основні заходи для виключення можливості отримання механічних травм:

- Організаційні - проведення інструктажів з охорони праці, при використанні виробничого обладнання. Перевірка знань і атестація персоналу, згідно з НПАОП 0.00.-4.12-05 "Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань по питанням охорони праці» [22].
- Технічні - використання кожухів, якими закривають обертаються або переміщаються частини механізмів згідно НПАОП 27.4- 7.15-86 «Огородження рухомих частин устаткування. Загальні технічні вимоги»

[23]. Також застосування огорожень згідно з "Оборудование производственное. Ограждения защитные" - ГОСТ 12.2.062-81. ССБТ [24]. Конструкція огорожень повинна попереджати потрапляння кінцівок в зону деформування, але також давати можливість безпечного обслуговування штампа.

е) Режим праці й відпочинку передбачає дотримання певної тривалості безперервної роботи на ПК і перерв, регламентованих з урахуванням тривалості робочої зміни, видів і категорії трудової діяльності.

За характером трудової діяльності виділено три професійні групи (табл 4.1), згідно з діючим класифікатором професій (ДК-003-95 і Зміна N I до ДК-003-95): група А - робота зі зчитування інформації з екрана з попереднім запитом; група Б - робота з введення інформації; група В - творча робота в режимі діалогу із ПК.

Таблиця 4.1 - Види категорій трудової діяльності із ПК

Категорія роботи по тяжкості й напруженості	Рівень навантаження за робочу зміну при видах роботи на ПК		
	Група А, кількість знаків	Група Б, кількість знаків	Група В, час роботи, год.
I	до 20000	до 15000	до 2,0
II	до 40000	до 30000	до 4,0
III	до 60000	до 40000	до 6,0

Категорії тяжкості й напруженості роботи на ПК визначаються рівнем навантаження за робочу зміну: для групи А - по сумарному числу знаків, що зчитуються; для групи Б - по сумарному числу знаків, що зчитуються, або знаків, що вводяться; для групи В - за сумарним часом безпосередньої роботи на ПК. У таблиці наведені категорії тяжкості й напруженості робіт залежно від рівня навантаження за робочу зміну.

При восьми-годинній робочій зміні й роботі на ПК варто призначити регламентовані паузи:

- для першої категорії – через 2 години від початку роботи й через 2 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна;

- для другої категорії робіт – через 2 години від початку роботи й через 1,5-2,0 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна або тривалістю 10 хвилин через кожну годину роботи;

- для третьої категорії робіт – через 1,5-2,0 години від початку зміни й через 1,5-2,0 години після обідньої перерви тривалістю 20 хвилин кожна або тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи.

При 12-годинній робочій зміні встановленої перерви повинні встановлюватися в перші 8 годин роботи подібно паузам при 8-годинній зміні, а протягом останніх 4-х годин роботи, незалежно від категорії й виду робіт, щогодини тривалістю 15 хвилин.

Тривалість безперервної роботи на ПК без встановленої перерви не повинна перевищувати 2-х годин.

Ефективними є нерегламентовані перерви (мікропаузи) тривалістю 1-3 хвилини.

Регламентовані перерви й мікропаузи доцільно використовувати для виконання комплексу вправ і гімнастики для очей, пальців рук, а також масажу, які наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПІН 3.3.2.007-98 [25].

Користувачам ПК, що працюють з високим рівнем напруженості, показане психологічне розвантаження під час регламентованих перерв і наприкінці робочої зміни в обладнаних приміщеннях (кімнатах психологічного розвантаження).

Всі професійні користувачі ПК повинні проходити обов'язкові попередні медичні перевірки до початку роботи, періодичні медичні

перевірки з обов'язковою участю терапевта, невропатолога й окуліста, а також проведенням загального аналізу крові і ЕКГ.

4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії і гігієни праці

д) Для створення якнайкращих метеорологічних умов враховують: холодний період року з середньодобовою температурою зовнішнього середовища нижче $+10^{\circ}\text{C}$ та теплий період з температурою $+10^{\circ}\text{C}$.

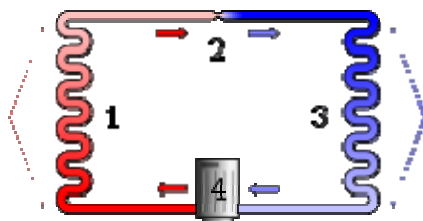
Кліматичні умови у виробничих приміщеннях – температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення, повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»[26] і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [27]. Роботи в офісному приміщенні, належать до категорії Іб - легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура $21-23^{\circ}\text{C}$; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

- у теплий період року: температура $22-24^{\circ}\text{C}$; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Для забезпечення і підтримки якнайкращого рівня параметрів мікроклімату широко застосовуються кондиціонери – пристрої для створення якнайкращих кліматичних умов в квартирах, будинках, офісах, автомобілях, а також для знезараження повітря в приміщенні. Кондиціонери та спліт-системи призначені для пониження температури повітря в приміщенні в теплу пору року, або (рідше) - в холодну пору року підвищення температури повітря в приміщенні. Крім основного завдання регулювання температури вони забезпечують вентиляцію приміщення, фільтрацію, зволоження та іонізацію повітря.

В процесі роботи кондиціонера відбувається наступне (рис. 4.1). На вхід компресора з випарника поступає холодоагент під низьким тиском в 3-5 атмосфер і температурою 10-20 °С. Компресор кондиціонера стискає холодоагент до тиску 15-25 атмосфер, внаслідок чого холодоагент нагрівається до 70-90 °С, після чого потрапляє в конденсатор. Завдяки інтенсивному обдуванню конденсатора, холодоагент остигає і переходить з газоподібної фази в рідку з виділенням додаткового тепла. Так, повітря, що проходить через конденсатор, нагрівається. На виході конденсатора холодоагент знаходиться в рідкому стані, під високим тиском і з температурою на 10-20 °С вище за температуру атмосферного (зовнішнього) повітря. З конденсатора теплий холодоагент потрапляє в терморегулюючий вентиль, який в простому випадку є капіляром (довгу тонку мідну трубку, звиту в спіраль). На виході терморегулюючого вентиля тиск і температура холодоагенту істотно знижуються, частина холодоагенту при цьому може випаруватися. Після пристрою (капілярної трубки або ТРВ), що дроселює, суміш рідкого і газоподібного холодоагенту з низьким тиском поступає у випарник. У випарнику рідкий холодоагент переходить в газоподібну фазу з поглинанням тепла, відповідно, повітря, що проходить через випарник, остигає. Далі газоподібний холодоагент з низьким тиском поступає на вхід компресора і увесь цикл повторюється.



1 – конденсатор; 2 - терморегулюючий вентиль; 3 – випарник; 4 – компресор

Рисунок 4.1 – Принцип дії кондиціонера.

Крім параметрів мікроклімату на збереження працездатності людини впливають рівні позитивних ($n+$) і негативних ($n-$) іонів у повітрі. Рівень іонізації повітря приміщень з ВДТ повинен відповідати вимогам ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень» [28] і становить: $n+=1500-30000$ (шт. на 1см^3); $n- = 3000-5000$ (шт. на 1см^3). Підтримка оптимального рівня легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях забезпечуються за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

є) Освітлення приміщень лабораторії відіграє найважливішу роль у забезпеченні збереження здоров'я та працездатності дослідників, які працюють в лабораторіях. Згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» [29] передбачено природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснюється через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлюються жалюзі або штори. Системою загального рівномірного освітлення здійснюється штучне освітлення в лабораторії. Норма освітленості на робочий поверхні становить 200-300 лк. В якості джерел штучного освітлення в приміщенні використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛД.

4.4 Заходи з пожежної безпеки

ж) До заходів щодо пожежної профілактики відносяться організаційні (правильна експлуатація машин, утримання будівель, організація дружин, пожежно-технічних комісій, видання наказів з питань посилення пожежної безпеки, тощо); технічні (дотримування протипожежних правил, норм при

проектуванні будівель, при улаштуванні електроустаткування, опалення, вентиляції та ін.); експлуатаційні заходи (своєчасні профілактичні огляди, ремонт та випробування обладнання); заходи режимного характеру - де заборона палити в невстановлених місцях, виконання зварювальних робіт.

Приміщення лабораторії електронної мікроскопії у відповідності до СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания промышленных предприятий Нормы проектирования» [30] є пожежонебезпечним і відноситься до категорії Д (виробництва, що переробляють негорючі матеріали в холодному стані). Для даної категорії у випадку, якщо допустима кількість поверхів не обмежується, ступінь вогнестійкості будівель - I і II, площа поверху між протипожежними стінами будівель не обмежується.

У відповідності з вимогами СПиП 2.01.02-85 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений» [31], передбачаються шляхи евакуації працівників у випадку пожежі (евакуаційні виходи). Для категорії виробництва Д, незалежно від об'єму приміщення, для I і II ступеню вогнестійкості будівель, відстань від найбільш віддаленою робочою місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується. Запроектовано використовувати обладнання, силові і освітлювальні мережі, котрі відповідають вимогам пожежної безпеки.

Оточуюче середовище в лабораторії - невибухонебезпечне (не містить значної кількості струмопровідного пилу, водяної пари, агресивних газів та парів в концентраціях, які негативно впливають на обладнання, матеріали та ізоляцію).

Застосування автоматичних засобів пожежної сигналізації дозволяє сповістити персонал про пожежу і місце її виникнення.

Передбачено наявність в лабораторії одного порошкового вогнегасника типу ОП-5 (клас пожежі Д - пожежі металів та їх сплавів). Розташовується вогнегасник при вході у дослідницьку лабораторію. Відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не повинна перевищувати 10 м.

При виникненні пожежі в дослідницькій лабораторії необхідно; негайно викликати пожежну частину за телефоном (9-101) прийняти міри до евакуації співробітників, вимкнути обладнання від електромережі, вжити заходи щодо обмеження розповсюдження пожежі, сповістити адміністрацію та керівника лабораторії, покинути небезпечну зону і приступили до ліквідації пожежі первинними засобами пожежогасіння (вогнегасником, що розташовується при вході в лабораторію).

4.5 Заходи з цивільної охорони

з) Керівники об'єктів повинні передбачити управління надзвичайними ситуаціями. Для задачі забезпечення безпеки людини в НС стратегія управління повинна включати здійснення трьох цілей:

- Запобігання причин виникнення
- Запобігання найекстремальніших ситуацій;
- Пом'якшення, максимальне послаблення наслідків надзвичайних ситуацій.

Перший варіант запобігання причин виникнення надзвичайних ситуацій розроблена, щоб не допускати таких дій або процесів, які несуть загрозу населенню. Дана стратегія виконується або відмовою від будівництва небезпечних об'єктів, або знищенням чи перепрофілюванням виробництв - джерел підвищеної небезпеки.

Другий варіант, запобігання самої НС –спрямований, щоб не допустити, виходу небезпечного процесу з-під контролю шляхом використання надійних аварійних систем, сигналізації, автоматики та інших заходів з підвищення надійності і стійкості роботи підприємств, а також шляхом заходів евакуації.

Третя стратегія - пом'якшення наслідків - орієнтується на ослаблення локалізацію наслідків НС. Цей варіант має першочергове значення в управлінні стихійними лихами і ситуаціями «комбінованого» типу.

Найбільший ефект дає керування разом всіма трьома варіантами, особливо при аваріях техногенного характеру для реалізації кожної із стратегій управління необхідно розробляти і приймає комплекс превентивних та оперативних заходів.

Превентивні:

- аналізування і виявлення причин, що ведуть до катастрофи;
- прогнозування вогнищ ураження, втрат і збитків на підприємстві;
- заходи з підвищення стійкості;
- обґрунтування сил і засобів для проведення дій з локалізації вогнищ ураження та пошуково-рятувальних робіт;
- навчання робітників способам захисту;
- підготовка надійного КП управління.

Оперативні:

- оповіщення про НС;
- проведення всіх видів дослідження та оцінки обстановки;
- проведення першочергових захисних заходів (укриття в ЗС. евакуація.
- використання сил постійної готовності для локалізації катастрофи;
- надання першої медичної та першої лікарняної допомоги;
- нарощування сил і засобів в ОП за рахунок залучення формувань підвищеної готовності;
- якнайшвидше постачання постраждалих продовольством та іншими життєво необхідними засобами;
- введення аварійно-відновлювальних заходів.

При виникненні НС організовується надзвичайне управління, яке складається з чотирьох стадій ліквідації наслідків.

1. Стадія прийняття екстрених заходів. Ціль - включити механізм управління і вчасно зреагувати на НС. Основна мета початкової стадії - встановлення факту НС, попередня оцінка обстановки в зоні лиха і масштабів наслідків, мобілізація і встановлення оперативних завдань органам надзвичайного управління, віддача розпоряджень на залучення служб для допомоги постраждалим, сприяння місцевим органам управління в організації рятувальних робіт і локалізації зони лиха власними силами; інформування населення та вищих органів управління про НС та вжиті заходи. Тривалість початкової стадії - 1-10 годин.

2. Стадія оволодіння ситуацією та організації управління в зоні лиха, складається у плануванні та організації рятувальної операції. Задача: якнайкраще у всіх деталях дослідити обстановку, першочергово прийняти обґрунтоване рішення і скласти план ліквідації наслідків НС; підрахувати сили і засоби, ресурси для всього комплексу заходів в зоні лиха, організувати чітку взаємодію всіх залучених сил і аварійних служб. Тривалість другої стадії - від декількох годин до кількох діб.

3. Основна і визначальна стадія. Ціль-змінити надзвичайний характер ситуації: відновити безпеку населення в зоні лиха, прибрати загрозу життю і здоров'ю всім постраждалим, створити мінімальні умови для життєдіяльності населення, що залишилося. Завдання: організувати в найкоротші строки рятувальних робіт на всіх постраждалих об'єктах зони лиха, надання допомоги потерпілим для захисту їх життя, здоров'я і підтримання життєздатності в екстремальних умовах; евакуація постраждалих із зони лиха та їх життєзабезпечення; терміновому проведенні аварійно-відновлювальних робіт на системах тепло-, водо-, газо-, електричних системах і зв'язку в зоні лиха. Тривалість - кілька діб - кілька тижнів.

4. Стадія відновлення, тобто економічне, соціальне, культурне та екологічне відновлення зони лиха. Органи надзвичайного управління передають функції постійної дії місцевим органам управління. Розробляється програма з черговістю комплексу дій з реабілітації постраждалої зони.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Характеристика ринку титанових ендопротезів

Світовий ринок виробів медичного призначення по різному оцінюється різними компаніями, проте, в цілому, може бути оцінений в 250-270 млрд. дол. США у 2015 році в залежності від звітності компаній. Так, велика частина великих компаній, представлених в секторі, працює не тільки з виробами медичного призначення, а й з фармацевтичними засобами і послугами в області охорони здоров'я і часто розміри продажів неможливо розділити за сегментами[32]. Значна частина виробів медичного призначення, що виробляються в світі споживається США, Японією і країнами Західної Європи - розподіл одержуваного прибутку за географічним принципом представлено на малюнку 5.1.

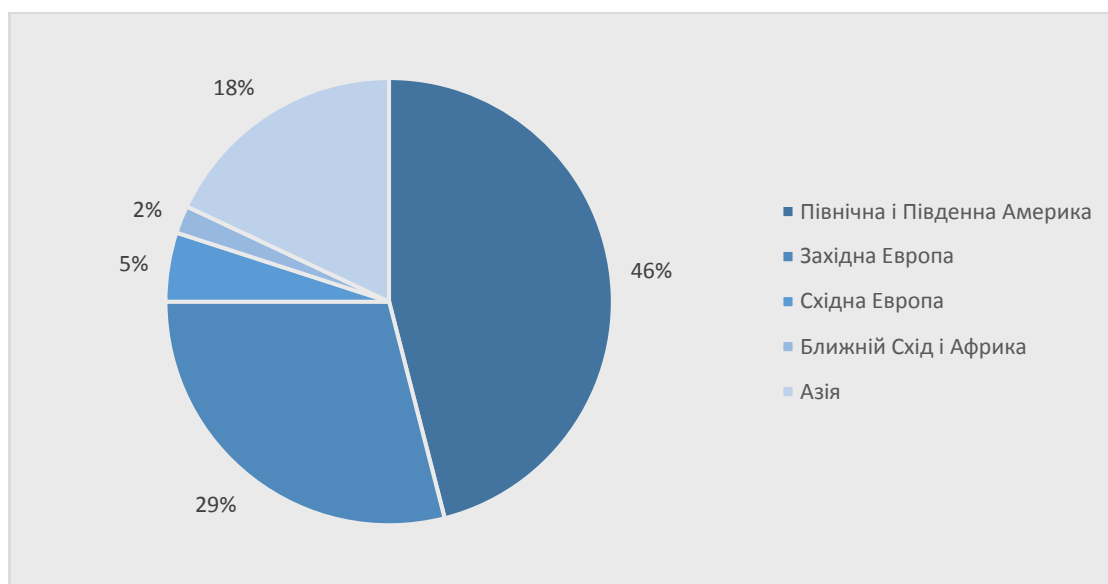


Рисунок 5.1 - Частки основних регіонів в споживанні виробів медичного призначення

Основними матеріалами, які використовуються для виготовлення імплантатів, є металеві сплави (титанові, кобальтові, нержавіючі сталі),

полімери та кераміка. Незважаючи на інтенсивне зростання використання в виробках, що імплантуються, полімерів і керамічних матеріалів, металеві матеріали зберігають свою провідну роль (близько 60% всіх імплантатів). Частку виробів з титанових сплавів можна оцінити приблизно в 28% або 500 тис. грн. (Рис. 5.2).

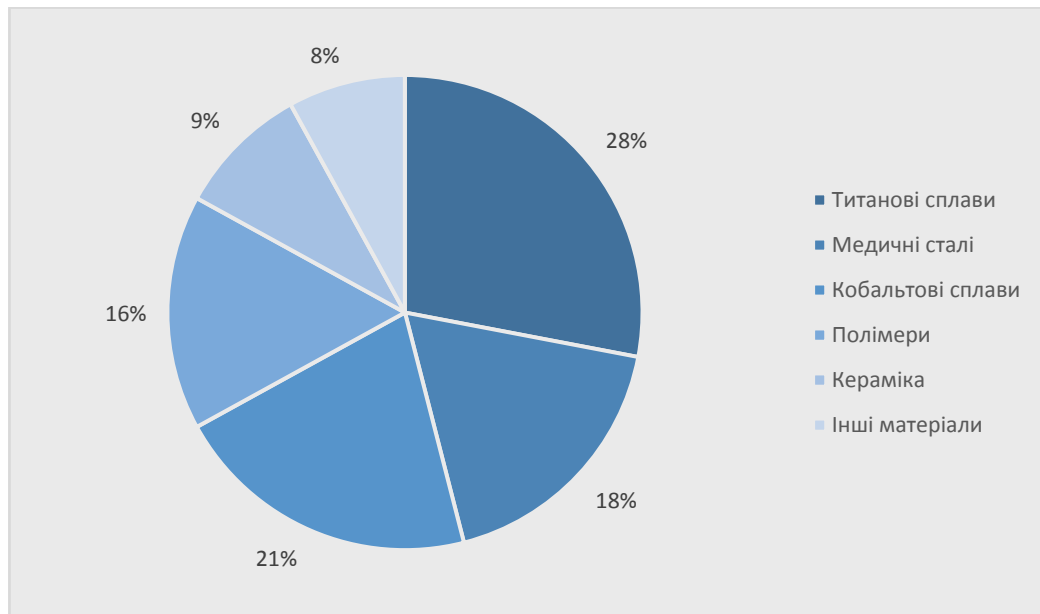


Рисунок 5.2 – Основні матеріали, які використовуються для виготовлення імплантатів

Металеві матеріали, які використовуються для виготовлення імплантатів, повинні володіти корозійною стійкістю, біологічною інертністю, високим комплексом фізико-механічних властивостей і відносно низькою вартістю. За першими двома показниками титанові сплави значно випереджають своїх конкурентів – нержавіючі сталі і кобальтові сплави [33].

За абсолютним значенням міцності сплав Ti-6Al-4V не поступається кобальтовим сплавам і перевершує нержавіючі сталі. За питомою міцністю титановий сплав перевершує «конкурентів» у 2 - 2,5 рази. Крім того, слід зазначити, що модуль пружності у титанових сплавах в два рази нижче, ніж у сталі і кобальтових сплавів. Для медичного застосування (імплантатів для

остеосинтезу, ендопротези кісткових структур, суглобів і т.д.) це є великою перевагою, так як забезпечує більш високу механічну сумісність імплантату з щільними кістковими структурами організму, у яких модуль пружності складає 5,20 ГПа.

Порівнюючи вартість основних типів напівфабрикатів медичних сплавів, можна відмітити, що титанові сплави в цьому відношенні поступаються тільки нержавіючим сталям, перевершуючи кобальтові сплави в кілька разів. Все це дозволяє прогнозувати найкращі перспективи використання титанових сплавів в якості матеріалу для імплантатів.

Ринок виробів медичного призначення України скорочується в зв'язку з різким падінням курсу гривні, економічними труднощами в країні і скороченням держпідтримки медичної галузі. Так, в 2012-2013 році ринок виробів медичного призначення України оцінювався в 250-260 млн. дол. США, в 2014 році - в 215 млн. дол. США, в 2015 році - за попередніми оцінками - менше ніж 200 млн. дол. США.

5.2 Економічне обґрунтування наукового дослідження

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання технології термічної обробки ендопротезів зі сплаву VT 6.

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні показники виробів

Найменування	Базовий виріб	Новий виріб
1. Ендопротез	VT 6	VT 6
2. Технологія зміцнення	Відпал, гартування, старіння	Вакуумний відпал, гартування, старіння
3. Програма випуску	10000	10000

Вартість сировини і основних матеріалів розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 - Вартість основних матеріалів при термічній обробці

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма використання	Ціна, грн	Вартість, грн
Водень	40 л	500 грн.	500 грн.
Вода технічна	0,05 м. куб	250 грн.	12,5 грн.
Разом			512,5 грн.

Собівартість продукції є економічним та фінансовим показником діяльності підприємства, характеризує ефективність управління і є основою розрахунку ціни. Ціна визначається за формулою [34]:

$$Ц = С + П, \text{ грн.}$$

де Ц – ціна виробу, грн.;

С – собівартість виробу, грн.;

П – прибуток, грн.

Собівартість продукції представляє вартісну оцінку природних ресурсів таких як сировина, основні матеріали, паливо, енергія, основні засоби, трудові ресурси, а також інші витрати на виробництво та продаж продукції. Собівартість відображає величину поточних витрат, які мають виробничий, некапітальний характер та забезпечують процес простого відтворення. Собівартість є економічною формою відтворення спожитих факторів виробництва. Повна собівартість виробу розраховується за формулою:

$$С = М + К + ЗО + ЗД + ВС + ЗВВ + АВ + ВЗ, \text{ грн}$$

де М - вартість сировини і основних матеріалів, грн;

К - вартість купівельних комплектуючих виробів, грн;

ЗО-основна заробітна плата основних виробничих робітників, грн;

ЗД - додаткова заробітна плата основних виробничих робітників, грн;

ВС - відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників, грн;

ЗВВ - загально виробничі витрати, грн;

АВ - адміністративні витрати, грн;

ВЗ - витрати на збут, грн.

Виробнича собівартість виробу (Св) визначається за формулою:

$$Св = М + К + ЗО + ЗД + ВС + ЗВВ, \text{ грн}$$

Калькуляція собівартості і ціни продукції наведена в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Калькуляція собівартості термічної обробки

	Статті витрат	Сума до модернізування, грн	Сума після модернізування, грн
	1	2	3
1	Матеріали на термічну обробку	12,5 грн.	512,5 грн.
2	Електроенергія	2,53грн*(15кВт-год * 0,17 год) = 6,45 грн	2,53грн*(30кВт-год * 0,17 год) = 12,9 грн
3	Основна заробітна плата основних виробничих робітників	40 грн/год	40 грн/год
4	Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	8 грн/год	8 грн/год

	1	2	3
5	Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	10,56 грн	10,56 грн
6	Загальновиробничі витрати	$40 \times \frac{400}{100} =$ 160грн/год	$40 \times \frac{400}{100} =$ 160грн/год
7	Собівартість виробнича	237,51 грн/год	743,96 грн/год
8	Адміністративні витрати	$\frac{40 \times 500\%}{100}$ = 200 грн.	$\frac{40 \times 500\%}{100}$ = 200 грн.
9	Витрати на збут	$\frac{237,51 \times 2\%}{100}$ = 4,75грн.	$\frac{743,96 \times 2\%}{100}$ = 14,88грн.
10	Повна собівартість	542,26грн.	958,84

Повна собівартість виробу до модернізування:

$$C_1 = 12,5 + 6,45 + 40 + 8 + 10,56 + 160 + 200 + 4,75 = 542,26 \text{ грн.}$$

Повна собівартість виробу після модернізування:

$$C_2 = 512,5 + 12,9 + 40 + 8 + 10,56 + 160 + 200 + 14,88 = 958,84 \text{ грн}$$

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

$$П = C \times \frac{P}{100} = 958,84 \times \frac{30}{100} = 287,65 \text{ грн.}$$

Ціна модернізованого виробу складає:

$$Ц = C + П = 958,84 + 287,65 = 1246,49 \text{ грн.}$$

Податок на додану вартість згідно законодавства становить 20% від оптової ціни:

$$ПДВ = Ц \times \frac{Н_{ПДВ}}{100} = 1246,49 \times \frac{20}{100} = 249,3 \text{ грн.}$$

Ціна продажу розраховується за формулою:

$$Ц_{пр} = Ц + ПДВ = 1246,49 + 249,3 = 1495,79 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від впровадження розробок:

$$E = (C_1 \times K_{e.p.} - C_2)n = (542,26 \times 1.8 - 958,84) \times 10000 = \\ = 17,23 \times 10000 = 172280 \text{ грн.,}$$

де C_2 – собівартість після модернізування, C_1 – собівартість до модернізування, $K_{e.p.}$ – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу.

При високих температурах титановий сплав ВТ6 активно взаємодіє з киснем, азотом, воднем і іншими газами. Внаслідок цього деталі з титанового сплаву потрібно нагрівати в вакуумних печах або в середовищі інертних газів (застосування газових або електричних печей з повітряною атмосферою не рекомендується), тому використання вакуумних печей замість електричних з повітряною атмосферою доцільне. Використання водню в якості захисного середовища дозволяє подрібнити структуру вихідного сплаву, а отже покращити його механічні властивості.

Після економічних розрахунків визначено, що собівартість ніжки ендопротеза тазостегнового суглоба збільшилась завдяки додавання до процесу термічної обробки середовища, насиченого воднем. Але за рахунок покращення механічних властивостей збільшився строк експлуатації. Завдяки цьому нами очікується економічний ефект $E = 172280$ грн.

ВИСНОВОК

В даній дипломній роботі дослідити хімічний склад і механічні властивості титанового сплаву для виготовлення медичних інструментів і протезів.

З'ясували, що організм людини добре переносить конструкції з титанових сплавів. Вони стійкі до корозії в агресивних середовищах людського тіла. На їх поверхні утворюється оксидна плівка, яка перешкоджає виходу іонів імплантату в організм. Тканини навколо таких імплантатів не змінюються. Також титанові сплави дуже міцні, здатні витримувати велике навантаження. Вони міцніше, ніж хром, нікель, нержавіючі сталі.

Розглянули питання прояви водневої крихкості, обумовленої наводорожуванням металу при технологічних процесах виготовлення зварних, литих і кованих конструкцій. Дійшли до висновку, що для запобігання водневої крихкості вміст водню в сплавах потрібно обмежувати.

З'ясували, що термоводнева обробка дозволяє здійснювати ефективно перетворення структури титанових сплавів в твердому стані і, відповідно, отримувати необхідні поєднання властивостей оброблюваного напівфабрикату або готового виробу.

Перелік посилань

1. Цвиккер У. Титан и его сплавы : Пер. с нем.. М.: Металлургия, 1979. 512 с.
2. Ильин А.А., Колачев Б.А., Польшкин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства : справочник. М. : ВИЛС-МАТИ, 2009. 520 с.
3. Хорев А.И. Комплексное легирование и термомеханическая обработка титановых сплавов: научн. пособ. М. : Машиностроение, 1979. 228 с.
4. Тавадзе Ф.Н., Манджгаладзе С.Н. Коррозионная стойкость титановых сплавов : учебник. М.: Металлургия, 1969. 208 с.
5. Иголкин А. И. Титан в медицине: научн.-тех.пособ. М. : Титан, 1993. 90с.
6. Неверов В.А. Ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава : научн. пособ.СПб. : Образование, 1997. 112с.
7. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов: справочник / под ред. В.Г. Сорокина: научн. пособ. М. : Машиностроение, 1989. 640с.
8. Колачев Б.А., Ливанов Б.А., Буханова А.А. Механические свойства титана и его сплавов : научн. пособ.М. : Металлургия, 1974. 544 с.
9. Загородний Н.В. и др. Эндопротезирование тазобедренного сустава тотальным цементным эндопротезом «СФЕН». *Вестник РУДН, серия Медицина*. 2001. №2. С. 90.
10. Костин П.П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов:учебное пособие для профессионально-технических училищ : научн. пособ. М. : Машиностроение, 1990. 256 с.
11. Колачев Б.А. Водородная хрупкость титана и его сплавов. *Металловедение и технология* : научн. пособ. М.: ВИЛС, 1977. т. 1, 448 с.

12. Спивак Л.В., Скрябина Н.П., Кац М.Я. Водород и механическое последствие в металлах и сплавах: научн. пособ. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1993. 344 с.
13. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: справочник. М.: ВИЛС-МАТИ : 2009. 520 с.
14. Назимов О.П., Ильин А.А., Коллеров М.Ю. О состоянии водорода в титане. *Журнал физ. химии*. 1980. № 54.С. 2774-2777.
15. Полькин И.С. Упрочняющая термическая обработка титановых сплавов: научн. пособ. М.: Металлургия. 1984. 96 с.
16. Колачев Б.А., Талалаев В.Д. Водородная технология титановых сплавов: научн. пособ. М. :Титан. 1993. т. 1. 46с.
17. Ильин А.А., Мамонов А.М., Коллеров М.Ю. Термоводородная обработка новый вид обработки титановых сплавов.*Перспективные материалы*.1997. №1, С. 5-14.
18. НПАОП.0.00-7.11-12. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників. [Чинний від 2012-03-16]. Вид. офіц. Київ : МНС України, 2012.37с.
19. ГОСТ 12.1.019-79.Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [Утвержден от1979-07-17]. Изд. оф. Москва, 1979. 7с.
20. ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее місце при виконанні робіт сидячи.[Чинний від 1979-01-01]. Вид. оф. Москва, 1979. 4с.
21. ДСТУ ISO 9241-5:2004. Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. [Чинний від 2006-01-01].Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 11с.
22. НПАОП 0.00.-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань по питанням охорони праці. [Чинний від 2005-01-26].Вид. офіц. Київ : Держкомітет України, 2005. 12с.

23. НПАОП 27.4-7.15-86. Огородження рухомих частин устаткування. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 1988-01-01]. Вид. оф. Москва, 1988. 19с.
24. ГОСТ 12.2.062-81. ССБТ. Оборудование производственное. Ограждения защитные. [Чинний від 1981-10-30]. Вид. оф. Москва, 1981. 4с.
25. ДСанПІН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний від 1998-10-12]. Вид. офіц. Київ : Главсанепідуправління України, 1998. 8с.
26. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. Вид. офіц. Київ : Главсанврач України, 1998. 24с.
27. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Утвержденот1989-01-01]. Изд. офиц. Москва, 1989. 49с.
28. ГН 2152-80. Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений. [Утвержденот1980-02-12]. Изд. офиц. Москва, 1980. 8с.
29. ДБН В.2.5-28-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2006-05-38]. Вид. офіц. Київ, 2006. 13с.
30. СНИП 2.09.02-85. Производственные здания промышленных предприятий Нормы проектирования. [Утвержденот1987-01-01]. Изд. офиц. Москва : ЦНИИпромзданий, 1987. 18с.
31. СПиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений. [Утвержденот1985-12-17]. Изд. офиц. Москва, 1985. 15с.
32. М.Ю. Коллеров и др. Проблемы и перспективы применения титановых сплавов в медицине. *Титан*. 2015. №2. С. 43-45. URL: https://www.implants.ru/files/Science/articles_technology/38.pdf.

33. Виленский А.В., Деханова А.И. Рынок медицинских изделий: итоги 2013г. *Медитэкс*. 2014. июль-август. С.6-9. URL: http://remedium.ru/section/detail.php?ID=63192&spphrase_id=3736961.

34. Круглікова В.В. Методичні вказівки до виконання економічного розділу науково-дослідницьких дипломних проектів : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. 32 с.