

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний інститут, Машинобудівний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Обробка металів тиском
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження процесу ушілювання фрикту
при виготовленні деталей з поданою користістю
з титанового сплаву

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи Мз-819М

Спеціальності 191 - "Прикладна металіка"
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Обладнання та технології швастного
формування конструкцій машинобудівних
(прізвище та ініціали)

Керівник Мамноєн А. Ю.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Форма № 25

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет МІМФ
 Кафедра Обробка металів тиском
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 131 - Прикладна механіка
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Будівництво та технології машинобудування
назва освітньої програми (спеціалізації)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20 _____ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Семенюк Алона Андріївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Фослідження процесу уцілювання тріскату при виготовленні деталей з доданою корисністю з титанового порошку

керівник проєкту (роботи) Машинист А. Ю. доц. канд. техн. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » _____ 20 _____ року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 18.12.2020


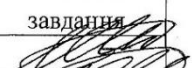

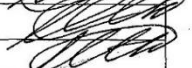
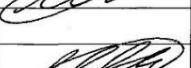

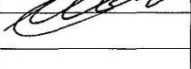
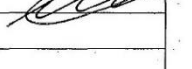


3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Звіт з підприємствої практики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вивед способів отримання титану та титанової дрільованої титанових порошкових смістей 2. Практика отримання деталей засобами порошкової металургії 3. Розробка технології гідроетапного брехтубання порошків та відсівів субсального мистаку 4. Скорона праці

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

Презентація

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Матюхін А.Ю. доц. каф. ОМТ		
2	Матюхін А.Ю. доц. каф. ОМТ		
3	Матюхін А.Ю. доц. каф. ОМТ		
4	Костров В.В. доц. каф. ОМТ		
Нарма контролю	Матюхін А.Ю. доц. каф. ОМТ		

7. Дата видачі завдання « 1 » вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Срок виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Вивчення способів отримання титану та технології фізичного випалювання карбонатових порошків титану.	01.10.20 - 13.10.20 16.10.20 -	
2.	Технологія отримання деталей зроблених порошковою металургією	16.10.20 - 19.11.20	
3.	Розробка технології виробництва брешт-ванна карбонатів та відривів з'являючого титану	20.11.20 - 04.12.20	
4.	Виробка пружин	08.12.20 - 18.12.20	

Студент(ка)


(підпис) А.А. Сивенко
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис) А.Ю. Матюхін
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 82 стор., 13 мал., 9 табл., 60 джерела.

Об'єкт дослідження – процес гарячого ізостатичного пресування титанового порошку

Мета роботи - розробка технології гідростатичного брикетування порошків та відсівів титанової губки.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні питання:

– аналіз способів виготовлення титанової сировини та технологій ущільнення титанових порошкових сплавів;

- встановлені залежності ущільнення порошку титану при пресування від тиску;

- встановлений оптимальний тиск гідростатичного формування.

Метод розрахунків – стандартні методики розрахунків у технології виготовлення деталей засобами порошкової металургії.

Отримані результати – розроблена технологія гідростатичного брикетування порошків та відсівів титанової губки у гумових оболонках через бар'єрний шар та відпрацьована технологія їх гарячого ізостатичного пресування з нагрівом опором на зразках діаметром до 150мм.

Зіставляючи вплив тиску пресування на відносну щільність встановлений оптимальний тиск гідростатичного формування, що знаходиться в межах 120...140 МПа.

ТИТАН, УЩІЛЬНЕННЯ, ГІДРАСТАТИЧНЕ ФОРМУВАННЯ, ДЕФОРМАЦІЯ, ТИСК, БРИКЕТ, ГУБКА ТИТАНОВА, ПОРОШКОВА МЕТАЛУРГІЯ, ЩІЛЬНІСТЬ, КОЕФІЦІЄНТ ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛУ

ABSTRACT

EN: 82 pages, 13 figures, 9 tables, 60 sources.

The object of research is the process of hot isostatic pressing of titanium powder

The purpose of the work is to develop the technology of hydrostatic briquetting of powders and screenings of titanium sponge.

To achieve this goal, the following issues were resolved:

- analysis of methods of manufacturing titanium raw materials and technologies of compaction of titanium powder alloys;
- established dependences of compaction of titanium powder during pressing on pressure;
- the optimum pressure of hydrostatic formation is established. Method of calculations - standard methods of calculations in the technology of manufacturing parts by means of powder metallurgy.

The obtained results are the developed technology of hydrostatic briquetting of powders and screenings of titanium sponge in rubber shells through the barrier layer and the developed technology of their hot isostatic pressing with resistance heating on samples up to 150 mm in diameter. Comparing the influence of pressing pressure on the relative density, the optimal pressure of hydrostatic molding, which is in the range of 120 ... 140 MPa.

TITANIUM, SEALING, HYDRASTATIC FORMATION, DEFORMATION, PRESSURE, BRIQUETTES, TITANIUM SPONGE, POWDER METALLURGY, DENSITY

Зміст

Вступ.....	7
1. ОГЛЯД СПОСОБІВ ОТРИМАННЯ ТИТАНУ ТА ТЕХНОЛОГІЙ УЩІЛЬНЕННЯ ТИТАНОВИХ ПОРОШКОВИХ СПЛАВІВ.....	10
1.1 Технології отримання титанової сировини.....	10
1.2 Сучасний стан технології та теорії ущільнення титанових порошкових сплавів.....	16
2. ПРАКТИКА ОТРИМАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗАСОБАМИ ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ.....	29
2.1 Технологія пресування	29
2.2. Отримання порошку.....	30
2.3. Холодне ізостатичне пресування.....	32
2.4 Підігрів капсули.....	33
2.5 Гаряче ізостатичного пресування.....	34
2.6 Отримання готової продукції.....	35
3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ГІДРОСТАТИЧНОГО БРИКЕТУВАННЯ ПОРОШКІВ ТА ВІДСІВІВ ГУБЧАТОГО ТИТАНУ.....	37
3.1 Гідростатичне пресування в гумових оболонках крізь бар’єрний шар на зразках діаметром до 150 мм.....	37
3.2 Аналіз способів підвищення ефективності гідростатичних установок в процесах обробки під високим тиском різноманітних матеріалів.....	51
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	65
4.1. Аналіз потенційних небезпек.....	65
4.2 Заходи з забезпечення безпеки.....	66
4.3 Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці.....	71
4.4 Заходи з пожежної безпеки.....	73
4.5 Заходи з забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	74
ВИСНОВКИ.....	76
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	77

ВСТУП

Останнім часом порошкова металургія титану привертає все більшу увагу. Це викликано цілим рядом причин, починаючи від можливості значного зниження вартості і підвищення якості кінцевих виробів, ефективного використання або повернення в виробництво відходів титану і закінчуючи подоланням масштабного фактора: можливістю організації обробки титану на обладнанні малої потужності на порівняно невеликих підприємствах, а також створенням і освоєнням нових виробів для нетрадиційних областей використання титану.

Переваги класичної порошкової металургії (далі – ПМ) полягають у високому коефіцієнті використання металу (далі - КВМ), значне зниження трудовитрат при виробництві виробів. ПМ титану відкриває можливість розробки сплавів нових композицій з більш високим рівнем легування, що володіють поліпшеним комплексом фізико-хімічних характеристик і механічних, конструкційних і службових властивостей, забезпечує більш однорідний хімічний склад і дрібнозернисту структуру виробів, ізотропність властивостей по різних зонах і напрямках. Все це дуже вдало вписується в рішення назрілих завдань і проблем металургії титану. Титанові порошки добре формуються і спікаються, вироби з них, яким в процесі виготовлення можна надати досить складну форму, зберігають всі переваги компактного металу і набувають нові позитивні властивості. Основними областями застосування продукції ПМ титану і його сплавів залишаються авіа- і космічна, а в перспективі і автомобільна техніка.

Технологія отримання спечених деталей по схемі «холодне пресування – спікання» (далі - ХПС) забезпечує фізико-механічні властивості виробів на рівні властивостей матеріалу, отриманого за класичною технологією лиття або обробкою тиском злитків титану. При температурах спікання 1000-1200 ° С в атмосфері інертного газу або під вакуумом поверхнева оксидна плівка частинок

титану активно і легко дифундує в глиб металу, відкриваючи ювенільні поверхні і сприяючи спікання матеріалу. Такий спосіб здійснюється на стандартному обладнанні підприємств ПМ, але в даний час прийнятний в основному для отримання порівняно малогабаритних виробів.

Якщо властивості титанових виробів, отриманих методом ХПС, недостатньо гарні, для отримання характеристик, що відповідають рівню стандартного прокату, використовують процеси гарячого пресування (далі -ГП) і штампування, які мають хороші техніко-економічні показники: КВМ порошкової шихти - 0,8-0,9 (при використанні прокату - 0,5-0,6), собівартість деталей істотно знижується за рахунок зменшення обсягів подальшої механічної обробки. Процеси ГП і штампування дозволяють отримувати різні типорозміри малогабаритних конструкційних титанових деталей - від заготовок корпусів годинників та металевих виробів (гайок) до виробів високоточного морського приладобудування. Методами гарячого пресування з електролітичних порошоків можливо виробництво труб з властивостями, близькими до властивостей труб з литого металу.

Найкращими властивостями і більшою глибиною спікання характеризуються вироби, одержані із застосуванням гарячого ізостатичного пресування (далі - ГІП), екструзії або гарячої прокатки. Однак в цих випадках, особливо в двох останніх, необхідні спеціальне обладнання і інертна атмосфера для захисту поверхні титану від газових забруднень. Дефіцитність такого обладнання - головна проблема, яка стримує широке впровадження ПМ титану при виробництві великогабаритної, довгомірної продукції і листів. До теперішнього часу завершені технологічні, апаратурні і наукові розробки, що забезпечують широке промислове впровадження ПМ в металургію титану. Ці рішення добре освітлені в технічній літературі. Наведемо лише деякі з них. Вироби особливо складної форми і змінного хімічного складу з порошкових титанових сплавів, отримані за технологією прямого ГІП в капсулах спеціальної конструкції, знаходять застосування в авіакосмічному та енергетичному машинобудуванні при виготовленні деталей двигуна і планера,

дисків, лопаток, крильчаток для перекачування активних і криогенних компонентів, роторів електродвигунів, а також хімічної та медичної промисловості, для деталей з антикорозійним покриттям, в тому числі з матеріалів з ефектом пам'яті форми; при виготовленні інструментів для обробки тиском з покриттями і вставками з матеріалів зі спеціальними властивостями, тощо [1].

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СПОСОБІВ ОТРИМАННЯ ТИТАНУ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
УЩІЛЬНЕННЯ ТИТАНОВИХ ПОРОШКОВИХ СПЛАВІВ

1.1 Технології отримання титанової сировини

В основі технології виробництва титану лежить процес Кроля - отримання титану магнієтермічним відновленням тетрахлориду титану з наступною вакуумної дистиляцією. Частина титану губчастого використовується в якості сировини для виробництва злитків і слябів з титану та титанових сплавів, решта титану губчастого реалізується споживачам в якості товарної продукції.

Технологічна схема виробництва титану включає наступні основні переділи:

- отримання титанового шлаку методом плавки ільменітового концентрату в руднотермічних печах;
- отримання титановмісної шихти;
- отримання технічного тетрахлориду титану;
- ректифікаційна очистка технічного тетрахлориду титану;
- отримання магнію-відновника методом електролізу хлористого магнію;
- відновлення титану з тетрахлориду титану магнієм з отриманням реакційної маси;
- вакуумна сепарація реакційної маси;
- переробка блоків титану губчастого;
- виплавка титанових злитків і слябів.

Отримання титанового шлаку методом плавки ільменітового концентрату в руднотермічних печах полягає в тому, що виробництво титанового шлаку складається з відновлюваної руднотермічної електроплавці ільменітового концентрату з вмістом TiO_2 не менше 63% спільно з вуглецевих відновником - вугіллям, коксом або антрацитом. Процес плавки ільменітового концентрату і

вуглецевого відновника, попередньо подрібненого до розміру шматків не більше 10 мм, проводять в руднотермічних печах при температурі 1650°C - 1800°C. Отриманий шлак зливають і після охолодження направляють на підготовку титановмісної шихти. Утворений в результаті плавки метал (чавун з підвищеним вмістом титану) вивозиться на склад для реалізації споживачеві. Газові випаровування з руднотермічних печей направляються на газоочистку.

Титановмісну шихту отримують методом змішування меленого титанового шлаку, вуглецевого відновника та хлористого натрію. Перед змішуванням титановий шлак і вуглецевий відновник дроблять та мелють. Підготовлена титановмісна шихта передається на ділянку хлорування для виробництва тетрахлориду титану.

Отримання технічного тетрахлориду титану полягає у наступному. Тетрахлорид титану технічний утворюється при хлоруванні титановмісної шихти в розплаві солей в сольовому хлораторі та конденсації, що виходить з хлоратора парогазової суміші в системі апаратів конденсації. Процес хлорування титановмісної шихти ведеться в сольовому хлораторі. Газові випаровування з сольового хлоратора направляються на газоочистку.

Сольовий хлоратор - апарат безперервної дії. На поверхню сольового розплаву шнеком з витратного бункера безперервно завантажується титановмісна шихта. Через бічні фурми хлоратора, розташовані в нижній його частині, в розплав подається хлор-газ. З хлоратора виводяться два матеріали – парогазова суміш продуктів хлорування та відпрацьований розплав. Відпрацьований розплав виводиться з хлоратора періодично та частково, а після охолодження вивозиться на відвальне господарство підприємства. Парогазова суміш виводиться з хлоратора безперервно та надходить в систему апаратів очищення та конденсації технічного тетрахлориду титану. Апарати очищення парогазової суміші: камера пилова, зрошувальний скруббер. Апарати конденсації технічного тетрахлориду титану: два послідовно встановлених зрошувальних конденсатора, де в процесі охолодження відбувається конденсація технічного тетрахлориду титану. Отриманий технічний

тетрахлорид титану, після відстоювання, направляється на ділянку ректифікації для очищення.

Технічний тетрахлорид титану підлягає очищенню від ванадію, а також від низько- та висококиплячих домішок. Очищення від ванадію проводиться нижчими хлоридами титану в кубі колони першої дистиляції. Процес ректифікації включає в себе очищення тетрахлориду титану від низькокиплячих домішок - перша ректифікація, та від висококиплячих домішок - друга ректифікація. Процес ведеться в колонах ректифікації при температурі 120°C - 142°C. В процесі ректифікаційного очищення тетрахлориду титану в кубах-випарниках збираються кубові залишки, які періодично виводяться з кубів, випаровуються в електричній печі випарювання пульп і обробляються негашеним вапном. В результаті утворюється кек, який містить ванадій, що реалізуються споживачу. Газові випаровування ректифікаційного очищення направляються на газоочистку.

В свою чергу, магній одержують методом електролітичного розкладання розплаву хлористого (діхлорида) магнію в бездіафрагмених електролізерах. В електролізерах робочим розплавом є хлористий магній, плавикошпатовий концентрат та кухонна сіль. В результаті процесу електролізу утворюється металевий магній, який після додаткового очищення направляється на відновлення титану, хлор-газ - направляється в сольовий хлоратор, а відходи: шлам і шламоелектролітна суміш - вивозяться на відвальне господарство підприємства або реалізуються споживачу. Газові випаровування з бездіафрагменних електролізерів направляються на газоочистку.

Відновлення титану з тетрахлориду титану магнієм проводиться в апаратах відновлення. У підготовлений апарат відновлення заливається рідкий магній. Апарат з магнієм встановлюється в піч відновлення, в апарат подається тетрахлорид титану. В процесі взаємодії тетрахлориду титану з магнієм утворюється діхлорид магнію, який періодично зливається в ківш і направляється на електроліз для отримання магнію та реакційна маса, що складається з титану губчастого та залишкового магнію та діхлориду магнію.

Після закінчення процесу відновлення апарат з реакційною масою відправляється на переділ сепарації

Процес вакуумної сепарації реакційною маси здійснюється наступним чином. Апарат сепарації з реакційною масою встановлюють в піч сепарації. У період розігріву апарату сепарації проводиться витримка при температурі 850°C. У міру розігріву апарату з реакційною масою в середовищі вакууму починається сублимація парів магнію і діхлориду магнію. Високотемпературна витримка при температурах 980°C - 1020°C починається після завершення періоду розігріву апарату. Пари магнію і діхлориду магнію конденсуються в зворотній реторті та використовуються, в подальшому, в наступному процесі відновлення. Час процесу визначається сортом реакційної маси та залишковим тиском в апараті. Після закінчення процесу сепарації відключаються нагрівачі печі, в апарат подається аргон. Апарат охолоджується спочатку в печі, а потім в холодильнику. Після охолодження апарат сепарації демонтують, а реторту з блоком титану губчастого направляють на переробку.

Переробка блоків титану губчастого полягає у виконанні наступних основних операцій:

- підрізання гарнісажу і вибивка блоку з реторти, з визначенням його якості;
- поділ блоку на складові частини - крицю і гарнісаж;
- очищення реторти від залишків титану губчастого;
- очищення криці від поверхневих забруднень з виділенням низькоякісних складових частин: низовий обруб, бічний обруб;
- визначення категорії якості криці і гарнісажу та поділ за категоріями для їх подальшої роздільної переробки;
- дроблення криці та гарнісажу на пресі та в дробарках;
- розсівання дробленого титану губчастого з виділенням товарних фракцій;
- сортування товарних фракцій титану губчастого з вилученням шматків з дефектами;

- відбір проб, упаковка в підготовлену тару (контейнери, бочки), зважування, маркування, пломбування.

Упакований титан губчастий комплектується в товарні партії відповідно до контрактів і відправляється споживачеві.

Частина виробленого титану губчастого використовується в якості сировини для виробництва злитків і слябів з технічно чистого титану і титанових сплавів. Титан губчастий попередньо брикетується, після чого брикети направляються на плавильну ділянку, де вони переплавляються в злитки або сляби на установці електронно-променевого переплаву. Надалі злитки і сляби направляються на механічну обробку (розпилювання, обточування, зняття фасок), піддаються контролю якості за хімічним складом, внутрішніми і зовнішніми дефектами. Готові злитки і сляби маркуються, упаковуються і відправляються споживачеві [2].

Оскільки тема магістерської роботи безпосередньо пов'язана з виготовленням деталей з титанового матеріалу технологіями порошкової металургії, то із вище зазначених матеріалів нам доцільно використовувати лише губчастий титан. Безумовним лідером з виробництва губчастого титану, не лише в Запорізькому промисловому регіоні, а й у всій Україні, є Запорізький титано-магнієвий комбінат. Якість продукції ЗТМК гарантується сертифікованою системою управління відповідно до вимог міжнародних стандартів ISO 9001, EN 9100, ISO 14001, ISO 50001 та ISO 45001. Комбінат йде в ногу з часом - підвищує ефективність виробництва, проводить модернізацію і технічне переозброєння, удосконалює технологію виробництва, ефективно працює над підвищенням якості продукції.

У якості вихідного матеріалу для подальших досліджень можна вибрати наступні марки губчастого титану (табл.1.1) [2]:

Таблиця 1.1 – Марки титану губчастого

Марка	Хімічний склад титану губчастого								Твердість за Брінеллем, НВ, 10/1500/30, не більше
	Ті, %, не менше	Масова частка домішок, %, не більше							
		Fe	Si	Ni	C	Cl	N	O	
ТГ-90	99,74	0,05	0,01	0,04	0,02	0,08	0,02	0,04	90
ТГ-100	99,72	0,06	0,01	0,04	0,03	0,08	0,02	0,04	100
ТГ-110	99,67	0,09	0,02	0,04	0,03	0,08	0,02	0,05	110
ТГ-120	99,64	0,11	0,02	0,04	0,03	0,08	0,02	0,06	120
ТГ-130	99,56	0,13	0,03	0,04	0,03	0,10	0,03	0,08	130
ТГ-150	99,45	0,2	0,03	0,04	0,03	0,12	0,03	0,10	150
ТГ-Тв	97,75	1,9	-	-	0,10	0,15	0,10	-	-

У якості візуалізація губчастого титану можна навести наступні малюнки з фотографіями різних марок (рисунок 1.1) [2]:

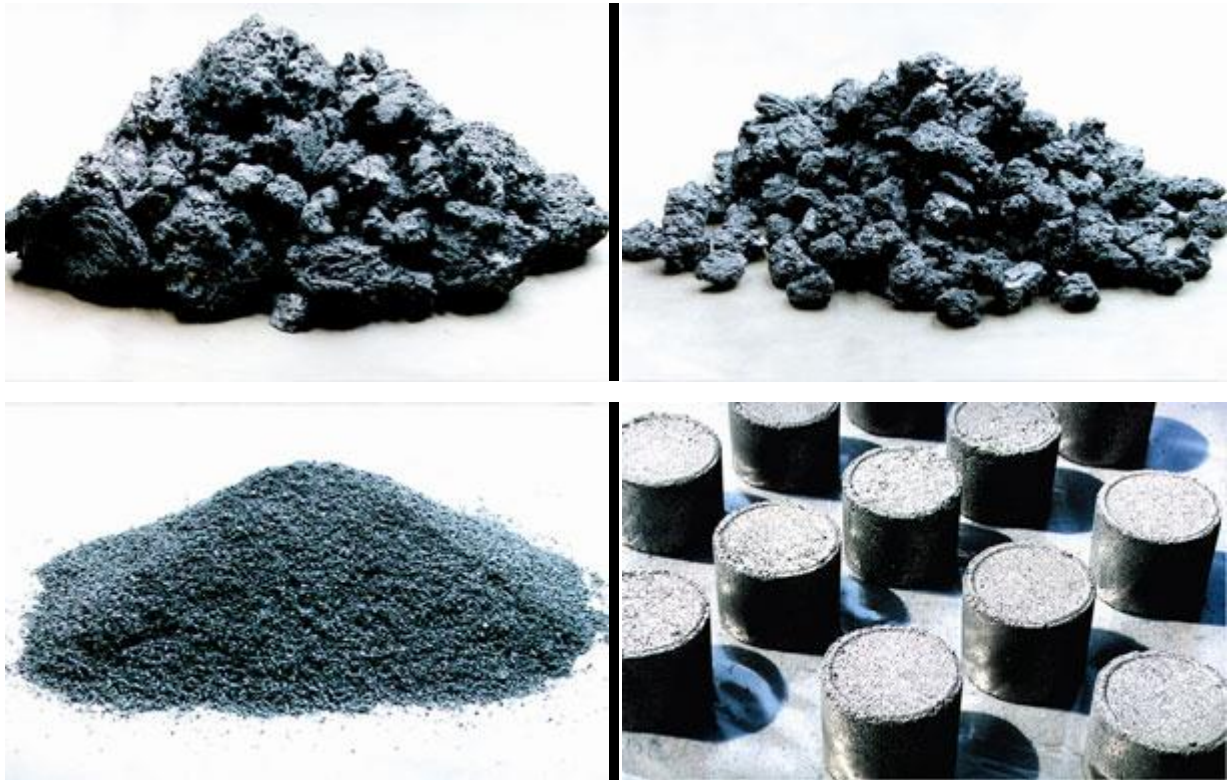


Рисунок 1.1 - Титан губчастий

1.2 Сучасний стан технології та теорії ущільнення титанових порошкових сплавів

Як зазначалося вище, титан використовують в різноманітних галузях промисловості. Машинобудування, медицина, харчова промисловість усі вони потребують виробів з цього матеріалу. Найпоширеніші галузі машинобудування це: авіація, космічні кораблі та апарати, автомобілебудування, тощо. Таке широке поширення саме цього матеріалу пов'язано з його видатними властивостями, такими як: міцність, легкість, стійкість до корозії. Сплави на основі титану є перспективними та мають широкі можливості їхнього використання. [3].

При виготовленні виробів з титанових сплавів усі виробники прагнуть до зменшення матеріаломісткості та скорочення етапів механічної обробки. Саме тому найбільшого поширення набули методи порошкової металургії. [4]. Титан та його сплави часто використовують задля виготовлення композитів.

Відомо, що пластичне формування є основою процесів виготовленні виробів з композитів за допомогою порошкової металургії. Саме процеси які виникають під час такого метода обробки впливають на фізико-механічні властивості готових виробів. Декілька варіантів покращення технологічного процесу з'являються вже на етапі планування технології формоутворення заготовок. Виключаються заздалегідь невдалі варіанти пластичного формування та обирається оптимальний.

1.2.1 Особливості технологічних процесів виготовлення композитних матеріалів на основі сплавів титану методами порошкової металургії.

Під час процесу виробництва деталей з титанових сплавів утворюється значна частина відходів (стружка, тощо), які отримуються за рахунок механічної обробки. Їх вага за часту перевищує вагу готових виробів. Такі відходи не мають магнітних властивостей, та мають меншу щільність, в порівнянні з чорними металами, що збільшує витрати на їх транспортування, тому що, такий стан справ не дозволяє ефективно використовувати грузопід'ємність транспортних засобів. Найпоширенішим та складним в переробці видом відходу є стружка. Це пов'язано з тим, що вона займає великий об'єм, містить на собі залишки мастила та емульсії, сторонніми предметами у вигляді частинок металу та твердих сплавів. На сьогоднішня вторинній переробці піддається незначна кількість стружки, велика частина якої утилізується без врахування економічних складових, а також з порушенням норм екологічної безпеки.

На теперішній час існує ряд способів по переробці відходів машинобудівного виробництва, переважно зі стружки титанових сплавів [5]. Відомий спосіб отримання витратного електрода з використанням 10-15% стружки, а інше це титанова губка. Він базується на тому, що спочатку методом пресування роблять брикети, котрі потім піддаються зварюванню в нейтральному середовищі (аргоні).

Окрім цього існує технологія виготовлення таких електродів з відходів ливарного виробництва та пресованої стружки методом укладання в форму цих двох компонентів з наступною заливкою одноіменним сплавом, який заповнює порожнини між кусочками та брикетами (доля використання стружки складає 5-10%).

Окремо заслуговує на увагу спосіб отримання витратних електродів з металевої стружки запропонований Гіршовим В.Л., Трещевським А.Н. та ін.[6]. Він складається з дроблення та очищення стружки, вакуумно-термічну дегазацію при температурі 550-650 °С, та витримку 1-2 години. Брикети зі стружки пресують та складають в ливникову форму, з зазором, яка попередньо нагріта до температури 400-450 °С. Саме цей метод дозволяє використовувати 100% стружки, задля отримання вторинних сплавів, виключити із процесу титанову губку, яка має велику ціну, збільшити механічну міцність електродів, та покращити якість за рахунок зменшення домішок.

Отриманий продукт переробки випускається у вигляді витратних електродів та використовується при виробництві вторинних сплавів на основі титану. Окрім цього він може бути використаний, як легуючий елемент. Зокрема такий тип електрода використовують в технології вакуумно-дугового переплаву для виготовлення титанових сплавів та злитків. Для отримання кращої якості використовують подвійний, або потрійний переплав.

Під час виробництва напівфабрикатів та заготовок зі сплавів на основі титану має широке застосування технологічна схема виготовлення відливок діаметром 380 мм та більше методами вакуумно-дугового плавлення, їх подальшу переробку на проміжну заготовку методами вільного кування,

прокатки або пресування. Після цього та наступна деформація може включати в себе термічну, або механічну обробку у різноманітних поєднаннях задля отримання готових напівфабрикатів.

Окрім наведених вище переваг, така технологія має ряд недоліків:

- утворення тугоплавких, газонасичених включень;
- велика кількість переходів у процесі пластичного деформування та механічної обробки;
- грубозерниста структура великогабаритних злитків, які використовують для отримання напівфабрикатів;
- обмеження можливості отримання заготовок, близьких по формі, до готової деталі, що призводить до великої кількості відходів.

Збільшення коефіцієнту використання матеріалу (КВМ), зменшення металомісткості конструкції, зниження відходів при подальшій механічній обробці деталей зі сплавів на основі титану можливо при використанні метода порошкової металургії, зокрема в її новому гранульному варіанті [7].

Цей вид металургії дає можливість отримати майже готові деталі, забезпечує більш високу однорідність матеріалу та відкриває потенційні можливості отримання нових сплавів та нових типів мікроструктур.

Вироби конструкційного призначення, особливо складної конфігурації, або невеликі деталі, які виготовляють великими серіями, краще виробляти пресуванням за порошків титану, або його сплавів, у форми, які близькі за своєю конфігурацією до готових виробів, з наступним спіканням або гарячим пресуванням порошків, гарячим куванням спечених заготовок в штампах та іншими способами прийнятими в порошковій металургії для інших металів та сплавів. Завдяки такому виду обробки зменшується втрати та відходи метала на обточування злитків, на стружку та видру під час обробки заготовок різанням або штампуванням з листових, пруткових, литих та катаних заготовок. Тільки завдяки методам порошкової металургії можливо виготовляти найрізноманітніші пористі вироби, корозійностійки фільтри для різноманітних рас творів, нафтопродуктів, агресивних газів та ін.

З нових способів виробництва порошків з титану та його сплавів найбільший інтерес являє собою отримання порошків методом розпилення рідкого металу, або його сплаву, струменем стисненого газу, рідини, або механічним способом [8], зокрема з використанням витратного електроду, який було отримано з відходів. Цей процес характеризується високою продуктивністю, технологічністю, ступенем автоматизації, порівняно малими затратами енергоносіїв, екологічною чистотою. Метод диспергування розплаву надає можливість оперативно збільшити виробництво металевих порошків з заданими властивостями при відносно малих втратах та використовувати в якості вихідного матеріалу відходи металообробного виробництва.

Промислове виробництво розпорошених порошків почалося в кінці 30-х років ХХ сторіччя, але до середини 50-60-х років воно залишалося малотоннажним. Однак вже у 1960-х роках таке виробництво почало активно розвиватися в таких країнах, як Канада, Англія, Швеція, США, Японія та ФРН. З 1978 року виробництво порошків даним методом широко використовувалося на підприємствах колишнього СРСР. Світовий обсяг виробництва порошків розплавів безперервно зростає. В даний час близько 60-70% всього обсягу порошків виробляється саме за допомогою цього методу.

Розпилення вельми ефективно при виробництві порошків багатокомпонентних сплавів і забезпечує отримання порошків з аморфною структурою, яка дозволяє досягти рівномірного хімічного складу композиції, навіть при вмісті легуючих компонентів вище їх межі розчинності в основному компоненті сплаву. Окрім того, порошки, отримані з використанням методів диспергування розплавів, мають оптимальну будову і тонку структуру кожної утворюємої частинки. Це пов'язано з кристалізацією дисперсних крапель розплаву з високими швидкостями охолодження (до декількох десятків і навіть сотень мільйонів градусів в секунду).

Процес диспергування плазмовим струменем має (в порівнянні з металургійним розпиленням) ряд переваг: можливість впливу на

формування (сферична, витягнута, плоска) і отримання заданої структури з необхідними механічними властивостями; стабільність процесу; відносна простота та компактність обладнання, що застосовується; достатньо широкий діапазон регулювання параметрів; легкість при зміні налаштувань; можливість розпилення тугоплавких матеріалів і матеріалів з особливими властивостями; можливість проведення термохімічної обробки в процесі розпилення; отримання порошків заданого розміру; можливість створення будь-якої контрольованої атмосфери.

Досить добре вивчений і широко застосовується процес гарячого ізостатичного пресування (ГІП) для отримання якісних деталей з розмірами, близькими до кінцевих. ГІП це технологічний процес, використовується для пресовки спечених виробів, позбавлення дефектів лиття і пресування порошку, в виробі з остаточною щільністю, а також для дифузійної зварювання металів і для виробництва композиційних матеріалів [9].

Незважаючи на всі переваги, технологія гарячого ізостатичного пресування вимагає застосування спеціального дорогого обладнання. Основним компонентом обладнання для ГІП є посудини високого тиску, в яких створюють тиск стисненого інертного газу або рідини, прикладена або безпосередньо до оброблюваного об'єкту, або до поверхонь капсули, наповненої порошком.

Більш того процес гарячого ізостатичного пресування в разі консолідації порошкових матеріалів складний і складається із кількох стадій:

- розробка та виробництво металевої форми;
- заповнення форми необхідним порошком;
- вакуумування форми;
- установка в прес ГІП;
- підвищення температури і тиску;
- витримка при потрібних технологічних параметрах;
- охолодження преса і форми;
- видалення отриманої деталі з форми.

Створення композитного матеріалу (механічної суміші), за допомогою додавання інших компонентів, дозволяє підвищити здатність об'єднання часток і тим самим підвищити формоутворення. Композитні матеріали складаються з двох і більше компонентів, що розрізняються за хімічним складом; мають властивості, що відрізняються від властивостей окремих компонентів; неоднорідні на мікро-рівні і однорідні в статистичному сенсі на макро-рівні; властивості композитів визначаються поєднанням компонентів, які повинні бути присутніми в нормованих кількостях. Композиційні матеріали зазвичай мають унікальні властивості, наприклад: надпровідні, радіо-прозорі і радіо-поглинаючі, матеріали для теплового захисту космічних апаратів, матеріали з малим коефіцієнтом термічного розширення і високим модулем пружності [10].

Пресування механічної суміші порошків є одним із способів отримання виробів з титану, що поєднують економічність і непогані властивості готових виробів для багатьох областей застосування [11]. Процеси пластичного деформування мають істотне значення, зокрема, встановлена явна залежність властивостей металокерамічного титану і його сплавів від тиску пресування (таблиця 1.2).

На щільність порошків і формування властивостей виробів з титанових композитів помітний вплив має склад порошків, які виступають в якості вихідних компонентів [12]. При цьому міцність пресованих деталей визначається здатністю консолідації частинок (утворення твердофазних з'єднань між частинками, що мають істотні відмінності за хімічним складом і механічними властивостями, формою і станом поверхні).

Основними етапами отримання заготовок, напівфабрикатів і виробів з механічної суміші порошків є: перемішування суміші порошків, холодне пресування, спікання. Додатковими стадіями: вторинна обробка і подальша механічна обробка. Деякі стадії процесу можуть відбуватися по різному, або бути відсутніми додаткові стадії, що збільшує гнучкість технології і дозволяє краще враховувати вимоги, що ставляться до готових виробів.

Таблиця 1.2 Залежність властивостей металокерамічного титану і його сплавів від тиску пресування [13].

Тиск пресування, МПа	Щільність зразку		σ_B , МПа	σ_T , МПа	Ψ , %
	До спікання	Після спікання			
Технічний титан					
500	87,0	90,5	400	310	15
800	93,5	95,0	490	370	24
900	94,7	97,0	510	390	25
Ti-2Al					
500	87,5	91,0	490	410	10
800	94,0	95,0	590	490	16
900	95,0	96,2	600	500	20
Ti-6Al-4V					
500	91,3	95,0	780	730	7
800	93,2	96,0	830	740	9
900	93,2	96,0	840	770	9

Для отримання порошкової суміші, що є вихідним матеріалом для компактування, здійснюється механічне змішування компонентів. Для цього зазвичай застосовують, так звані млини. У процесі перемішування частинки неправильної форми можуть округлятися, перетворюючись в майже рівноосні [4]. На шіхтоподготовці надходять порошки титану, що пройшли вхідний хімічний і ситовий контроль. Обов'язковою операцією є магнітна сепарація порошків, що дозволяє відокремити сторонні магнітні включення.

Гранулометричний склад порошків здійснює помітний вплив на їх ущільнюваність. До необхідності збільшення тиску пресування веде як підвищення мікротвердості частинок порошку, так і зменшення величини контактної поверхні. Підвищення кількості домішок в порошках і, відповідно

зростання твердості впливало на зниження характеристик пластичності. Тому необхідний диференційований підхід до використання титанових порошків різних способів виробництва, що мають різну твердість: при значеннях твердості до 150 НВ. Їх слід застосовувати для виробництва конструкційних деталей, при більш високій твердості - для отримання пористих виробів і в якості наповнювача в антикорозійних покриттях.

Підвищення міцності та ущільнюваність брикетів досягається рядом факторів серед яких, використання зв'язки з більш пластичного матеріалу [14]. Разом з тим використання дорогих матеріалів зв'язки (матриці) може значно підвищити механічні характеристики композиту. У зв'язку з цим потрібно проводити підбір оптимального процентного вмісту матеріалів матриці і наповнювача з точки зору економічної обґрунтованості технологічного процесу.

Етап формозміни у виготовленні деталей з титанових сплавів методами порошкової металургії може здійснюватися різними шляхами. Для невеликих деталей (розмірами 90-100 мм) доцільно застосовувати пресування в сталевих прес-формах, причому ці деталі можуть мати досить складну конфігурацію [15]. Однак слід враховувати, що будь-якого роду виступи, поглиблення, наскрізні канали можливі тільки в напрямку пресування і що для забезпечення однорідності усадки відношення висоти пресованої деталі до її діаметру не повинно перевищувати 1,2.

Для виготовлення великих виробів і деталей з великим відношенням висоти до діаметра слід користуватися методом гідростатичного пресування [16]. Цей метод доцільно застосовувати при виготовленні деталей складної форми, що мають виступи, поглиблення, наскрізні канали в різних напрямках. Багато виробів можуть бути отримані безпосередньо шляхом гідростатичного пресування із застосуванням фасонних гільз. Крім того, існує спосіб, за яким з титанового порошку пресують в гідростатичній установці виріб наближеною форми, або заготовку у вигляді паралелепіпеда, суцільного або полого циліндра і ін., Яку потім обробляють різанням. Виходить при обробці порошок

придатний для повторного використання. Після холодного пресування титанові заготовки-брикети підлягають спіканню.

Спікання сформованих заготовок проводиться у вакуумі при залишковому тиску $<0,133$ Па або в середовищі інертного газу (аргону). Спікання у високому вакуумі дозволяє повніше видалити з титану домішки і захистити метал від впливу кисню та азоту. Зразки, спечені в атмосфері аргону, мають знижені механічні властивості. Для досягнення задовільних механічних властивостей, потрібна ретельна очистка та сушка аргону. Оптимальну температуру і тривалість процесу спікання визначають з урахуванням типу виробів (пористі або компактні), хімічного і гранулометричного складу вихідних порошків титану [17]. У загальному випадку температура спікання пористих матеріалів не перевищує $900 - 1000$ ° С; високощільні конструкційні вироби спікають при $1200 - 1300$ ° С. Великий вплив на усадку при спіканні титанових матеріалів надає тип, крупність, питома поверхня і форма частинок вихідних порошків. У деяких видів деталей механічні властивості, форма і допуски за розмірами, отримані після спікання, виявляються достатніми для передачі їх прямо на механічну обробку. Для інших деталей може знадобитися вторинна обробка, з метою підвищення щільності, а отже, і механічних властивостей виробів, наприклад, гаряче ізостатичне пресування.

Особливості технології обробки тиском порошкових композитних матеріалів із сплавів титану описані в роботах [4,10,13 та ін.]. Зокрема, в роботі [18] наведена технологія виготовлення композиційного матеріалу системи Ti-Be, що включає гаряче пресування суміші гранул сплавів Ti-6Al-4V, Ti-6Al-6V-2Sn з гранулами берилію, подальшу екструзію і процес прокатки. В результаті було отримано матеріал з межею плинності 1300-1360 МПа. Автори роботи [18] провели аналіз процесу спікання двофазної системи порошок + основа, в результаті чого зробили висновок, що незалежно від часу спікання існує гранично досяжне значення залишкової пористості.

Визначено, що швидкість ущільнення при спіканні зменшується зі збільшенням вмісту основи. Встановлено, що практично безпористі матеріали

можна отримати з використанням гарячого пресування, що реалізується після спікання спресованих заготовок.

Представляють інтерес композиційні матеріали системи Ti-Mg, технологія виготовлення яких включає пресування і спікання порошків титану з наступним просоченням пористих заготовок алюмінієво-магнієвих сплавом в інертній атмосфері при температурі 750-800 °С. Титаномагнієвий композиційний матеріал має задовільні механічні характеристики і корозійні властивості. На стадії розробки технології виготовлення нових композитних матеріалів і виробів на їх основі проводиться дослідження для визначення оптимального складу компонентів композитного матеріалу, що забезпечують баланс необхідних механічних характеристик виробів, і підбір раціональних режимів технологічних операцій з урахуванням економічної обґрунтованості.

1.2.2 Стан теорії обробки тиском порошкових матеріалів

Теорія обробки тиском композитних матеріалів виникла і стрімко розвивалася в 1960-1980 рр. в зв'язку з необхідністю вирішення завдань створення і вдосконалення виробництва авіаційної та космічної техніки.

Основою теорії обробки тиском композитів становить науковий напрям механіка композитних середовищ [19]. Перші роботи, виконані в цьому напрямку, з'явилися в 20-х роках ХХ століття, коли німецькі вчені запропонували обчислювати ефективні модулі пружності і податливості мікро-неоднорідних матеріалів за правилом механічного змішування. Потім іншими вченими був запропонований метод усереднення властивостей полікристалів на основі рішення стохастичною крайової задачі. Це призвело до того що був запропонований метод на основі варіаційних принципів, який дозволяє обчислювати границі ефективних модулів гранульованих і волокнистих композитів.

Перші теорії пружної і пластичної поведінки композитних середовищ використовували сильно спрощені механічні моделі. В даний час в механіці формування порошкових композитних матеріалів широко застосовується дискретно-континуальна модель, відповідно до якої тіло що деформується розглядається як пластично стискаємий дисконтинуум з кусочно-постійними властивостями [31]. Рух такого дисконтинуума вивчалось в роботах [34] на основі феноменологічного підходу механіки суцільних середовищ, а також в роботах [23] з використанням структурно-феноменологічного підходу.

Одним з перспективних наукових напрямків дослідження процесів деформування порошкових і композитних матеріалів є механіка структурно-неоднорідних матеріалів, що вивчає поведінку елементів структури матеріалу на макро-, мікро- і мезо-масштабних рівнях. Ідея масштабно-структурної ієрархії при деформації матеріалів була сформульована в роботах В.Є. Паніна [23].

Істотні результати в рішенні задач в області механіки композитів з використанням багаторівневого підходу досягнуті в роботах [24]. Феноменологічний підхід в механіці гетерогенних середовищ ґрунтується на концепції існування представницького елемента деформованого об'єму. Відповідно до цієї концепції матеріальна точка континууму ототожнюється з областю, розміри якої малі в порівнянні з розмірами деформованого зразка, але великі в порівнянні з окремими матеріальними частинками. Властивості представницького елемента покладаються ідентичними властивостями тіла. Для кожного елемента і матеріалу в цілому виконуються основні закони механіки і термодинаміки континууму. Перевагою континуального уявлення порошкових матеріалів полягає в можливості суворого використання апарату математичного аналізу і варіаційного числення, орієнтованих на дослідження безперервних функцій. Про допустимість континуального підходу свідчать експериментальні дані [25] та ін. До теперішнього часу вирішені багато завдань технологічної механіки, зокрема, пресування порошків і гранул, гідростатичного пресування, штампування, прямого і зворотного видавлювання гетерогенних заготовок з

чорних, кольорових і рідкісних металів . Разом з тим, на думку багатьох вітчизняних і зарубіжних учених, феноменологічний підхід, не дозволяє врахувати вплив на процеси пластичної течії порошкових композитів матриці і геометричних параметрів компонентів мікроструктури деформованих матеріалів і їх розподіл за обсягом заготовок що піддаються обробці.

Враховувати неоднорідності структури пористих і порошкових матеріалів і їх еволюцію при деформації дозволяють підходи механіки структурно-неоднорідних середовищ. Для структурно-феноменологічного підходу характерне використання зв'язку геометричної структури пористого тіла і фізико-механічних властивостей каркаса з властивостями опору пористих тіл необоротного формозмінювання. При цьому реологічні характеристики деформованого середовища отримують, в результаті аналізу еволюції елементів, структури. В роботі [22] розглянуті та узагальнені основні положення, які використовуються при вирішенні задач механіки структурно-неоднорідних матеріалів.

Розробка способів ефективного вирішення технологічних задач обробки тиском композитних матеріалів все ще залишається областю наукового пошуку. Сукупне застосування сучасних підходів механіки структурно-неоднорідних матеріалів і засобів інженерного аналізу розширює уявлення про процеси, що відбуваються в структурних компонентах композитного матеріалу і їхньому стані при пластичної деформації [26].

РОЗДІЛ 2

ПРАКТИКА ОТРИМАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗАСОБАМИ ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ

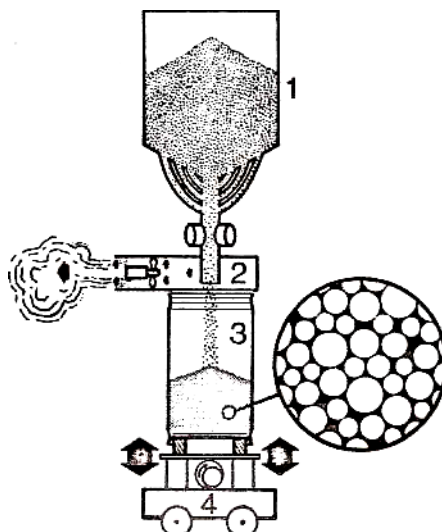
2.1 Технологія пресування

До порошку пред'являються дуже жорсткі вимоги, які визначаються в кінцевому рахунку способом ущільнення порошку, тобто способом отримання з порошку матеріалу високої щільності (компактної заготовки). Тому доцільно, перш за все, розглянути процес пресування. Основна вимога до процесу пресування, - отримання готових пресовок в великих обсягах і при низьких виробничих витратах. Надзвичайно важливо, щоб пресування була повністю ущільнена, оскільки наявність залишкових пір призводить до зменшення міцності матеріалу. Методи порошкової металургії вже застосовуються в ряді областей, наприклад, при виготовленні дрібних деталей машин, що мають складну геометричну форму і працюють при невеликих навантаженнях. Вироби необхідної форми отримують шляхом ущільнення порошку і потім нагрівають до високої температури з тим, щоб забезпечити зчеплення окремих частинок порошку один з одним в результаті спікання. Але ці методи не дозволяють отримати повністю гомогенний матеріал за практично прийнятний період часу, тому він непридатний для виготовлення швидкорізальних сталей. Найкраще зазначеним вище вимогам задовольняє процес, відомий під назвою гарячого ізостатичного пресування. Цей процес передбачає вплив на весь обсяг порошку високого тиску при високій температурі. Слід мати на увазі, що для пресування стали цим способом тиск повинен бути не нижче 100 МПа, а температура - вище 1000 ° С. Це, зрозуміло, вимагає високої надійності і точності роботи устаткування. Якщо врахувати, що при наявності зазначених вимог виробничі витрати повинні бути низькими, необхідно забезпечити максимальну продуктивність установки для пресування; іншими словами, час пресування певної порції порошку повинно бути мінімальним, а обсяг цієї порції -

максимальним. Завдання зводиться, таким чином, до завантаження максимально можливої кількості порошку в камеру високого тиску, в якій здійснюють пресування. Для оптимального вирішення цього завдання порошок повинен мати високу уплотнюємість (при пресуванні), для чого важливим є куляста форма частинок порошку і певне співвідношення часток різних розмірів. Інша важлива вимога полягає в тому, що частинки порошку не повинні окислюватися. До складу швидкорізальних сталей входять легуючі елементи, що утворюють стійкі, тобто трудноудалимої, оксиди. При окисленні поверхні частинок порошку велика кількість окислів потрапляє і в сталевий готовий продукт, що призводить до погіршення деяких найважливіших властивостей стали. Тому необхідно виключити можливість окислення порошку в процесі його виготовлення і транспортування.

2.2. Отримання порошку

На рисунку 1.1 показана принципова схема промислової установки для отримання титанового порошку у вигляді кулястих частинок з низьким вмістом кисню.



1 - бункер для порошку, 2 - видалення пилю, 3 - капсула, 4 - візок вібратор

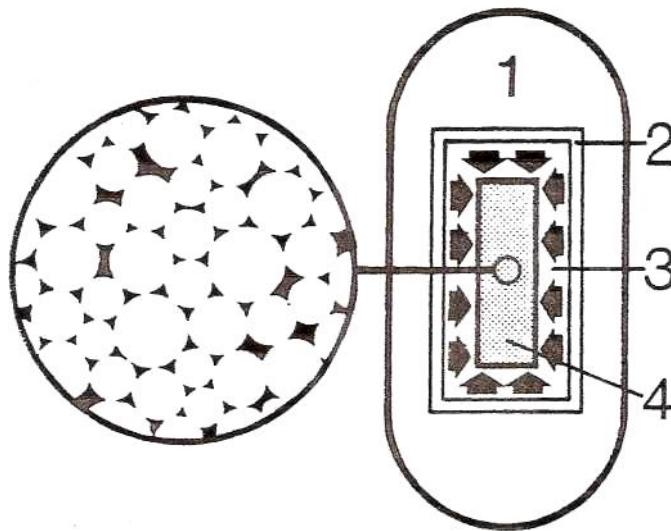
Рисунок 2.1 - Принцип розпилення газом

Вихідний титановий матеріал розплавляють звичайним способом в індукційній печі підвищеної частоти; рідкий метал випускають в металоприймач з калібрувальними склянками. Металоприймач встановлений у верхній частині розпилювальної колони (рисунок 2.1). Тонкі струмені рідкого металу, що виходять з зливних склянок, потрапляють в распилітельную колону. У верхній частині камери розпилення встановлені газові сопла особливої конструкції. Струмені газу, що виходять з цих сопел дуже великою швидкістю, розбивають струменя стали на безліч дрібних крапель. Краплі розплавленої сталі, вільно падаючи в камері розпилення, тверднуть, після чого їх можна охолоджувати до кімнатної температури будь-яким більш ефективним способом. Порошок збирається на днище камери розпилення. До остаточного затвердіння краплі металу встигають придбати кулясту форму. Для запобігання сплюснювання частинок необхідно, щоб в процесі затвердіння краплі металу не вдарялися об тверді предмети. Гранулометричний склад частинок порошку можна регулювати шляхом зміни швидкості і форми струменя газу. Для запобігання окислення порошку колону заповнюють інертним або іншим неагресивним газом, використовуваним в газові струмені. Однак вартість газу, необхідної в даному випадку чистоти, відносно висока, тому в конструкцію камери розпилення включено обладнання для рециркуляції газу. Сплюснені частки або частки надмірно великих розмірів видаляються при просіюванні, а відсортоване порошок надходить на пресування, що складається з наступних етапів:

1. заповнення капсули;
2. холодну ізостатичне пресування;
3. підігрів і створення розрідження;
4. гаряче ізостатичне пресування.

2.3. Холодне ізостатичне пресування

На початкових етапах дослідження було встановлено, що період нагріву капсули великого розміру до температури гарячого ізостатичного пресування надзвичайно тривалий. Порошок характеризується надзвичайно низьку теплопровідність - близько 1/100 теплопровідності ущільненого матеріалу. Вибір різних варіантів методу холодного ізостатичного пресування був обумовлений тим, що останній дає оптимальні результати і може використовуватися для виготовлення виробів будь-якої форми. При холодному ізостатичному пресуванні частки порошку притискаються щільніше один до одного, що збільшує площу контакту (рисунок 2.2)



1 - станина преса, 2 - камера високого тиску, 3 - рідина, 4 - капсула.

Рисунок 2.2 - Холодне ізостатичне пресування

Холодне ізостатичне пресування забезпечує деяке збільшення теплопровідності, щільність пресування збільшується до 74% від теоретичної. З рисунка 2.3 видно, що робота з максимально можливим тиском пресування, тобто 400 МПа, дає істотні переваги.

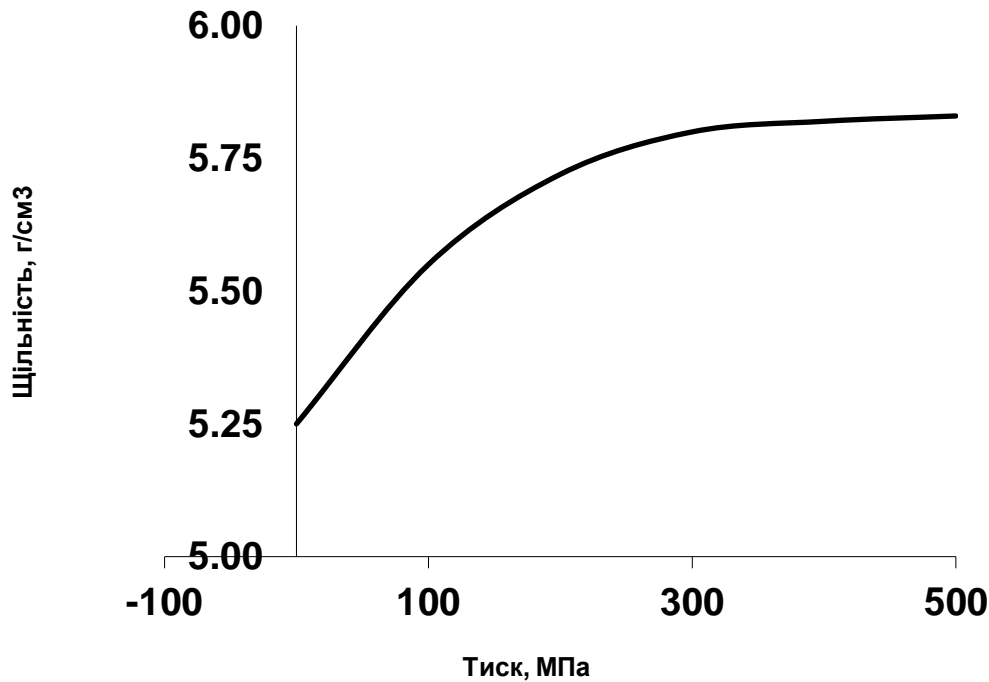


Рисунок 2.3 - Залежність щільності від тиску при холодному ізостатичному пресуванні

2.4 Підігрів капсули

З метою економії часу і потужності преса для гарячого ізостатичного пресування капсулу попередньо підігрівають до температури, приблизно рівній температурі спікання, в підігрівальній електропечі опору. На початковому етапі підігріву азот, що знаходиться усередині капсули розширюється, тому необхідно забезпечити надійність притиснення кришки капсули В іншому разі вона вигинання. При підвищенні температури азот поглинається сталлю, в результаті чого надлишковий тиск змінюється розрідженням. Ці зміни напруги матеріалу капсули в процесі роботи обумовлюють пред'являються до матеріалу жорсткі вимоги. При нагріванні капсули в підігрівальній печі немає необхідності прогрівати її на всю глибину; прогрів забезпечується на етапі спікання в пресі для гарячого ізостатичного пресування.

2.5 Гаряче ізостатичного пресування

Підігріту гарячу капсулу встановлюють в камеру високого тиску преса для гарячого ізостатичного пресування, яка до цього моменту вже нагріта до необхідної температури. У конструкцію преса для гарячого ізостатичного пресування входить камера, корпус обмотаний високоміцної стрічкою, і спеціальна електропід опору, що знаходиться всередині цієї камери. Станина преса, також обмотана високоміцної стрічкою, забезпечує протидію кришок камери внутрішнім силам, що виникають під час пресування.

Установка капсули на нижню кришку камери спрощує завантаження камери, здійснювану знизу, і дозволяє використовувати цю кришку як важливий конструктивний елемент, що грає істотну роль в процесі виробництва. Тому доцільно використовувати нижню кришку камери і для закривання підігрівальні печей. Таке конструктивне рішення дозволяє, зокрема, включити в виробничу пінію маніпулятор, призначений для перенесення кількох нижніх кришок з однієї ділянки лінії на інший, що дає можливість організувати масове виробництво при низьких експлуатаційних витратах. Для досягнення необхідної щільності деталей зі швидкорізальної сталі, гаряче пресування здійснюють в інертному або іншому неагресивному газі при тиску близько 100 МПа і температурі близько 1150 ° С. Цикл пресування починається з подачі газу - спочатку з батареї газових акумуляторів, а потім від декількох газових компресорів. Після досягнення заданого тиску він підтримується постійним протягом певного періоду часу, щоб забезпечити створення межкристаллических зв'язків у всьому обсязі пресування. Тривалість циклу залежить головним чином від продуктивності газового компресора. Фактична тривалість циклу - близько 2,5 ... 3 ч.

Після закінчення пресування газ з камери направляють назад в батарею газових акумуляторів. Як тільки тиск між камерою і газовим акумулятором зрівняється, включають компресори, і залишок газу відкачується з камери.

Після цього пресування витягують з камери за допомогою маніпулятора, що транспортує її потім до місця зберігання. Тут пресовку залишають для охолодження, якщо не передбачена негайна її обробка, або передають на подальшу обробку на кувальному пресі або прокатному стані.

2.6 Отримання готової продукції

Якщо пресований матеріал призначений для виготовлення дроту, прутків, поковок і т.п., на початковому етапі пресування економічно доцільно використовувати капсули якомога більших розмірів щоб, потім отримувати профілі заданих розмірів шляхом кування або прокатки. Якщо в подальшому заготовля підлягає приготування гарячих страв, що передбачає значительне зміни її форми і розмірів, немає необхідності домагатися дуже високої щільності заготовки, так як наявні в матеріалі пори закривається і плавляться під час тривалого циклу гарячої обробки. При нагріванні швидкорізальної сталі до температури гарячої обробки відбувається утворення окалини і обезуглероживание. Однак процес передбачає отримання заготовки в капсулі, матеріал якої (звичайна нелегована вуглецева сталь з низьким або середнім вмістом вуглецю) має ту ж активність вуглецю, що і порошок швидкорізальної інструментальної сталі. При тривалій гарячій обробці капсула не витрачається, тому окалина утворюється на дешевої вуглецевої сталі, зачищають поверхню швидкорізальної сталі. Крім того, сталь має однорідну безліквационную структуру, її гаряча обробка може здійснюватися в значно більшому діапазоні температур, ніж стали, отриманої традиційними способами. При виготовленні деяких інструментів виробничі витрати являються настільки ж значним фактором, як і робочі характеристики інструменту. Першорядне значення має збереження розмірів при термообробці і шліфуємость стали. Завдяки відсутності ликвации в металі зміна розмірів при термообробці буде

рівномірним, що дозволяє розрахувати зміна обсягу. Це особливо важливо при виробництві черв'ячних фрез, плашок великого розміру, тощо. Операції шліфування широко застосовуються при виготовленні і переточуванні рекуль інструментів. Однак це досить дорогі операції. Крім того, є деякі міркування проти використання швидкорізальної сталі, оскільки, володіючи високими ріжучими характеристиками, вона відрізняється більш низькою шліфуємостью. Значне поліпшення шліфована може бути досягнуто при зменшенні розмірів зерна карбідів і більш рівномірному їх розподілі, а також при наявності в сталі значної кількості сульфідних включень. Розміри карбідних включень повинні бути дуже малими, щоб не погіршувати міцності сталі. Все це досягається при виготовленні сталі методом порошкової металургії. У сталі, виготовленої звичайними методами, міститься велика кількість великих включень карбідів, тоді як сталь, отримана методом пресування порошку, містить дуже дрібні карбідні зерна. Крім того, структура цієї сталі, не залежить від кінцевих розмірів виробу, як це спостерігається в сталі, отриманої традиційними способами, структура, якій стає більш грубою і менш однорідної в виробах великих розмірів. Отже, структурні відмінності між сталлю, отриманої традиційним способом, і сталлю, отриманої з порошку, будуть більш значними в заготовках більшого перетину і менш значними в заготовках меншого перетину.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ГІДРОСТАТИЧНОГО БРИКЕТУВАННЯ ПОРОШКІВ ТА ВІДСІВІВ ГУБЧАТОГО ТИТАНУ

3.1 Гідростатичне пресування в гумових оболонках крізь бар'єрний шар на зразках діаметром до 150 мм

Раніше було встановлено, що усадка при гідростатичному пресуванні складає 20...30 %, а усадка при ГП 18...23 %. Тому з урахуванням сумарної усадки 43...48 % для отримання зразка діаметром 150 мм, діаметр засипки повинен сягати 214...225 мм. Оскільки пресуванню піддавались переважно грубі порошки, котрі під час пресування проникають в гуму, що робить неможливим її знімання з готової пре совки, пресування виконувалось раніше розробленим способом крізь бар'єрний шар сипучого матеріалу. В якості бар'єрного шару використовувався прокалений кварцовий пісок, як показано на рис. 3.1. необхідний діаметр засипки забезпечувався відповідним діаметром технологічної обичайки, яка видалялася після засипки її внутрішньої порожнини пресуємим порошком, або відсівом губки 11, а зовнішньої кільцевої порожнини між нею та оболонкою бар'єрним шаром піску 12. Задля полегшення заповнення гумової оболонки пресуємим порошком та бар'єрним шаром порожнина між оболонкою – 1 та зовнішньою обіймою – 2 піддавалась вакуумуванню. При цьому оболонка розтягувалася та щільно прилягала до внутрішньої поверхні обійми. Після заповнення оболонки порошком та бар'єрним шаром технологічна обичайка витягалась, вакуум знімався та оболонка закривалася гумовою кришкою та герметизувалася.

Пресування виконувалось в камері високого тиску установки ГП. Для видалення повітря в просторі між обіймою 2 та оболонкою 1 обидва штуцера 3 при цьому відкривались. Пресування проходило при тиску 60...140 МПа. Залежність щільності отриманих заготовок від тиску пресування наведено на рис.3.2.

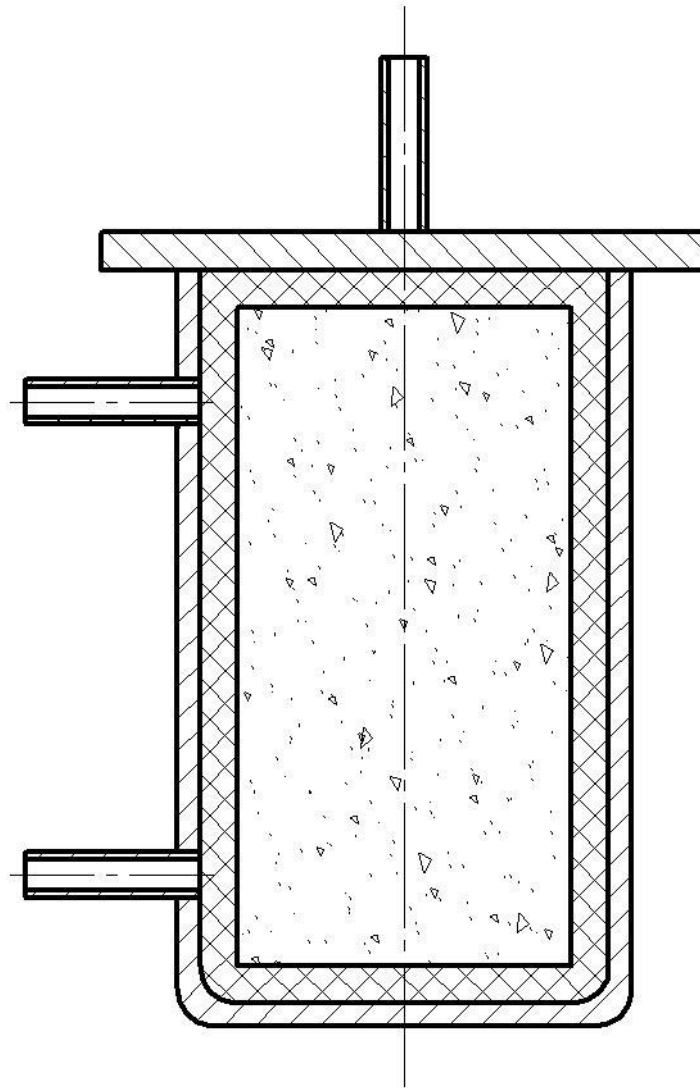


Рисунок 3.1 - Схема гідростатичного пресування грубих порошків крузь бар'єрний шар.

Розроблена технологія забезпечує отримання пресовок правильної циліндричної форми з заданими розмірами по діаметру та висоті. Для перевірки можливості використання даної технології стосовно к виробам більш складної форми було отримано декілька заготовок в формі куба та труби. Пресування здійснювалося в тій самій оболонці циліндричної форми крізь бар'єрний шар піску, а форма засипки порошку забезпечувалось для труби двома циліндричними обичайками, а для куба трубою квадратного перерізу. При цьому внутрішня порожнина трубної заготовки виходила правильної циліндричної форми, концентрично розташованою по відношенню до

зовнішньої поверхні. У кубічної заготовки розмірами 80x80x80 ребра в процесі пресування заокруглювалися радіусом близько 10 мм.

Помітного впливу форми заготовки на її щільність при інших рівних умовах не виявлено.

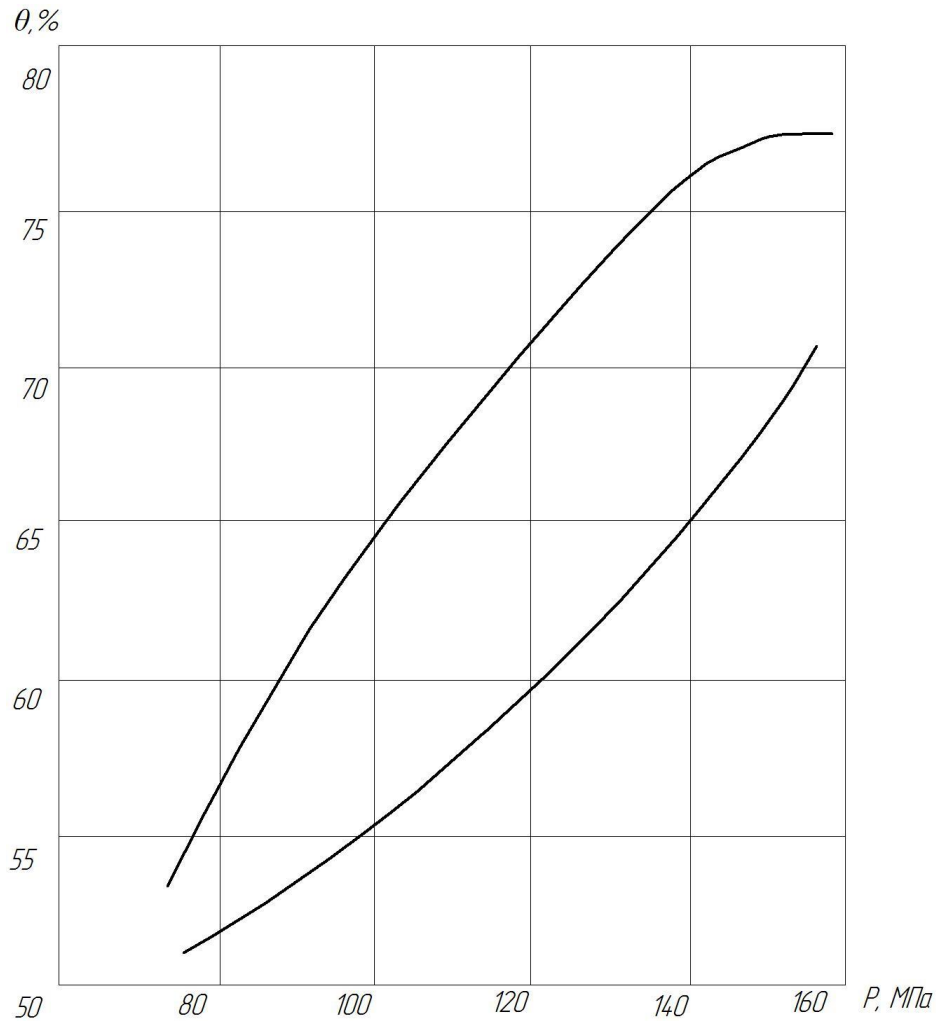


Рисунок 3.2 - Залежність щільності пресування від тиску.

3.1.1. Відпрацювання технології ГПП попередньо сформованих зразків діаметром до 150 мм з використанням нагріву

Схема ГПП з нагріванням опором показана на рис. 3.3. Товщина шару теплоізоляції між заготівлею та оболонкою становила близько 100 мм на

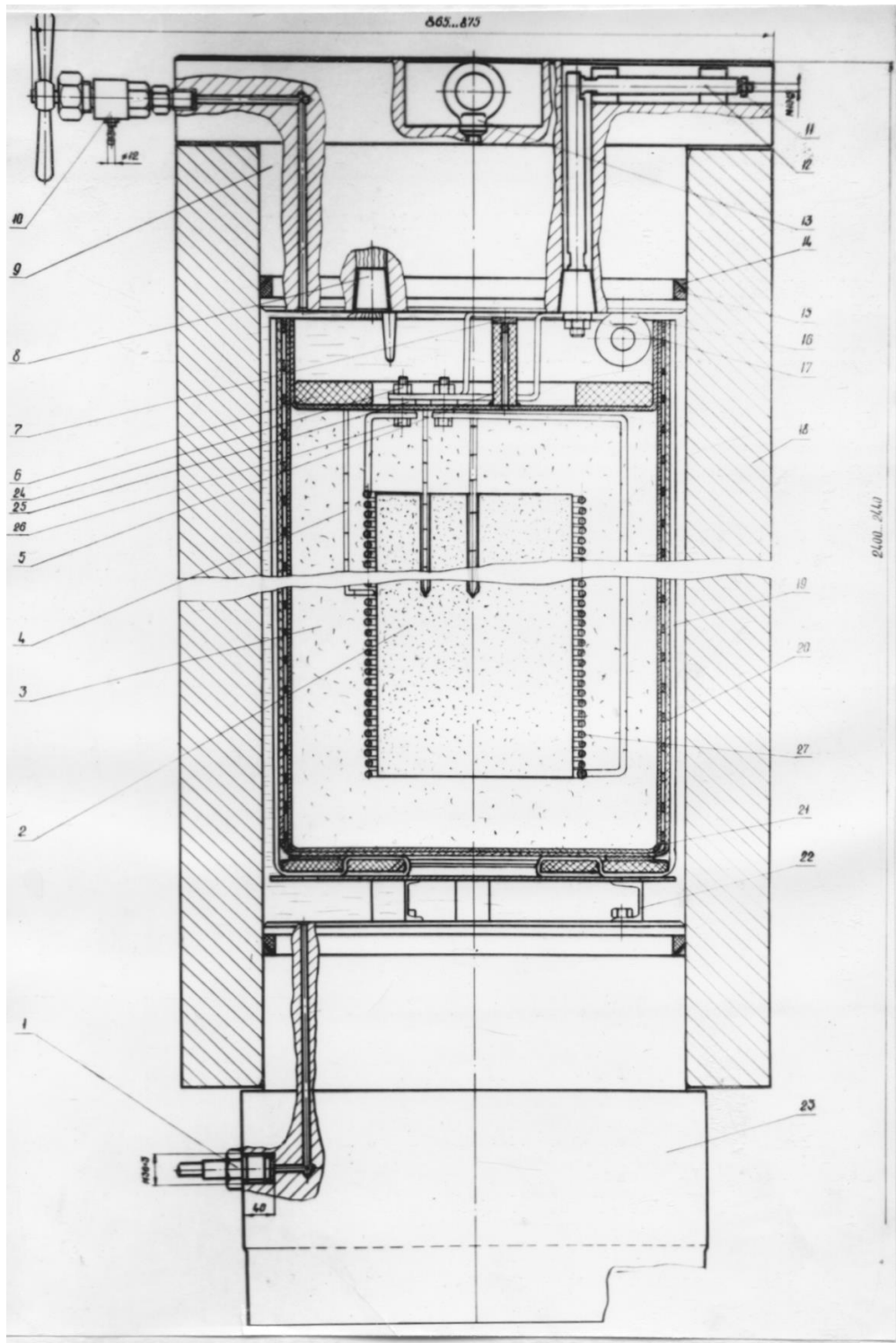
сторону як по циліндричній поверхні так і з торців. Після герметизації оболонки з заготовкою та нагрівачем в порожнині оболонки створювалося розрідження глибиною 10 Па. Потім перевірялася герметичність оболонки. В процесі 30 хв. витримки в порожнину оболонки не повинно бути натікання.

При задовільній герметичності заготовка нагрівалася при безперервному вакуумуванні порожнини оболонки до заданої температури. Щоб уникнути нагріву оболонки на час нагрівання заготовки, який сягав 3...4,5 години, оболонка занурювалася в ємність з проточною водою. При такому способі нагріву температура внутрішньої поверхні оболонки до моменту наскрізного прогріву заготовки не перевищувала 60 ... 70 °С.

Потім оболонка з заготовкою переносилася в камеру високого тиску, вакуумопровід від'єднувався і заглушувався, камера закривалася затвором, замикалася силовий рамою і в ній міг утворитися тиск заданої величини. Необхідні температура і тиск контролювалися, і підтримувалися до закінчення процесу, відповідно нагрівачем і насосом з єдиного пульта керування.

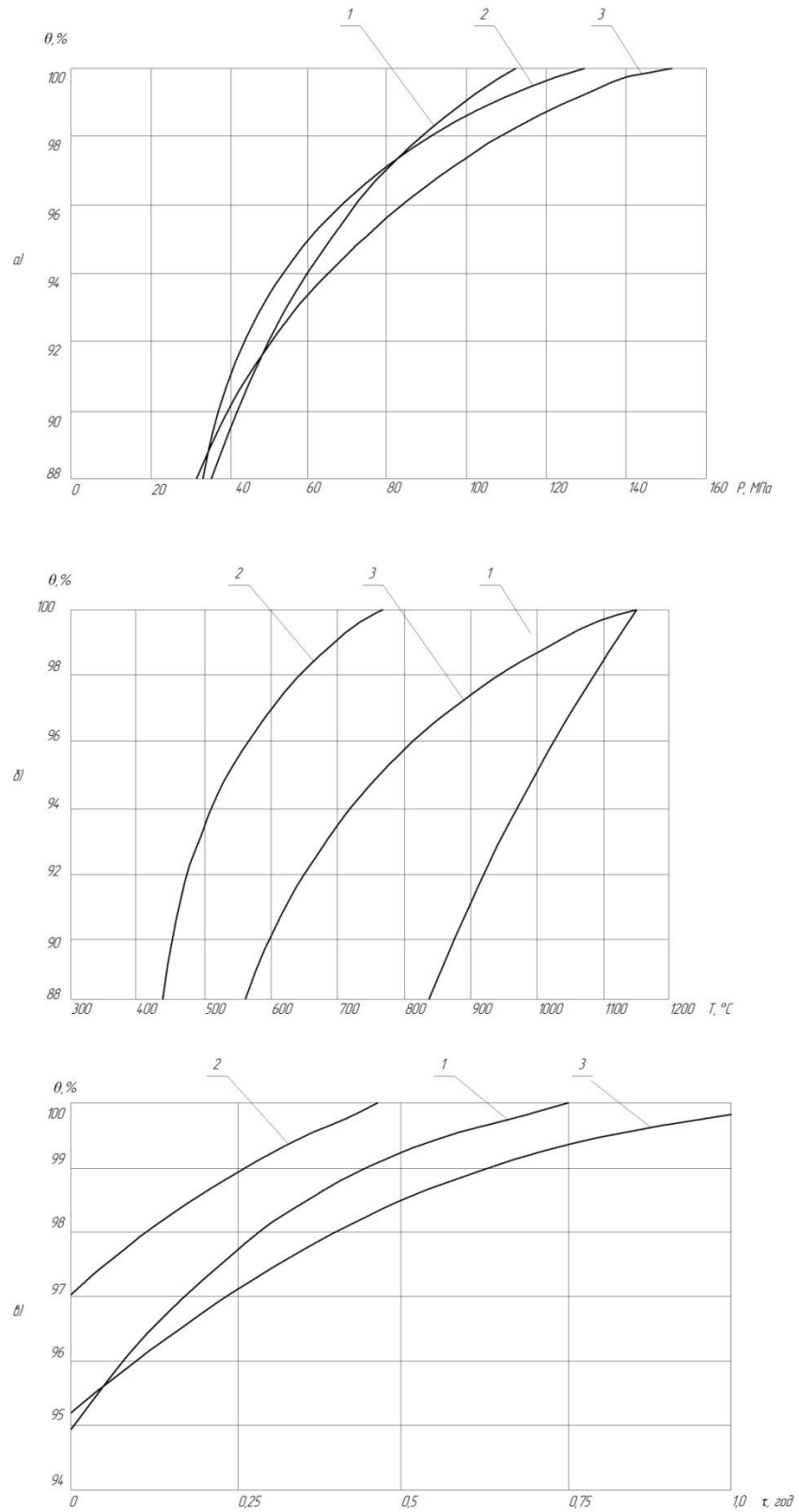
Залежність щільності зразків від параметрів ГПП представлена на рис. 3.4. Встановлено, що щільність після ГПП практично не залежить від щільності вихідного зразка.

На поверхні зразка має місце взаємодія титану з проміжним сипучим середовищем глибиною 1-3 мм, яка визначається переважно станом поверхні вихідного зразка після холодного гідростатичного пресування, а в кінцевому рахунку гранулометричним складом і формою частинок вихідного порошкового матеріалу.



1 - ввід пресуючої рідини; 2 - заготовка; 3 - сипуче середовище; 4 - термопара; 5 – вакуумопровід; 6 - кільце герметизуюче; 7 -заглушка вакуумопровіда; 8 - термопарний вхід; 9 - пробка верхня; 10 - скидач тиску; 11, 12, 17 - деталі токоввода; 14,15 - ущільнення верхньої пробки; 18 - контейнери; 19,20,21 - обойма з підвіскою; 22 - підставка; 23 - пробка нижня.

Рисунок 3.3 - Схема ГП з нагріванням спротивом, змонтованим в оболочці.



а – $\theta=f(P)$, б - $\theta=f(T)$; в - $\theta=f(\tau)$. 1 – Залізо; 2 – мідь; 3 – титан.

Рисунок 3.4 - Залежність щільності пресовки від параметрів ГП.

3.1.2. Визначення теплофізичних характеристик зразків з порошкових матеріалів і проміжних сипких середовищ

Основна складність нагріву пористих заготовок полягає в тому, що їх теплофізичні характеристики не тільки істотно відрізняються від компактних матеріалів того ж складу але і не мають прямої залежності від пористості. Відомо, що теплопровідність і електропровідність зразків, отриманих з однієї і тієї ж порошкової шихти різними методами (одне або двостороннє пресування в жорсткій матриці, ізостатичне пресування, холодне видавлювання, шлікерне лиття і т.д.) і мають близьку щільність, можуть істотно відрізнятися. Це пояснюється тим, що ці характеристики залежать не стільки від властивостей матеріалів частинок, скільки від стану контакту між ними, яке в ході подальших операцій, особливо зв'язаних з нагріванням і деформацією, також істотно змінюється.

У зв'язку з цим стосовно до пористих порошкових матеріалів слід застосовувати термін ефективної теплопровідності, що враховує її зміну в залежності не тільки від роду матеріалу пористої заготовки, але і від величини її пористості, розміру і форми частинок, ступеня окислення їх поверхні і стану контакту між частинками, яке в значній мірі визначається їх взаємним переміщенням в процесі формування тих чи інших конкретних методом.

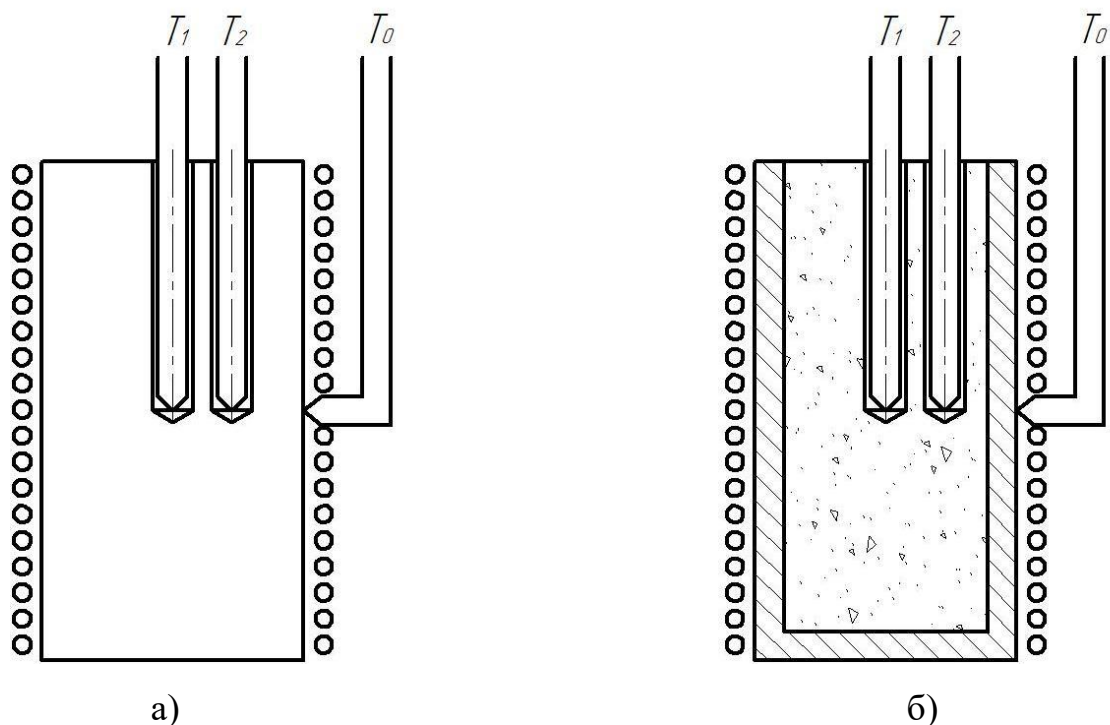
Дослідження проводилося на циліндричних зразках діаметром 100 і висотою 450 мм, отриманих з різних порошків титану, відсіву титанової губки, а також міді і заліза. Всі зразки були отримані гідростатичним пресуванням в гумових оболонках, і мали міцність, достатню для механічної обробки, яка була виконана з метою надання зразкам точної геометричної форми і заданих лінійних розмірів. Щільність зразків розраховувалася за результатами зважування та обмірів. Сумарна похибка визначення щільності не перевищувала 0,5%.

Для нагріву зразків на їх циліндричну поверхню через шар асботкані намотувався ніхромовий нагрівач. Схема розташування нагрівача і термопар

показана на рис. 3.5 а. термопара T_0 фіксувала температуру поверхні зразка, термопара T_1 - центр зразка, а термопара T_2 - температуру на половині радіуса для контрольного розрахунку, необхідного для перевірки програми.

З метою поліпшення теплових втрат і окислення зразків вони розміщувалися в циліндричній ємності діаметром 700 і висотою 1200 мм, заповненої аргоном в засипці кварцового піску фракції -0,4 мм, каленого при температурі 1000 °С. Криві нагрівання зразків представлені на рис. 3.6

З метою поліпшення теплових втрат і окислення зразків вони розміщувалися в циліндричній ємності діаметром 700 і висотою 1200 мм, заповненої аргоном в засипці кварцового піску фракції -0,4 мм, каленого при температурі 1000 °С. Криві нагрівання зразків представлені на рис. 3.6.

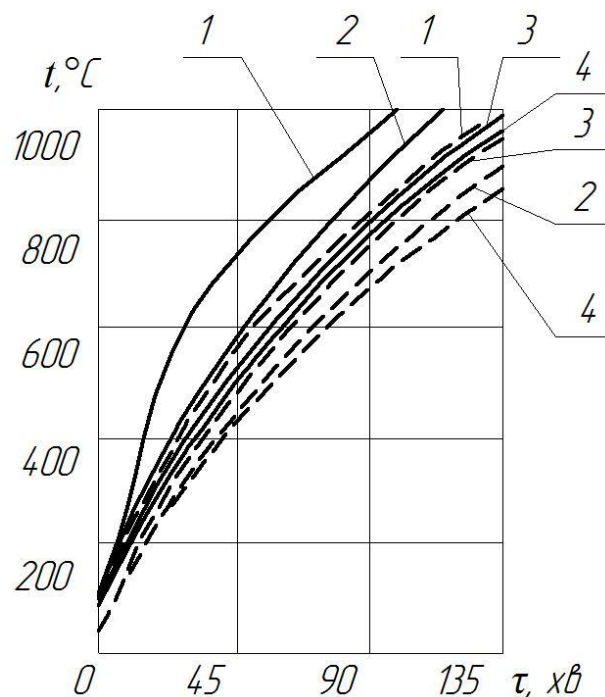


: а – порошкових пресовок; б – насипних середовищ.

Рисунок 3.5 - Схема експерименту по визначенню температуропровідності.

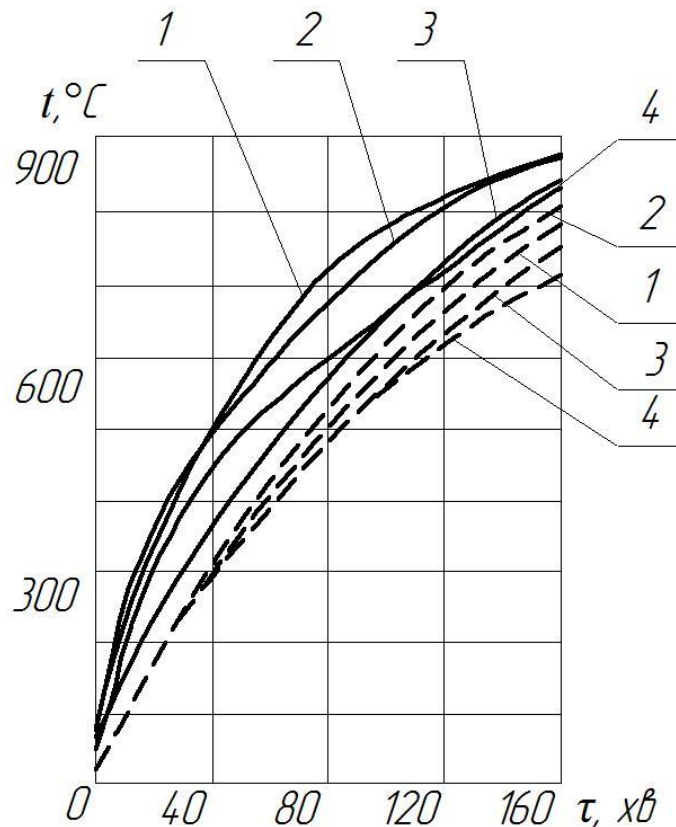
З метою зменшення теплових втрат і окислення зразків вони розміщувалися в циліндричній ємності діаметром 700 і висотою 1200 мм, заповненої аргоном в засипці кварцового піску фракції -0,4 мм, каленого при температурі 1000 °С.

Для нагріву пресуючих середовищ було використана капсула діаметром 100 і висотою 450 мм, на зовнішню поверхню якої через шар асботкани намотувався ніхромовий нагрівач. Схема розташування нагрівача і термопар показана на рис. 3.5. б. термопара T_0 фіксувала температуру поверхні досліджуваної середовища, а T_1 центру. Експерименти по нагріванню середовищ проводилися також, як і порошкових зразків, але без заповнення ємності аргоном. Криві нагрівання представлені на рис. 3.7.



1 – титан $\theta=80\%$; 2 – титан $\theta=50\%$; 3 – мідь $\theta=55\%$; 4 – залізо $\theta=50\%$.

Рисунок 3.6 - Графік нагрівання пористих заготовок.



1 – пісок вихідний 0,4мм; 2 – калений пісок 0,4 мм; 3 – калений пісок 0,1 мм; 4 – оксид алюмінію.

Рисунок 3.7 - Графік нагріву сипучих середовищ.

Розрахунок коефіцієнтів ефективної теплопровідності досліджуваних пористих зразків і середовищ виконувався виходячи їх умови нагріву суцільного циліндра при нестационарній температурі його поверхні. З огляду на те, що нагрів зразків здійснювався рівномірно по всій довжині циліндричної поверхні, а температура фіксувалася в середньому перерізі, а також той факт, що співвідношення висоти зразків до їх діаметра дорівнює 4,5 правомірно було при розрахунку вважати циліндр нескінченним. У цьому випадку рівняння теплопровідності має вигляд:

$$\frac{\partial T(r,t)}{\partial t} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} \right] \quad (3.1)$$

де α – коефіцієнт температуропровідності, м/с²;

$T(r,t)$ – температура, °К;

t – час, с;

r – поточний радіус зразка, м;

R – кінцевий радіус зразка, м;

$T(t)$ – температура на поверхні циліндра

При цьому початкові та граничні умови: $T(r,0)=0$; $T(R,t)=f(t)$; $T(0,t)\neq\infty$

Вирішуємо пряме рівняння Ханкеля:

$$T_H(\xi_i, t) = \int_0^R rT(r, t)J_0(r, \xi_i)dr \quad (3.2)$$

Та зворотнє:

$$T(r, t) = \frac{2}{R^2} \sum T_H(\xi_i, t) \frac{J_0(r, \xi_i)}{[J_1(R, \xi_i)]} \quad (3.3)$$

Отримаєм рішення задачі:

$$T(r, t) = \frac{2}{R^2} \sum \frac{\alpha_i J_0(\xi_i, r)}{J_1(R, \xi_i)} \int_0^1 f(\tau) \text{Exp}[-\alpha \xi_i^2 (t - \tau)] d\tau \quad (3.4)$$

Якщо початкова температура циліндру дорівнює 0, то 3.4 прийме вигляд:

$$T(r, t) = T_0 \frac{2\alpha}{R^2} \sum \frac{\alpha_i J_0(\alpha_i \frac{r}{R})}{J_1(\alpha_i)} \int_0^t f(\tau) T_0 \text{Exp} \left[a \frac{\alpha^2}{R^2} (2 - t) \right] d\tau \quad (3.5)$$

За результатами експериментальних даних нагріву пористих зразків і сипучих середовищ можна підібрати величину коефіцієнтів ефективної температуропровідності досліджуваних матеріалів за формулою (3.5). Оскільки функція нагріву видавалася таблично інтервал у натуральному виразі (3.5) обчислювався за формулою Гаусса із застосуванням квадратичної інтерполяції таблиці.

За знайденим значенням коефіцієнтів ефективної температуропровідності α_3 досліджених матеріалів були розраховані коефіцієнти ефективної теплопровідності:

$$\lambda_e = \alpha_3 \gamma c$$

де λ – коефіцієнт ефективної теплопровідності;

γ - щільність пористого матеріалу;

c - питома теплоємність матеріалу.

Середнє значення коефіцієнтів λ_e та α_3 для досліджуємих матеріалів в проміжку температур від 0 до 900 °С наведена у таблиці 3.1.

Коефіцієнти теплопровідності і температуропровідності компактних матеріалів взяті з довідника [27].

З таблиці видно, що температуропровідність і особливо теплопровідність пористих матеріалів істотно нижче, ніж відповідних компактних. Розрахунком виконаним за експериментальними даними, встановлено, що значення α_3 для пористих матеріалів, як і для компактних, змінюються з температурою.

Таблиця 3.1 - Середнє значення коефіцієнтів λ_e та α_s .

Матеріал	α		λ	
	пористий	компактний	пористий	компактний
Титан	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$6,35 \cdot 10^{-6}$	0,760	16,9
Титан	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$6,35 \cdot 10^{-6}$	1,94	16,9
Мідь	$1,12 \cdot 10^{-6}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	0,861	371,0
Залізо	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$	0,329	49
Пісок вихідний 0,4 мм	$1,0 \cdot 10^{-7}$	-	0,16	-
Калений пісок 0,4 мм	$1,0 \cdot 10^{-7}$	-	0,1	-
Калений пісок 0,1 мм	$1,0 \cdot 10^{-7}$	-	0,1	-
Оксид алюмінію-0,05	$2,5 \cdot 10^{-7}$	-	0,25	-

На рисунку 3.5 показано зміну значень α_s в інтервалі 0 - 900 °С відповідно для пористих матеріалів і сипучих середовищ. Можна відзначити, що у пористих титану і міді падіння температуропровідності з ростом температури протікає інтенсивніше, ніж у компактних, а у пористого заліза інтенсивність зменшення теплопровідності менше, ніж у компактного.

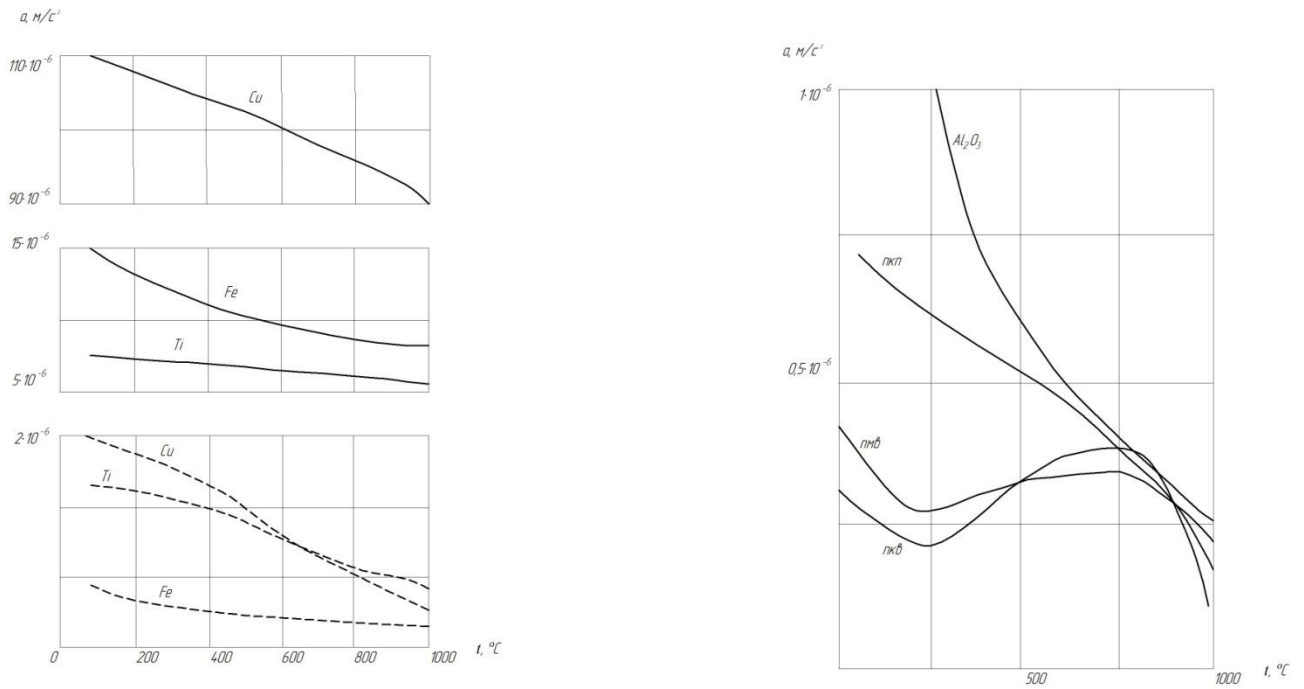


Рисунок 3.8 - Залежності температуропровідності пресовок та середовищ від температури.

Розроблена методика дозволяє обробляти експериментальні дані по нагріванню циліндричних заготовок з будь-яких порошкових матеріалів. Отримані дані дають можливість розрахувати нагрів порошкових заготовок, занурених в сипуче середовище для ГП.

Зіставлення впливу тиску пресування на відносну щільність (див.рис. 3.2), а щільності на ефективну теплопровідність (див. табл. 3.1) вказує на майже пряму залежність теплопровідності від тиску пресування при гідростатичному формуванні вихідних заготовок. Виходячи з цих даних можна зробити висновок, що оптимальний тиск гідростатичного формування знаходиться в межах 120...140 МПа.

3.2 Аналіз способів підвищення ефективності гідростатичних установок в процесах обробки під високим тиском різноманітних матеріалів

Виконані Бріджменом системні дослідження поведінки твердих тіл під високим гідростатичним тиском сприяли початку інтенсивного вивчення і практичного використання нових технологічних процесів: компактування виробів з порошкових металів, металокераміки і кераміки; екструзії профілів з різних матеріалів; отримання нових композиційних матеріалів, а так само технології пов'язані з їх зміцненням. У технологіях гідростатической обробки не рідкісні випадки, коли одержувані або оброблювані вироби при своїх значних габаритах, мають і складну геометричну форму. Для їх обробки потрібні і відповідних габаритів камери високого тиску (КВД). Чим більше габарити КВД, тим більше енергії потрібно витратити на обробку або отримання виробів. У даній роботі на основі математичного аналізу енергетичних складових «рідини» і «твердого тіла» та експериментальних даних запропонований і обґрунтований спосіб зменшення енергетичних витрат у технологіях гідростатической обробки різних матеріалів під високим тиском за рахунок використання суспензій як передає тиск «рідкого середовища».

3.2.1 Аналіз досягнень

Даних по вивченню енергетичних складових рідин під високим тиском дуже мало [28]. Відомості про зміну енергетичних характеристик під високим тиском суспензій і колоїдних систем і зовсім відсутні. У ряді робіт дається аналіз оцінки зміни в'язкості суспензій в залежності від кількості твердої фази [29]. У деяких дослідженнях по гідроекструзії наводяться дані, що з додаванням в солідол графіту (до 50%), необхідне технологічне тиск (в порівнянні з аналогічною технологією, але без добавок графіту) значно знижується [30]. При

розробці насосного та пресового устаткування енергетичні характеристики рідин визначають за формулою:

$$E = m \cdot P / \rho,$$

де: m – маса рідини по розрахункам (kg); ρ - щільність (kg/m³); P – розрахунковий тиск (MPa).

Максимальні розрахункові тиски ~ 32 МПа, при яких стисливість рідини можна не враховувати. У нафто - і гірничодобувної промисловості при перегонці шламових суспензій і подрібнених гірських порід в розрахунок береться тільки залежність їх динамічної в'язкості від кількісного складу твердої фази, без урахування енергоємності потоків [31].

У процесах гидростатической обробки (пресування порошкових виробів, екструзія, зміцнення виробів) технологічне тиск установки передається на виріб за допомогою стисливої рідини. Енергія стисливої рідини залежить: 1 - від величини створюваного тиску; 2 - від її (рідини) модуля об'ємного стиснення; 3 - від складу рідини (присутності в ній твердої фази). Відомо [32], що під тиском в тій чи іншій мірі стискаються все речовини. Модуль пружності твердих тіл на кілька порядків вище, ніж модуль об'ємного стиснення рідин. Тобто для вирішення ряду прикладних задач тверді тіла в порівнянні з рідинами можна вважати нестисливими. Це наводить на думку про використання в гідропресування в якості робочої середовища не чистої рідини, а суспензії, нестискувані частки якої дозволять знизити енерговитрати на стиск робочої рідини. Основне завдання даної роботи полягає у визначенні та порівнянні енергосилових параметрів «чистих» рідин і їх сумішей з порошками твердих тіл (металів, карбідів, нітридів, оксидів) в процесах Паскаля, у виявленні (для створення суспензій з оптимальними параметрами) найбільш підходящих рідин і порошоків (за розміром фракції, фізичним і міцності властивостями).

Визначення енергетичних характеристик рідин і твердих тіл пропонується розглядати на основі процесів ізостатичного стиснення. Так як всі без винятку в природі речовини зі збільшенням тиску стискаються, збільшуючи свою щільність і потенційну енергію, то в роботі аналізувалося, якою мірою зміна обсягу впливає на зміну потенційної енергії різних рідин і твердих тіл, в залежності від величини гідростатичного тиску. Повну енергію рідини визначають за величиною роботи, витраченої на її стиск в камері високого тиску. Вважаємо, що стиснення рідини виконується лінійно, тобто, що прикладається зусилля підвищується (наприклад, до 1 MN) лінійно. Тоді величина роботи, (похибка на енергію деформування КВТ складає ~0,4% при тиску $P = 500$ МПа та нею можна знехтувати) витраченої на стиск рідини, буде визначатися:

$$A = U_0 = \frac{F}{2} \cdot \Delta H, \quad (3.6)$$

де: A – робота, що витрачається на зміну об'єму стисливої рідини (J);

U_0 – внутрішня енергія стиснутої рідини (J);

F – зусилля, що прикладається на рідину (MN);

ΔH – зміна висоти рідини в КВД від прикладеної сили (F) (m).

Відомі висоти стиснутої рідини (ΔH) від дії сили (F), буде відповідати зміні її об'єму (ΔV) від тиску (P), (діаметр КВТ не змінюється), тоді (3.6) може бути записана у вигляді:

$$A = \frac{P}{2} \cdot \Delta V, \quad (3.7)$$

де: ΔV – зміна об'єму рідини від тиску, що прикладається в КВТ (m³);

P – гідростатичний тиск (МПа).

Стисливість будь-яких середовищ (ΔV) є величина, зворотна її модулю об'ємного стиснення, $\chi = 1/E_L$ та визначається [33]:

$$\chi = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta P}, \quad (3.8)$$

де: E_L - модуль об'ємного стиснення рідкого середовища.

Тоді, зміна модуля об'ємного стиснення буде визначатися як:

$$E_L = V \cdot \frac{\Delta P}{\Delta V}, \quad \text{та відповідно} \quad \Delta V = \Delta P \cdot \frac{V}{E_L}. \quad (3.9)$$

Підставляючи у вираз (3.7) значення (ΔV) з (4) і враховуючи, що (ΔP) в процесах гідростатики набуває конкретного значення тиску, що прикладається (P), то робота, а, отже, і внутрішня енергія, витрачена на стиск рідини об'ємом (V) з урахуванням зміни її фізичних властивостей (модуля об'ємного стиснення E_L), буде визначатися:

$$A = U_0^L = \frac{\Delta P^2}{2E_L} \cdot V, \quad \text{або} \quad A = \frac{P^2}{2E_L} \cdot V \quad (3.10)$$

Виходячи з двопараметричного рівняння Тейта, [34], що описує закон зміни об'єму рідини від величини тиску:

$$\frac{\Delta V}{V} = a \cdot \ln \frac{b+P}{b}; \quad V = 1 - a \cdot \ln \frac{b+P}{b}. \quad (3.11)$$

Тоді, відповідно (3.8)

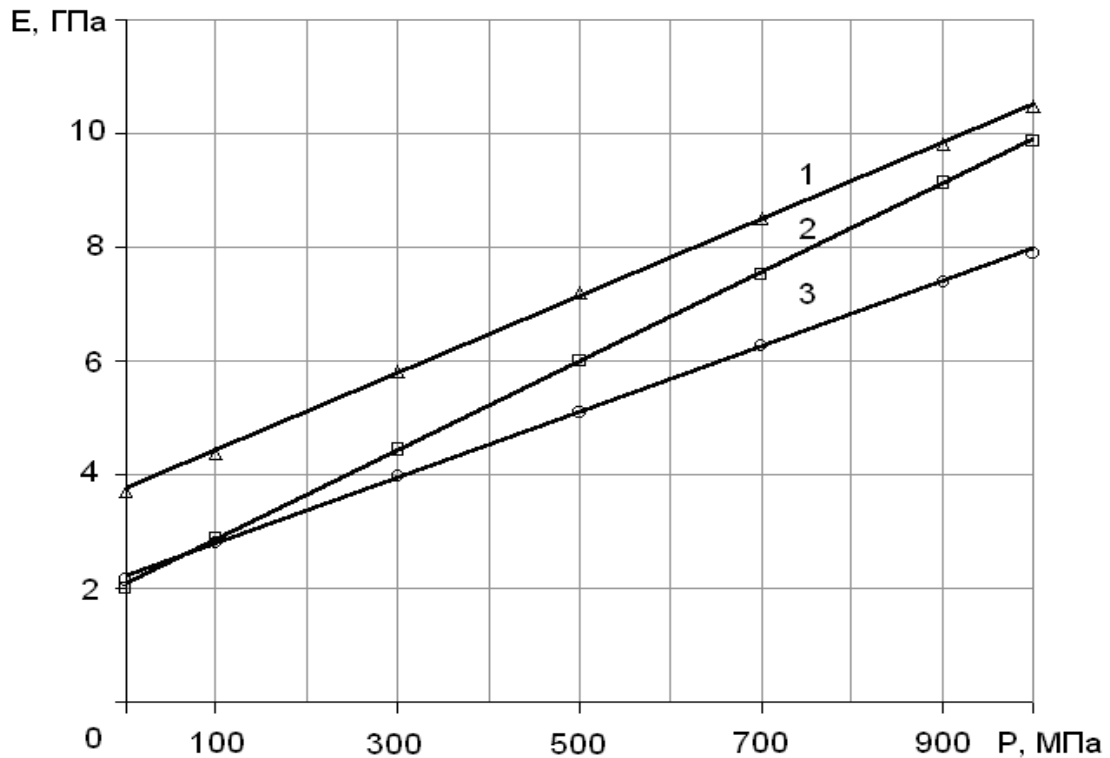
$$\chi = \frac{1}{1 - a \cdot \ln \frac{b+P}{b}} \cdot \frac{d\left(a \cdot \ln \frac{b+P}{b}\right)}{dP} \quad \text{или} \quad \chi = \frac{1}{1 - a \cdot \ln \frac{b+P}{b}} \cdot \frac{a}{(b+P)} \quad (3.12)$$

Використовуючи вираз ($\chi = 1/E_L$), знаходимо формулу модуля об'ємного стиснення рідини з використанням коефіцієнтів Тейта, які для багатьох рідин визначені і є довідковими даними [35].

$$E_L = \frac{(b+P)\left(1 - a \cdot \ln \frac{b+P}{b}\right)}{a}; \quad (3.13)$$

де: a та b – коефіцієнти стиснення рідини (Тэйтa).

Зміна модуля об'ємного стиснення від величини гідростатичного тиску ряду різних за фізичними властивостями рідин представлені на графіках рисунку 3.9.



1 - гліцерин, 2 - трансформаторне масло, 3 - вода.

Рис.3.9 - Зміна модуля об'ємного стиснення (E) рідин від величини тиску (P) при їх гідростатичному стисненні.

Величина потенційної енергії (U_p), одержуваної рідиною при її стисненні тиском (P), визначиться відповідно до залежностей (3.10) та (3.13) як:

$$U_p = \frac{P^2 \cdot a}{2(b+P) \left(1 - a \cdot \ln \frac{b+P}{b} \right)} \cdot V \quad (3.14)$$

Повну енергію стисненої рідини в процесах Паскаля з незначними похибками можна прирівняти до потенційної ($U_0 = U_p$).

Дані щодо зміни енергетичних параметрів рідини (гліцерину) і металу (заліза) від величини гідростатичного тиску об'ємом $V = 1 \text{ m}^3$ наведені в таблиці 1.

Фізичні характеристики гліцерину [36]: початкова в'язкість $\mu_0 = 1,48 \text{ Pa}\cdot\text{s}$; коефіцієнти стиснення (по Тэйту) $a = 0,117$ и $b = 425 \text{ MPa}$; пьезокоефіцієнт в'язкості $C = 0.58 \cdot 10^{-2} \text{ MPa}^{-1}$; модуль пружності при $T = 20^\circ \text{ C}$ - $E_0 = 4,15 \text{ GPa}$; питома вага $\gamma = 1.262 \text{ g/sm}^3$.

Фізичні характеристики заліза [37]: коефіцієнти стиснення (по Бриджмену) $c = 5.83 \cdot 10^{-7} \text{ MPa}^{-1}$ и $d = 0.8 \cdot 10^{-12} \text{ MPa}^{-2}$; модуль пружності $E_0 = 2 \cdot 10^2 \text{ GPa}$; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0.3$.

Таблиця 3.2 - Енергетичні характеристики рідини і металу при різних тисках гідростатичного обтиску.

Гідростат тиск (MPa)	Рідина (гліцерин)		Метал (залізо)		Сумарна потенційна енергія $(U_0) \cdot 10^6 \text{ (J/m}^3\text{)}$
	Відносна зміна об'єму $(V) \text{ (%)}$	Питома енергія стиснення $(U_L) \cdot 10^6 \text{ (J/m}^3\text{)}$	Відносна зміна об'єму $(V) \cdot 10^{-2} \text{ (%)}$	Питома енергія стиснення $(U_T) \cdot 10 \text{ (J/m}^3\text{)}$	
100	2.47	1.14	7.16	0.34	1.14
200	4.51	3.92	14.3	2.73	3.92
300	6.25	7.75	21.5	9.22	7.75
400	7.76	12.3	28.6	21.7	12.3
500	9.1	17.4	36.0	42.5	17.4

При створенні суспензій будемо вважати, що використовувана в них тверда фаза (порошки різних металів і неметалів) при тисках $\sim 1.5 \text{ GPa}$ - не

стискуються, а, отже, енергію не накопичує, тобто, при стисненні суспензій вся енергія акумулюється тільки в рідкій фазі.

Суспензії - це мікрогетерогенні системи, в яких дисперсна фаза тверда (сукупність часток, хімічно не взаємодіють з навколишнім їх рідким середовищем), а дисперсна середовище - рідина. Принцип їх існування - це:

1. Агрегативна стійкість (повне покриття частинок молекулами дисперсної середовища);

2. Можлива седиментація (осадження) частинок під дією сили тяжіння за тривалий проміжок часу [38].

З першим принципом (агрегативного) питання вирішується повністю - при високому тиску рідина здатна обволікати частки і проникати в мікропори з нанометровими габаритами. Другий принцип існування суспензій більш проблематичний і буде розглянуто нижче.

При використанні суспензій необхідно визначитися:

1 - у виборі матеріалу і габаритах частинок;

2 - якими властивостями повинна володіти використовувана рідке середовище.

Основним фактором при розгляді стійкості суспензій є отримання мінімально можливої швидкості осідання частинок (седиментації) обраного матеріалу. Здатність дисперсної системи зберігати рівномірний розподіл часток по всьому об'єму прийнято називати седиментаційною або кінетичною стійкістю системи. Про седиментаційною стійкості можна говорити тільки при розгляді вільнодисперсних систем, коли кожна частка вільна і знаходиться в тепловому русі. З використанням порошоків фракції 0,1 μm і менш суспензії вважаються стійкими [39].

Швидкість осідання частинок металевих порошоків визначається відповідно до залежності [40]:

$$U = \frac{2}{9} \frac{r^2 \cdot (\gamma_T - \gamma_L) \cdot g}{\eta} \quad (3.15)$$

де: U – швидкість осідання частинок (sm/s);

r – середній радіус частинок (sm) = 10^{-3} mkm;

$\gamma_T - \gamma_L$ - різниця питомої ваги матеріалу частинок і рідини (g/sm^3);

$g = 980$ - прискорення вільного падіння (sm/s^2);

η - динамічна в'язкість жидкості ($\text{Pa}\cdot\text{s}$) = $10 \text{ g/sm}\cdot\text{s}$.

Відповідно до формули (3.15), седиментаційна стійкість суспензій залежить: 1 - від різниці питомих ваг ($\gamma_T - \gamma_L$) частинок порошку і рідини, чим менше ця різниця, тим більш стійка дисперсна система; 2 - від динамічної в'язкості рідини (η), чим більше вихідна в'язкість рідкої фази суспензії, тим повільніше процес седиментації; 3 - від габаритів (фракції) використовуваних частинок (r).

В качестве жидкості при изготовлении суспензии наиболее приемлемы: глицерин или технические масла, как наиболее доступные, дешевые и не вредные в производстве.

Як порошоків твердих тіл: карбід кремнію, оксид алюмінію (корунд або глинозем марки ГК), пластинчастий або кубічний графіт. Всі ці порошки недефіцитні, нешкідливі, хімічно стійкі до різних середовищ, випускаються в різних фракціях (починаючи з $1\div 2$ mkm) в Україні и недорого. Їхня основна перевага (на відміну від металевих порошоків), це порівняно невелика питома вага ($\gamma = 3.2 \text{ g/sm}^3$ – SiC и $\gamma = 19.3 \text{ g/sm}^3$ – W), незначна ціна і великий вибір випускається фракційного складу.

З використанням гідростатів тиском до 1.5 GPa з внутрішнім діаметром контейнера 5.5 sm і менш, можна порекомендувати в якості твердих добавок в суспензіях використовувати матеріали з лускатої структурою: дисилицида молібдену, нітрид бору, графіт. Як правило, седиментація мікропорошків неметалів проводиться в воді. Дані по вільної (без застосування ультразвуку)

седиментації неметалічних мікропорошків в вузьких ($\eta \geq 1.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) середовищах відсутні, тому експериментальна частина включала в себе визначення за часом ступеня стійкості суспензій, рідка фаза яких - в'язка ($\eta \geq 1.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) рідина, тверда - мікропорошки матеріалів, питома вага яких (γ_T) $\leq 4 \text{ (g/sm}^3\text{)}$.

Експериментальна частина по седиментації проводилася з використанням гліцерину (властивості дані вище) і мікропорошків карбіду кремнію і корунду. 200 mm пробірку, заповнювали гліцерином (150 g) з ретельно розмішати мікропорошки (фракції 7 μm) SiC (30 g), ставили в темну кімнату ($T \sim 200 \text{ C}$) і кожні 30 хвилин на просвіт 100 ватної лампи відстежували ступінь осідання. Помітне початок осадження фіксувалося після 60 хвилин відстоювання; через 3 години - процес осадження проявлявся більш явно; через 48 годин - на дні пробірки утворилася в'язка маса - паста (концентрована суспензія) з об'ємною часткою твердої фази в ній $\sim 45 \div 47\%$. При аналогічній перевірці часу седиментації мікропорошку корунду (Al_2O_3) фракції 10 μm , результати були наступними: помітне початок осадження ~ 40 хвилин; через 24 години - на дні пробірки утворилася в'язка маса з об'ємною часткою твердої фази в ній $\sim 51 \div 53\%$. Рекомендований час роботи із запропонованими суспензіями (процентний склад твердої фази $10 \div 30\%$) має становити не більше 1 години, далі її бажано перемішувати.

Теоретично, швидкість осідання частинок SiC, визначена за формулою (11) для SiC становила $U = 0.37 \cdot 10^{-4} \text{ sm / s}$, або, за час 15 хвилин частинка в гліцерині повинна опуститься (седиментувати) на $0.33 \cdot 10^{-1} \text{ sm}$; і для Al_2O_3 швидкість осідання частинок становила - $U = 1.01 \cdot 10^{-4} \text{ sm / s}$, або, за час 15 хвилин частинка в гліцерині повинна опуститься (седиментувати) на $0.91 \cdot 10^{-1} \text{ sm}$. Практично, при вище наведених швидкостях осідання мікропорошків корунду і карбіду кремнію в гліцерині, можна рекомендувати у вигляді рідкої фази суспензій використовувати і менш в'язкі середовища (наприклад - технічні масла, в'язкість яких нижче, ніж у гліцерину). Для використання в суспензіях порошків металів, як інертна рідина підходить технічний вазелін, в'язкість якого при $T = 20^0 \text{ C}$ - $\eta = 20 \div 32 \text{ Pa}\cdot\text{s}$.

Дослідження з енергетичних складових суспензій проводилися на гідравлічному пресі, зусиллям 4 MN з використанням камери високого тиску виробництва ВНИИМЕТМАШ ім. А. І. Целікова ($P = 1500 \text{ MPa}$), з габаритами: внутрішній діаметр - $D_{\text{вн}} = 5.5 \text{ см}$; довжина $L = 35 \text{ см}$. Довжина «робочої зони» КВД (вся довжина L , мінус довжина пробки - 6 см , і заходу пуансона - 6 см) становила $\sim 23 \text{ см}$, об'ємом $V = 550 \text{ см}^3$.

Під цей об'єм готувалися 3 різних за концентрацією мікропорошку Al_2O_3 виду суспензій: 1 - обсяг гліцерину $V_1 \sim 450 \text{ см}^3$ змішували з 200 грамами мікропорошку корунду фракції 10 мкм ($\text{Al}_2\text{O}_3 - = 4 \text{ г} / \text{см}^3$, об'ємом по питомій вазі $V = 50 \text{ см}^3$), об'ємна концентрація твердої фази в рідкому в приготовленої суспензії - $1/9$; 2 - обсяг гліцерину $V_2 = 400 \text{ см}^3$ - мікропорошку Al_2O_3 - 400 грам ($V = 100 \text{ см}^3$), концентрація суспензії - $1/4$; 3 - обсяг гліцерину $V_3 = 350 \text{ см}^3$ - мікропорошку Al_2O_3 - 600 грамів ($V = 150 \text{ см}^3$), концентрація суспензії - $3/7$. Всі склади ретельно перемішувалися, і по черзі заливалося в КВД для проведення замірів ступеня їх стиснення. Загальний обсяг кожної суспензії становив 500 см^3 , висота заповнення $H_1 \sim 21 \text{ см}$. Стиснення суспензій в і «чистого» гліцерину в КВД проводили під тиском 300, 500 і 700 MPa, с фіксацією зміни обсягів ΔV_C - суспензій і ΔV_G - гліцерину. За різницею змін обсягів $\Delta V_G - \Delta V_C$ розраховувалося кількість питомої енергії, «зеконмленої» на використанні суспензій з різною концентрацією мікропорошку Al_2O_3 , на відміну від «чистого» гліцерину, при однакових тисках навантаження. Дані зі стиснення і результати розрахунків заносилися в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 - Зміна об'ємів суспензій різних за концентрацією в них мікропорошку Al_2O_3 і чистого гліцерину при різних тисках і різниця в витраченій питомій енергії на їх стиснення.

Гідростат тиск P (МПа)	Зміна об'єму чистого гліцерину ΔV_G (см ³)	Зміна об'єму суспензії ΔV_C (см ³)			Питома енергія стиснення чистого гліцерину $U_{\bar{A}} \cdot 10^6$ (J/m ³)
		Об'ємна концентрація (%)			
		10	20	30	
0	0	0	0	0	-
300	31	28	25	22	7.75
500	45	41	36	32	17.4
700	57	51	46	40	28.7

Продовження таблиці 3.3

Питома енергія стиснення суспензій $U_{\bar{N}} \cdot 10^6$ (J/m ³)			Різниця в зміні об'єму чистого гліцерину та суспензії ($\Delta V_G - \Delta V_C$) ΔV (см ³)			Різниця в питомій енергії стиснення чистого гліцерину та суспензій $U_{\bar{A}-\bar{N}} \cdot 10^6$ (J/m ³)		
Об'ємная концентрація (%)			Об'ємная концентрація (%)			Об'ємная концентрація (%)		
10	20	30	10	20	30	10	20	30
-	-	-	0	0	0	-	-	-
7	6.2	5.4	3	6	9	0.75	1.55	2.35
15.7	13.9	12.8	4	9	13	1.7	3.5	4.6
25.8	23	20.1	6	11	17	2.9	5.7	8.6

Як видно з експериментальних даних, зміна обсягу стислих суспензій, при однаковому тиску буде менше, ніж стиснення «чистих» рідин, а, отже, і загальні енерговитрати установок так само зменшаться. Зміна обсягу суспензії

під тиском відповідає зміні об'ємного міститься в ній рідкої фази, таким чином, в суспензіях стискається тільки рідина і чим менше в (% відношенні) рідини в суспензії, тим менше будуть потрібні енерговитрати в процесах гидростатической обробки. Зі збільшенням габаритів КВТ запропонований спосіб може значно впливати на економію енерговитрат. При створенні суспензій (визначення процентного вмісту твердої фази в рідині) необхідно збереження їх плинності, тобто, мінімального тертя між частинками. Ступінь концентрації суспензій характеризується рухом частинок в рідкій фазі. Максимально концентрованими вважаються суспензії (або пасти) з вмістом в рідині твердої фази $\sim 59 \div 65\%$, в залежності від форми частинок [39]. При використанні концентрованих суспензій в процесах гидростатической обробки необхідно враховувати, що рідини стискувані (тиск $P = 0.5$ GPa, зміна об'єму (ΔV) - $8 \div 10\%$; тиск $P = 1$ GPa, зміна обсягу (ΔV) - $16 \div 18\%$; тиск $P = 1.5$ GPa, зміна обсягу (ΔV) - $20 \div 22\%$. з урахуванням вище наведених даних можна рекомендувати: при гідростатичної обробки тиском до 0.5 GPa зміст рідкої фази в суспензії - не менше 50% ; при роботі з тиском до $= 1$ GPa , зміст рідкої фази - не менше 58% ; і при роботі з тиском до $= 1.5$ GPa, зміст рідкої фази - не менше 62% [41].

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні процесу ущільнення брикету при виготовленні деталей з заданою пористістю з титанового порошку.

4.1. Аналіз потенційних небезпек

- а. Порухення вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідів в приміщенні дослідницької лабораторії;
- б. Ураження електричним струмом у результаті порушення правил електробезпеки, несправності електрообладнання, відсутності захисного заземлення;
- в. Небезпеки, які притаманні виконанню дослідницьких робіт з модернізації технології ущільнення брикетів з порошкових матеріалів;
- г. Небезпеки, які притаманні при використанні комп'ютерної техніки для обробки отриманих результатів;
- г. Недостатнє освітлення робочої зони при недотриманні ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення»[43], визиває погіршення зору, підвищує кількість помилок;
- д. Невідповідність значень параметрів мікроклімату зазначених у ДСН 3.3.6.042-99 « Державні санітарні норми параметрів мікроклімату»[44], що знижує працездатність, погіршує самопочуття, може призвести до профзахворювань;
- е. Можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, короткого замикання електропроводки, тощо;
- є. Непоінформованість персоналу у відповідній послідовності дій в умовах надзвичайної ситуації, що призводить до травмування та до інших непередбачених негативних наслідків.

4.2 Заходи з забезпечення безпеки

а. Виробниче середовище в приміщеннях сполучають в собі раціональні архітектурно-планувальні рішення, найбільш оптимальні санітарно-гігієнічні умови, науково обґрунтоване кольорове фарбування.

Відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»[44] здійснено наступні вимоги до приміщення дослідницької лабораторії:

об'єм, відведений на одне робоче місце не менше 20 м³;

Згідно ГОСТ 12.2.032-78"СС «Робоче місце при виконанні робіт сидячи»[45]. Загальні ергономічні вимоги конструкція робочого місця повинна забезпечувати оптимальне положення співробітника, що досягається за рахунок регулювання висоти сидіння та підставки для ніг. Підставка для ніг повинна регулюватися по висоті. Ширина повинна бути не менше 300 мм, довжина – не менш 400мм. Поверхня підставки повинна бути рифленою. По передньому краю слід передбачити борти висотою 10мм. Важливим фактором є простір під столом, його має бути досить, щоб можна було зручно згинати та розгинати коліна. Стіл повинен мати криволінійну форму. Крісло повинно забезпечити фізіологічно раціональну робочу позу, при якій порушується циркуляція крові і не було іншого шкідливого впливу. Для цього необхідно, щоб у крісла була пружна спинка анатомічної форми, яка зменшить навантаження на хребет. Також крісло обов'язково повинно бути з підколінниками і мати можливість повороту, зміни висоти і кута нахилу сидіння і спинки. Монітор повинен розташовуватись на робочому столі прямо, і віддаленням від очей мінімум на 50-60 см. Верхня границя екрану повинна бути на рівні очей або не нижче 15 см від рівня очей. Клавіатура повинна розташовуватися в 10-15 см (в залежності від довжини ліктя) від краю стола. Глибина стола повинна дозволяти повністю положити лікті на стіл, відсунути клавіатуру до монітора.

б. За ступенем небезпеки ураження електричним струмом, відповідно до ПУЕ 2015 «Правила улаштування електроустановок»[46], приміщення ДЛ відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

Заходи по забезпеченню електробезпеки розроблено у відповідності до ГОСТ 12.1.019-90 ССБТ «Электробезопасность. Общие требования»[47] і ГОСТ 12.1.030-91 ССБТ «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление»[48]. За способом захисту людини від ураження електричним струмом – відео термінали, ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ відповідають першому класу захисту згідно з ДСТУ 12.2.007- 75 «Изделия электротехнические. Общие правила безопасности»[49] та ГОСТ 25861-83 «Машины вычислительные и системы обработки данных»[50]. Требования электрической и механической безопасности и метода испытаний» та заземлені відповідно до ДНАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»[51].

Для забезпечення електробезпеки у використано наступні технічні заходи та засоби електробезпеки:

- ізоляція струмопровідних частин згідно ДСТУ 12.2.007-75 «Система стандартів безпеки праці. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки»[49];
- недоступність струмопровідних частин;
- захисне відключення за ДСТУ 12.2.007- 75[49];
- ізоляція струмопровідних частин за НАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок»[52];
- захисне заземлення за ГОСТ 12.1.0030-81 ССБТ «Захисне заземлення , занулення»[53], НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок»[52];
- блокування, занулення за ПУЕ-2015 «Правила улаштування електроустановок» [46];

- захисне розділення електричних мереж ДСТУ ІЕС 61140:2005 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання (ІЕС 61140:2001, IDT)»[52];
- компенсація ємнісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів тощо.

Електромережа у приміщенні, у відповідності до ГОСТ 12.2.007.0-75 «Изделия электротехнические. Общие правила безопасности»[49], вмикаються/вимикаються за допомогою пускової апаратури.

У цехах передбачено використання тільки трьохполюсних розеток, один з полюсів яких підключено до шини захисного заземлення. З цим полюсом електрично-з'єднані металеві частини обчислювальних машин, які можуть опинитися під напругою.

Кожний блок живлення комп'ютера або периферійного пристрою має сітьовий фільтр. Конденсатори цього фільтру призначені для шунтування високочастотних перешкод живильної мережі на землю через дріт «земля» трьохполюсної вилки та розетки. Цей дріт може бути з'єднаний з заземлюючим контуром і з «нулем» силової мережі. При відсутності гальванічного зв'язку заземлюючого дроту з шиною захисного заземлення, на корпусі електронного пристрою може з'явитися напруга порядку 110 В, внаслідок поділу напруги мережі 220 В конденсаторами сітьового фільтру, що працює у даному випадку як ємнісний роздільник напруги.

При з'єднанні двох електронних засобів (наприклад, комп'ютера та принтера) інтерфейсним кабелем, загальний дріт інтерфейсів послідовних та паралельних портів зв'язаний зі «схемною землею» і корпусом електронного засобу. Тому, для усунення проблеми різності потенціалів, електронні засоби надійно заземлені через окремий дріт на загальний контур.

При підключенні електронних засобів до мережі живлення, виключено застосування сітьових дротів з двохполюсною вилкою для підключення до трьохполюсної розетки. В іншому випадку може виникнути різність потенціалів, що призведе до виходу електронної апаратури зі строю.

Електрична ізоляція забезпечується конструкціями пристроїв і способами їхнього підключення. Відповідно до ПУЕ 2015 «Правила улаштування електроустановок» [46] в електроустановках до 1000 В мінімальне значення опору ізоляції силових і освітлювальних електропроводок на ділянці між суміжними запобіжниками або за останніми запобіжниками між будь-яким проведенням і землею становить не менш 0,5МОм.

в. При проведенні дослідницьких робіт по виготовленню пресованих виробів з порошкових матеріалів слід дотримуватися таких правил безпеки, а саме:

- Незадовільна професійна підготовка фахівців, яка може привести до порушення вимог технологічного процесу і правил з охорони праці, як наслідок, до травматизму або професійних захворювань;

- Незадовільна організація робочого місця може бути пов'язана з недостатнім урахуванням вимог ергономіки, захламленістю робочої зони і нерациональним розміщенням технологічного обладнання;

- Ураження електричним струмом. Головними причинами поразки можуть бути:

порушення правил електробезпеки, несправність обладнання, наприклад, поява напруги на неструмоведучих частинах обладнання, внаслідок обриву заземлення, може призвести до електричних травмування або смерті.

- Механічні травми. Отримання механічних травм є однією з основних небезпек при ущільненні брикетів, що визначається наступними факторами: рухомі і обертові частини технологічного обладнання, а також особливості технологічних способів формоутворення. Основними причинами травм при ущільненні брикету є:

- відсутність захисних пристосувань для запобігання аварійних ситуацій;

- порушення правил по охороні праці при виконанні операцій формоутворення

- незадовільний стан прес-форми, що може призвести до її миттєвої руйнації.

- Важкість праці - це характеристика трудового процесу, яка обумовлена

навантаженням на кістковом'язовий апарат, серцево-судинну, дихальну та ін. системи організму людини.

- Незадовільні параметри повітряного середовища. Внаслідок несправності, забрудненості системи вентиляції, недотримання належних метеорологічних умов на виробництві, можуть бути причинами погіршення здоров'я, захворювань загального характеру і зниження продуктивності праці.

- Недостатня освітленість. Несправний стан освітлювальних приладів або їх надмірна забрудненість може викликати погіршення зору, погіршення здатності розрізняти об'єкти, а також привести до травм.

- Можливість загоряння, причинами якого є порушення правил пожежної безпеки, витік горючих газів, коротке замикання.

г. Є багато небезпек, які притаманні при використанні комп'ютерної техніки для обробки отриманих результатів. Деякі з них:

- Підвищений рівень напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може пройти через тіло працюючого.
- Підвищений рівень рентгенівського випромінювання.
- Підвищений рівень ультрафіолетового випромінювання.
- Підвищений рівень інфрачервоного випромінювання.
- Можливість ураження статичною електрикою.
- Запиленість повітря робочого приміщення.
- Нерівномірний розподіл яскравості в полі зору.
- Підвищений рівень пульсації світлового потоку.
- Підвищений вміст у повітрі вуглекислого газу, озону, аміаку, фенолу, формальдегіду та ін
- Напруга зору.
- Напруга пам'яті.
- Напруга уваги.
- Тривале статичне напруження.

- Відносно великий обсяг інформації, що обробляється в одиницю часу.
- Монотонність праці в окремих випадках.
- Нераціональна організація робочого місця.

Заходи по забезпеченню безпеки при роботі з комп'ютерною технікою треба використовувати заходи які прописані в НПАОП 0.00-7.15-18 «ВИМОГИ щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями»[53]

4.3 Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці

г. Всі норми по освітленості визначені згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення»[44].

Природне освітлення здійснюється через віконні прорізи, при цьому коефіцієнт природної освітленості КПО не нижче 1,5% за нормами ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення»[44]. Робочі місця у приміщенні розташовані подалі від вікон таким чином, щоб сонячне світло не потрапляло на екран монітору. Вікна оснащені сонцезахисною плівкою з металізованим покриттям.

У тих випадках, коли одного природного освітлення недостатньо, використовується штучне освітлення. Штучне освітлення в приміщеннях здійснюється системою загального рівномірного освітлення. При цьому штучне освітлення застосовують не тільки в темний, але й у світлий час доби.

Найбільш прийнятними для приміщень є люмінесцентні лампи ЛБ (білого світла) потужністю 20, 40 або 80 Вт, які встановлюються в світильники типу ЛПО.

При застосуванні люмінесцентних ламп дотримуються наступних умов:

- температура навколишнього повітря не повинна бути нижче за 5 °С;
- напруга на освітлювальних приладах повинна бути не менше ніж 90% від номінальної.

Допускається застосування ламп розжарення у світильниках місцевого освітлення. Загальне освітлення варто виконувати у виді суцільних чи переривчастих ліній світильників, розташованих збоку від робочих місць.

д. У приміщенні на робочих місцях з комп'ютерною технікою КТ нормалізація параметрів повітряного середовища забезпечується згідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»[44] і ГОСТ 12.1.005-88* «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»[54], що наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Норми мікроклімату для приміщень з КТ

Пора року	Категорія робіт	Температура повітря, °С, не більше	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодна	легка -1а	22-24	40-60	0,1
	легка -1б	21-23	40-60	0.1
Тепла	легка -1а	23-25	40-60	0.1
	легка -1б	22-24	40-60	0.2

Найбільш оптимальним методом забезпечення формованих параметрів повітряного середовища в лабораторії є кондиціонування. В таблиці 2.2 наведені дані для розрахунку зовнішнього повітря в теплий період.

Таблиця 2.2 Вихідні дані для розрахунку кількості зовнішнього повітря.

Задані параметри	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q, кДж/год	10000	7500	5800	6200	8600	9100	5200	6750	7300	7800
T, С°	33	30,5	29	29,5	32	32,5	28,5	30	31	31,5

Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщення ОЦ відповідають санітарно-гігієнічним нормам ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні

норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень»[55], що наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 Рівні іонізації повітря приміщень з КТ

Рівні іонізації повітря	Кількість іонів в 1 см ³ повітря	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

Оптимальний рівень легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях підтримується за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

У приміщенні забезпечений приплив свіжого повітря, кількість якого визначається техніко-економічним розрахунком і вибором схеми системи вентиляції. Мінімальна витрата повітря визначається з розрахунку 50...60 м³/год на одну людину, але не менш дворазового повітрообміну за годину.

Для забезпечення постійних параметрів мікроклімату встановлені побутові кондиціонери типу MITSUBISHI ELECTRONIC MSZ-GE35VA з холодопродуктивністю 4300 ккал/год. При невеликому забрудненні зовнішнього повітря кондиціонування приміщень здійснюється із перемінними витратами зовнішнього повітря й рециркуляційного.

4.4 Заходи з пожежної безпеки

е. До первинних засобів тушіння пожеж, призначених для ліквідації невеликих загорянь використовуються пожежні стволи, внутрішні пожежні водопроводи, вогнегасники. Згідно НАПББ.03.001-2004 «Типові норми

належності вогнегасників»[56] при захисті від пожежі приміщення з ПЕОМ використовуються вуглекислотні вогнегасники ВВК-1,4, ВВК-2 або аерозольні водопінні вогнегасники ВВПА-400.

Згідно з НАПБ Б.03.001-2004«Типові норми належності вогнегасників»[57] приміщення з ПЕОМ необхідно оснащувати переносними вуглекислотними вогнегасниками з розрахунку один вогнегасник ВВК-1,4 або ВВК-2 або ВВПА-400 на три ПЕОМ, але не менше ніж один вогнегасник, перелічених типів на приміщення.

У випадку пожежі передбачено шляхи евакуації робітників проходи, проїзди, евакуаційні виходи у відповідності до ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»[58]. Евакуаційні виходи розташовано розосереджено у кількості не менше двох на споруду.

Коридори та проходи, що призначені для евакуації, мають як можна меншу довжину та мінімальну кількість поворотів. На усій протяжності проходу відсутні пороги або проміжні ступені, відповідно з СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания»[59].

Важливу роль у забезпеченні безпечного виходу людей грає протидимовий захист евакуаційних ходів. У будинках висотою до 9 поверхів незадимлюваність сходових кліток на час евакуації досягається їхньою ізоляцією від підвалів, горищ і поверхів. Для цього влаштовані відособлені входи в підвали, вхід на сходову клітку з поверхів здійснюють через тамбур - шлюз із підпором повітря, відокремлюють горища від сходових кліток перекриттями з негорючих матеріалів.

4.5 Заходи з забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях

Порядок дій сил цивільного захисту у вогнищі хімічного ураження.

Вогнища хімічного ураження (ВХУ) виникають у результаті застосування супротивником ОР, а також при руйнуванні хімічно небезпечних об'єктів, які виготовляють чи використовують у технології СДОР (такі вогнища прийнято називати вторинними). При надходженні перших даних про виникнення ВХУ начальники і штаби ЦО оповіщають населення в зоні зараження і у районах, яким загрожує небезпека від хмари зараженого повітря, яка поширюється, ставлять завдання хімічній і медичній розвідкам, віддають розпорядження про проведення заходів щодо захисту населення, приймають рішення й організують проведення РІНР у вогнищах. До РІНР залучаються окремі батальйони спеціального захисту, підрозділи хімічного захисту військових частин ЦО, зведені загони (команди) протирадіаційного і протихімічного захисту, медичні формування, команди знезаражування й інші спеціально підготовлені й оснащені підрозділи і формування. Особовий склад сил ЦО, що вводиться у ВХУ, забезпечується ЗІЗ органів дихання і шкіри, антидотами, індивідуальними протихімічними пакетами.

Першими у ВХУ для надання допомоги ураженим вводяться медичні підрозділи військових частин і формування медичної служби ЦО, а також підрозділи хімічного захисту та формування протирадіаційного і протихімічного захисту. Основні завдання цих сил – надання негайної медичної допомоги ураженим, їх евакуація на незаражену місцевість і проведення дегазації території, споруд і техніки. У першу чергу евакуюють людей, які не мають засобів захисту органів дихання, потім тих, хто має протигази і вже одержали першу медичну допомогу; в останню чергу евакуюють людей, укритих в обладнаних фільтровентиляційними установками сховищах.

При проведенні рятувальних робіт у вторинному вогнищі ураження основні зусилля спрямовуються на локалізацію джерел отруйної речовини і запобігання її подальшого надходження на місцевість і в повітря.

Підрозділи хімічного захисту і формування протирадіаційного та протихімічного захисту в період проведення рятувальних робіт у ВХУ дегазують ділянки місцевості і доріг, будинки і споруди, проводять санітарну

обробку особового складу військових частин, формувань і населення, знезаражують їх засоби захисту й одяг. Черговість проведення цих робіт визначається начальником ЦО, виходячи з конкретної обстановки. Для санітарної обробки населення, яке евакуюється з ВХУ, і дегазації транспортних засобів поблизу маршрутів евакуації на незараженій місцевості підрозділами хімічного захисту частин ЦО розгортаються пункти спеціальної обробки.

РІНР у ВХУ виконуються в протигазах і засобах захисту шкіри. Тривалість роботи змін у ВХУ залежить, головним чином, від припустимого часу безупинного перебування в ЗІЗ. Щоб уникнути перегріву і виходу його з ладу через теплові удари застосовують спеціальні комбінезони, що екранують, і поливання захисних костюмів водою.

Роботи проводяться з максимальною інтенсивністю до повного їх завершення в найкоротший термін, із залученням необхідної кількості сил і засобів та з дотриманням заходів безпеки. Заміна формувань здійснюється за рахунок резервів і залучення додаткових спеціальних формувань. У залежності від хімічної обстановки у вогнищах РІНР можуть проводитися послідовно (спочатку в окремих, найбільш важливих місцях) або одночасне на всій території ВХУ. Вогнища вважаються ліквідованими, коли перебування людей без засобів захисту в них стає безпечним. На період проведення робіт вогнище ураження оточується, встановлюється комендантська служба й організовується охорона громадського порядку.

ВИСНОВКИ

1. Титан використовують в різноманітних галузях промисловості. Машинобудування, медицина, харчова промисловість усі вони потребують виробів з цього матеріалу. Найпоширеніші галузі машинобудування це: авіація, космічні кораблі та апарати, автомобілебудування, тощо. Таке широке поширення саме цього матеріалу пов'язано з його видатними властивостями, такими як: міцність, легкість, стійкість до корозії.

При виготовленні виробів з титанових сплавів усі виробники прагнуть до зменшення матеріаломісткості та скорочення етапів механічної обробки. Саме тому найбільшого поширення набули методи порошкової металургії.

2. Розроблена методика дозволяє обробляти експериментальні дані по нагріванню циліндричних заготовок з будь-яких порошкових матеріалів. Отримані дані дають можливість розрахувати нагрів порошкових заготовок, занурених в сипуче середовище для ГП.

Зіставлення впливу тиску пресування на відносну щільність та щільності на ефективну теплопровідність вказує на майже пряму залежність теплопровідності від тиску пресування при гідростатичному формуванні вихідних заготовок. Виходячи з цих даних можна зробити висновок, що оптимальний тиск гідростатичного формування знаходиться в межах 120...140 МПа.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. <https://extxe.com/5921/primenenie-poroshkovoij-produkcii-iz-titana/>
2. <http://ztmc.zp.ua/uk/>
3. Ильин А.А. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник / А.А. Ильин, Б.А. Колачёв, И.С. Полькин. - М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. - 520 с.
4. Фроус Ф.Х. Порошковая металлургия титановых сплавов. Сб. науч. трудов. / Ф.Х. Фроус, Дж.Е. Смугерски, Пер. с англ. - М.:Металлургия, 1985. 263 с.
5. Пат. 2228960 Российская Федерация, МПК С22В 1/248, С22В 7/00, В22Г 8/00. Способ получения деформированных полуфабрикатов из металлической стружки / Гиршов В.Л., Трещевский А.Н., Петров В.А.; заявители и патентообладатели Общество с ограниченной ответственностью "Научнопроизводственное общество "Металлоресурс". - № 2002131407/02; заявл. 15.11.2002; опубл. 20.05.2004.
6. Пат. 2197548 Российская Федерация, МПК С22В 9/20, С22В 9/18, Н05В 7/07. Способ получения расходуемых электродов из металлической стружки / Гиршов В.Л. [и др.]; заявители и патентообладатели Государственное унитарное предприятие "Центральный научноисследовательский институт материалов". - № 2001109063/02; заявл. 28.03.2001; опубл. 27.01.2003.
7. Филиппов М.А. Методология выбора металлических сплавов и упрочняющих технологий в машиностроении: учебное пособие: в 2 т. Т.П. Цветные металлы и сплавы / М.А. Филиппов, В.Р. Бараз, М.А. Гервасьев. - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. - 236 с.
8. Осокин Е.Н. Процессы порошковой металлургии. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: курс лекций / Е.Н. Осокин, О.А. Артемьева. - Красноярск: ИПК СФУ, 2008.

9. Изостатические прессы промышленного назначения. Оборудование для гидро- и газостатирования, развивающее давление до 600 МПа и температуры до 2200°С. [Электронный ресурс]. - департамент "Машиностроение" ОАО "ВНИИР", 2008.

10. Мэттьюз Ф. Композитные материалы. Механика и технология / Ф. Мэттьюз, Р. Ролингс. - М.: Техносфера, 2004. - 408с.

11. Ивасишин О.М. Производство титановых сплавов и деталей экономичным методом порошковой металлургии для широкомасштабного промышленного применения / О.М. Ивасишин [и др.] // Наука та шновацп. - 2005. - Т.1. - № 2. - С. 44 - 57.

12. Андриевский Р.А. Порошковое материаловедение/Р.А. Андриевский. - М.: Металлургия, 1991. - 205с.

13. Кларк Ф. Новейшие методы порошковой металлургии / Ф. Кларк. - М.:Атомиздат, 1965. - 223 с.

14. Бальшин М.Ю. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна / М.Ю. Бальшин. - М.: Металлургия, 1972. - 336 с.

15. Перельман В.Е. Формование порошковых материалов / В.Е. Перельман. - М.: Металлургия, 1979. - 232 с.

16. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением / В.Л. Колмогоров. - Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001. - 836 с.

17. Трахтенберг И.Ш. Механические свойства и структура пористого титана, полученного спеканием компактированной губки / И.Ш. Трахтенберг [и др.] // Физика металлов и материаловедение. - 2008. - Т.105. - № 1. - С. 99-104

18. Портной К.И. Структура и свойства композиционных материалов / К.И. Портной, С.Е. Салибеков, И.Л. Светлов. - М.:Машиностроение, 1979. - 255с.

19. Соколовский В.В. Теория пластичности / В.В. Соколовский. - М.: Высшая школа, 1969. - 608 с.

20. Грин Р.Дж. Теория пластичности пористых тел / Р.Дж. Грин // Сб. переводов «Механика». - 1973. - №4. - С.109-120.

21. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды / А.А. Ильюшин. - М.: Изд-во МГУ, 1990. - 310 с.
22. Соколкин Ю.В. Механика деформирования и разрушения структурно неоднородных тел / Ю.В. Соколкин, А.А. Ташкинов. М.: Наука, 1984. - 116 с.
23. Панин В.Е. Структурные уровни пластической деформации и разрушения / В.Е. Панин [и др.] - Новосибирск: Наука, 1990. - 255 с.
24. Трусов П.В. Многоуровневые модели неупругого деформирования материалов и их применение для описания эволюции внутренней структуры / П.В. Трусов, А.И. Швейкин, Е.С. Нечаева, П.С. Волегов // Физическая мезомеханика. - 2012. - Т. 15. - № 1. - С. 33-56.
25. Ломакин В.А. Статистические задачи механики твердых деформируемых тел / В.А. Ломакин. - М.: Наука, 1970. - 1970 с.
26. Крючков Д.И. Моделирование и совершенствование процессов прессования титановых композитов из порошкообразного сырья: дис. ... канд.техн.наук: 05.16.05/ Денис Игоревич Крючков.-Екатеринбург, 2015.-143с.
27. Тепло и массообмен: справочник.-М.: Энергоиздат, 1982.-624 с.
28. Процессы изостатического прессования. Под ред. П. Дж. Джеймса. - М.: Металлургия, 1990. -192 с.
29. Шершавина. А. А. Физическая и коллоидная химия. Методы физико-химического анализа/ А.А. Шершавина -М.: Химия, 1981. -800 с.
30. Механические свойства металлов под высоким давлением. Под ред. Х. Л. Пью. –Вып. 2 -М.: Мир, 1973. -374 с.
31. Босниев К. С., Дмитриев Н. М., Розенберг Г. Д. Нефтегазовая гидромеханика /К.С. Босниев, Н.М. Дмитриев, Г.Д. Розенберг – Москва Ижевск.: Институт компьютерных исследований, 2005. -544 с.
32. Бриджмен П. В. Новейшие работы в области физики высоких давлений/ П.В. Бриджмен. -М.: ИЛ, 1948. -300 с.
33. Х. Кухлинг. Справочник по физике/ под ред. Е. М. Лейкина. -М.: Мир, 1983.-520 с.

34. Циклис Д. С. Техника физико-химических исследований при высоких и сверхвысоких давлениях/ Д.С. Циклис. -М.: Химия, 1976. -432 с.
35. Исследования в области высоких давлений. Под ред. Золотых Е. В. - М.: Издательство стандартов, 1987. –304 с.
36. Косинский В. В. Влияние физических свойств жидкостей на процесс пропитки пористых тел под высоким давлением/ В.В. Косинский.- МЕТАЛЛУРГИЯ. Труды запорожской государственной инженерной академии. Выпуск 8, 2003. С. 75 – 79.
37. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести/ Н.Н. Малинин. -М.: Машиностроение, 1968. -400 с.
38. Натансон Э. М. Коллоидные металлы/ Э.М. Натансон. -М.: Металлургия, 1988. -348 с.
39. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы/ Ю.Г. Фролов. –М.: Химия, 1989. -464 с.
40. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 22662 – 77. Методы седиментационного анализа.
41. Косинский В. В. Математическое обоснование способа повышения эффективности гидростатических установок в процессах обработки под высоким давлением различных материалов с применением суспензий и паст/ В.В. Косинский В.В. Косинский.- МЕТАЛЛУРГИЯ. Труды запорожской государственной инженерной академии. Выпуск 10, 2004. С. 97 – 105.
42. Матюхін А.Ю. Виготовлення деталей з заданою пористістю з порошків титану / А.Ю. Матюхін, А.А. Семенюк // Тиждень науки-2020. Машинобудівний факультет. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 13-17 квітня 2020 р. [Електронний ресурс] / Редкол.: В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані.- Запоріжжя : ЗНТУ, 2020. - 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. - Назва з тит. екрана. - С. 83-84.
43. ГОСТ 12.0.003-74* Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Введ. 1976-01-01]. М. : Госстандарт СССР, 1974. 4 с. (Межгосударственный стандарт)

44. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21]. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

45. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [На заміну ДНАОП 0.00.1.21-84 ; чинний з 1998-01-09]. К. : Мінпраці України, 1998. 89 с. (Нормативно-правовий акт охорони праці)

46. 90/270/ЄЕС. Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями. [Чинний від 1990-05-29]. Брюссель. : Рада Європейських співтовариств, 1990. 14 с. Режим доступу: <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>. (Директива)

47. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям. [На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18]. К. : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>. (Нормативно-правовий акт охорони праці)

48. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний від 1998-12-10]. К. : МОЗ України, 1998. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. (Державні санітарні правила та норми)

49. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Державні будівельні норми України)²

50. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. К. : МОЗ України, 1999. 106 с. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>. (Державні санітарні норми)

51. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартів безпеки труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [На заміну ГОСТ 12.1.005-76 ; чинний з 1989-01-01]. М. : МОЗ СРСР, 1988. 50 с. (Міждержавний стандарт)

52. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. (Державні будівельні норми України)

53. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30]. К. : МВС України, 2014. 91 с. (Нормативний акт пожежної безпеки)

54. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [На заміну ГОСТ 27331-87 ; чинний з 01.01.2016]. К. : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с. (Державний Стандарт України)

55. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Державний Стандарт України)

56. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Державні будівельні норми)

57. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01]. К. : Мінрегіон України, 2014. 191 с. (Державні будівельні норми)

58. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. К. : МВС України, 2018. 23 с. (Правила)З

59. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. Редакція від: 03.07.2020. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>. (Закон України)

60. Шоботов В. М. Цивільна оборона : навчальний посібник вид. 2-ге, перероб. Київ : Центр навчальної літератури, 2006. 438 с.