

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. Є.О.ПАТОНА НАЦІОНАЛЬНОЇ  
АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ  
Відділ аспірантури при ІЕЗ ім.Є.О.Патона НАН України**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Заступник директора інституту з  
наукової роботи  
академік НАН України



(підпис)

І.В. Кривцун  
(ініціали, прізвище)

« 06 » липень 2020 р.

**Конструкційні сплави на основі нікелю, титану та алюмінію і їх  
здатність до зварювання**

4/П

(шифр за ОП)

**ПРОГРАМА  
навчальної дисципліни**

рівень вищої освіти – доктор філософії з матеріалознавства  
форма навчання – денна  
спеціальність – 132 – Матеріалознавство  
галузь знань – 13 – механічна інженерія  
освітня програма – Матеріалознавство

Затверджено на засіданні випускового  
відділу за спеціальністю 132  
«Матеріалознавство»

Інститут електрозварювання  
ім. Є.О. Патона НАНУ

Протокол від 03.07 2020 р. № 1

Завідувач випускового відділу

(підпис)

А.І. Устінов  
(ініціали, прізвище)

« 06 » липень 2020 р.

Київ – 2020

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Пров.нак.співроб. відділу №7, д.т.н. Лабур Т.М.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

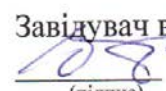
  
(підпис)

Ст. наук. співр., к.т.н Білоус В. Ю.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

  
(підпис)

Програму затверджено на засіданні  
відділу фізико-металургійних процесів зварювання легких металів і сплавів  
(повна назва відділу)

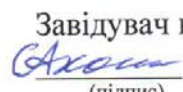
Протокол від « 03 » липня 2020 року № 1

Завідувач відділу  
 Ю. В. Фальченко  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«06» липня 2020 р.

Програму затверджено на засіданні  
відділу «Металургія і зварювання титанових сплавів»  
(повна назва відділу)

Протокол від « 03 » липня 2020 року № 1

Завідувач відділу  
 С. В. Ахонін  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«06» липня 2020 р.

## Вступ

Програму навчальної дисципліни «Конструкційні сплави на основі нікелю, титану та алюмінію і їх здатність до зварювання» (назва навчальної дисципліни)

складено відповідно до освітньої програми ОНП 4/П, \_\_\_\_\_ (ОПП/ОНП, назва)

III рівня вищої освіти доктор філософії  
(рівень вищої освіти)

спеціальності 132 – матеріалознавство  
(код і назва спеціальності)

Навчальна дисципліна належить до циклу професійної підготовки, шифр 4/П  
(загальної / професійної підготовки)

Статус навчальної дисципліни вибіркова  
(обов'язкова / вибіркова)

Обсяг навчальної дисципліни 4 кредитів ЄКТС.

Міждисциплінарні зв'язки :

- «Методи дослідження фазового складу, структури та фізико-механічних властивостей» (4/І),
- «Властивості матеріалів в нерівноважному стані та методи їх отримання» (3/І),
- «Твердофазні процеси формування нероз'ємних з'єднань матеріалів» (1/ІІ),
- «Структура з'єднань матеріалів отриманих плавленням» (2/ІІ),
- «Конструкційні сталі та їх здатність до зварювання» (3/ІІ),
- «Основи конструкційної міцності» (5/ІІ),
- «Дослідження процесу руйнування матеріалів методом акустичної емісії» (6/ІІ),
- «Теорія і експериментальні методи дослідження розповсюдження хвиль акустичної емісії в матеріалах» (7/ІІ),
- «Прогнозування руйнування конструкцій методом акустичної емісії»(8/ІІ).

Дисципліна забезпечує виконання – дисертаційної роботи доктора філософії з матеріалознавства.

### **1.1. Метою навчальної дисципліни є формування у аспірантів компетентностей:**

- Здатність проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових та складних ідей (код ЗК 2).
- Здатність переосмислювати наявне та створювати нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі соціальні, наукові, культурні, етичні та інші проблеми (код ЗК 3).
- Здатність розроблення та реалізація проектів, включаючи власні дослідження (код ЗК 4).
- Здатність ініціювання дослідницько-інноваційних проектів та автономно працювати під час їх реалізації(код ЗК 5).
- Здатність до самостійного освоєння нових методів дослідження(код ЗК 8).
- Здатність досліджувати проблеми із використанням системного аналізу та інших методів дослідження(код ЗК 9).

- Критичне осмислення наукових фактів, гіпотез, теорій, у професійній діяльності в сфері матеріалознавства(код ЗК 11).
- Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в механічній інженерії та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації(код ФК 1).
- Здатність самостійно виконувати наукові дослідження в галузі матеріалознавства на основі сучасних теорій та методів термодинаміки, кінетики процесів в матеріалах, фізики конденсованого стану, та інформаційнокомунікаційних технологій(код ФК 2).
- Системний науковий світогляд та загальнокультурний кругозір(код ФК 3).
- Здатність узагальнювати результати сучасних досліджень структури та властивостей матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем, на основі фундаментальних та спеціальних знань синтезувати та створювати нові матеріали заданого функціонального призначення (код ФК 4).
- Здатність оцінювати властивості матеріалів на основі існуючих та спеціально розроблених моделей та методів досліджень (код ФК 5).
- Здатність використовувати новітні методи досліджень металів і сплавів в науково-дослідницькій діяльності (код ФК 11).

## **1.2. Основні завдання навчальної дисципліни.**

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми аспіранти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання.

### **Знання:**

- методик аналізу та синтезу знань при вирішенні проблем в широкому контексті матеріалознавчих та міждисциплінарних задач, в тому числі, за умов невизначеності чи неповної інформації (код ЗН 1);
- загальних принципів і методів природничих та технічних наук, а також методології наукових досліджень, їх застосування у власних дослідженнях у сфері матеріалознавства (ЗН 3);
- фізичних, хімічних та математичних принципів матеріалознавства (код ЗН 4);
- новітніх світових досягнень науки, техніки та технологій в галузі матеріалознавства та суміжних сферах (ЗН 5);
- закономірностей керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення (код ЗН 7);
- особливостей зварювання титану та його сплавів, фізико-хімічних основ процесу зварювання нікелевих сплавів, особливостей зварювання алюмінієвих сплавів, особливостей з'єднання тугоплавких и кольорових металів (код ЗН 17).

### **Уміння:**

- Використовувати необхідні для обґрунтування висновків докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні емпіричні дані(код УМ 2);
- Застосовувати логіку та методологію наукового пізнання(код УМ 3);
- Застосовувати аналіз та синтез знань при вирішенні проблем в широкому контексті матеріалознавчих та міждисциплінарних задач, в тому числі, за умов невизначеності чи неповної інформації(код УМ 4);

- Забезпечувати оригінальні розробки та ідей в контексті наукового дослідження(код УМ 5);
- Орієнтуватися в сучасних тенденціях та потребах суспільства з метою їх використання в професійній галузі; проявити вищу ступінь відповідальності за соціальні, культурні та екологічні наслідки комплексної технічної діяльності в контексті сталого розвитку; виявити готовність до ведення технічної діяльності з дотриманням етичних норм(код УМ 6);
- синтезувати знання та формулювати висновки, обґрунтовувати їх для фахової та нефахової аудиторії (код УМ 8);
- На основі аналізу потреб виробництва формулювати вимоги щодо рівня вла-стивостей нових матеріалів(код УМ 10);
- генерувати нові ідеї для вирішення науково-дослідних проектів та дослідницько-конструкторських робіт (код УМ 12);
- Практично визначати умови необхідні для реалізації процесу з'єднання конструкційних сталей та проводити відбір зварювальних матеріалів для отримання необхідних властивостей нероз'ємних з'єднань(код УМ 20);

## 2. Структура навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 150 годин / 5 кредитів ECTS.

Навчальна дисципліна містить кредитний модуль: «Особливості з'єднання сплавів на основі нікелю, титану та алюмінію»

Рекомендований розподіл навчального часу

Форма навчання	Семестри	Усього кредитів / годин	Розподіл навчального часу за видами занять			Семестрова атестація
			Лекції	Практичні заняття	СР аспіранта*	
Денна	1	4/120	32	8	80	Екзамен

## 3. Зміст навчальної дисципліни

Кредитний модуль - «Конструкційні сплави на основі нікелю, титану та алюмінію і їх здатність до зварювання» .

### Зміст

Вступ.

Задачі і зміст курсу. Загальні положення.

Розділ 1. Особливості структури та властивостей алюмінієвих сплавів, способи з'єднання алюмінієвих сплавів, експлуатаційні властивості алюмінієвих сплавів та їх зварних з'єднань.

Класифікація алюмінію та його сплавів, їх маркування. Особливості структури та властивостей Історія відкриття та отримання промислового алюмінію. Історія відкриття та отримання промислового алюмінію.

Передумови появи та особливості розвитку алюмінію та його сплавів. Відкриття процесу електролізу. Освоєння супутніх процесів лиття, кування, прокатки та штампування. Чотири періоди знаходження практичного використання алюмінію та його сплавів. Системи легування алюмінієвих сплавів та їх класифікація і структурні особливості. Критерії вибору елементів. Особливості їх розчинення. Розмір структурних складових. Нерозчинні домішки. Фізичні та механічні властивості. Рівень властивостей як характер співвідношення структурних складових. Модуль пружності. Щільність. Міцність. В'язкість. Корозійна стійкість. Технологічність. Термічне розширення. Електропровідність та електроопір. Магнітні властивості.

Тема 1.2. Номенклатура напівфабрикатів алюмінієвих сплавів, металургійна спадковість і стан металу після термічного та термомеханічного оброблення. Критерії вибору алюмінієвих сплавів. Види напівфабрикатів, технології їх отримання. Технологічні властивості. Здатність до пластичного деформування та фасонного лиття. Види термообробки: гартування, природне та штучне старіння. Можливість формоутворення. Листи. Полоса. Плити. Стрічки. Фольга. Штамповки. Труби. Особливості структурних перетворень в процесі термомеханічної обробки. Фазові перетворення. Відпал. Зняття залишкових напружень. Природне та штучне старіння. Зміцнення кристалічної решітки.

Тема 1.3. Технологічні властивості сплавів після гарячого та холодного деформування Штампування, ковка, прокатка. Висока пластичність. Температурні умови деформування. Технологічні переваги. Економічна доцільність. Різноманітні схеми та конфігурації виробів. Гідравлічні преси та інше устаткування. Формування структури в умовах гнуття, обтяжки, витяжки. Зміна форм та геометричних розмірів структурних складових. Причини утворення ділянок різної товщини виробів та неоднорідної структури. Редуціювання та обробка металу різанням. Локальне та об'ємне штампування. Вплив стану сплавів на якість деформаційної обробки. Технологічні вимоги. Основні параметри операції різання металу.

Тема 1.4. Способи з'єднання алюмінієвих сплавів плавленням. Особливості механізму утворення швів. Зварюваність. Механізм утворення нероз'ємних з'єднань. Здатність до утворення нероз'ємних з'єднань. Надійність зварної конструкції. Технологічна зварюваність. Причини утворення гарячої тріщини, її характерна структурна особливість. Аргон. Гелій. Суміш газів. Концентрація енергії електричної дуги та газового потоку. Температурні умови. Кінетика формування швів в умовах дії дуги. Вплив

захисного газу на здатність металу до проплаву. Сегрегація. Механізм та кінетика формування швів в умовах зварювання електронним променем і лазером. Схожість та відмінності їх технологічного впливу на структуру. Напруження. Сила струму. Умови зварювання. Гібридні та комбіновані процеси.

#### Тема 1.5. Способи з'єднання алюмінієвих сплавів у твердій фазі.

Утворення точкових і шовних швів в умовах контактено-стикового зварювання. Технологічні особливості зварювання тиском. Попереднє нагрівання. Фізичний зв'язок структурних складових, формування швів. Ефективність процесу. Механізм і кінетика формування швів при зварюванні тертям з перемішуванням. Робочий інструмент. Умови з'єднання - екструзія та проковування металу. Особливості структурних перетворень. Температура формування швів. Виникнення характерних структурних зон. Твердість металу. Зменшення геометричних розмірів матриці, фазових включень, щільності дислокацій.

#### Тема 1.6. Експлуатаційні властивості алюмінієвих сплавів та їх зварних з'єднань.

Корозійна стійкість. Агресивні середовища. Хімічні та електрохімічні контакти. Класифікація видів корозії та їх показники. Об'ємна та локальна корозія. Захист від корозії. Фізико-механічні властивості в умовах статичного та циклічного навантаження. Умови навантаження. Критерії оцінки властивостей при статичних випробуваннях – міцність, границя пружності, відносні показники подовження та звуження. Ударна в'язкість. Кут згину. Характеристика мало- та багатоциклічного навантаження. Вимоги до випробувань. Вплив температурних умов на зварні з'єднання. Критична температура. Перехід структурних складових металу з пластичного стану до крихкого. Зниження опору пластичній деформації. Критичний інтервал крихкості.

#### Тема 1.7 Надійність, працездатність та ресурс експлуатації зварних з'єднань з алюмінієвих сплавів.

Фактори впливу. Хімічна та структурна неоднорідність. Форма та геометричний розмір структурних складових. Наявність дефектів структури. Характер розподілу залишкових напружень і деформацій. Напружений стан структури. Критерії оцінки - міцність, границя пружності, відносні показники подовження та звуження. Ударна в'язкість. Кут згину. Характеристики мало- та багатоциклічного умов навантаження. Критичний коефіцієнт інтенсивності напруження, показник критичного розкриття тріщини. Енергія поширення тріщини –  $J$ -інтеграл. Механізми зародження та поширення тріщини. Класифікація процесів руйнування. Особливості міжзереного розшарування. Умови утворення квазісламів, кристалографічних зрушень та втомних мікросмуг.

Розділ 2. Особливості структури та властивостей нікелевих сплавів, Способи з'єднання нікелевих сплавів плавленням та Особливості механізму утворення швів, ефективність застосування нікелевих сплавів.

Тема 2.1. Різновидність нікелевих сплавів, їх маркування. Особливості структури та властивостей.

Система легування сплавів, їх класифікація, особливості структури. Відкриття нікелю. Критерії вибору елементів. Особливості їх розчинення. Розмір структурних складових. Нерозчинні домішки. Металургійний процес отримання. Процеси лиття, кування, прокатки та штампування.

Фізичні та механічні властивості. Фізичні та механічні властивості. Рівень властивостей як характер співвідношення структурних складових. Модуль пружності. Щільність. Міцність. В'язкість. Корозійна стійкість. Технологічність. Термічне розширення. Електропровідність та електроопір. Магнітні властивості.

Тема 2.2. Способи з'єднання нікелевих сплавів плавленням. Особливості механізму утворення швів.

Аргонодугове зварювання, структура, механічні властивості. Умови та характер проплавлення. Механізм формування швів. Структурна особливість. Критерії оцінки якості з'єднань. Технологічні особливості а зварювання плавким і неплавким електродами. Причини утворення дефектів.

Зварювання електронним і лазерним променем. Напруження. Сила струму. Умови зварювання. Механізм та кінетика формування швів. Схожість та відмінності їх технологічного впливу на структуру з'єднань. Гібридні та комбіновані процеси.

Тема 2.3. Класифікація виробів з нікелевих сплавів, ефективність їх застосування.

Вироби електротехнічного призначення. Магнітострікційні властивості. Електротехнічні характеристики. Електричний опір. Величина питомого електроопору. Строк роботи. Економічна доцільність.

Застосування нікелевих сплавів в хімічному машинобудуванні. Низька хімічна чутливість елементів. Висока стійкість пасивного стану металу в агресивно-корозивному середовищі. Різноманітність технологій виготовлення виробів. Вимоги Держтехнагляду до експлуатації відповідних зварних конструкцій.

Тема 2.4. Нікелеві сплави в конструкціях двигунів. Коефіцієнт теплового розширення. Магнітна проникливість. Жароміцність. Жаростійкість. Витривалість. Класифікація та особливості конструкцій газотурбинних і реактивних двигунів. Строк роботи. Економічна доцільність.



Розділ 3 Властивості титану та його сплавів, особливості зварювання плавленням титанових сплавів, вплив термічного циклу зварювання на структуру і властивості зварних з'єднань

Тема 3.1. Поліморфне перетворення в титану та сплавах на його основі та вплив домішок на властивості титанових сплавів, класифікація титанових сплавів

Титан - хімічно активний метал. Необхідність забезпечення надійного захисту від окислення газами атмосфери з температур вище 400°C. Поліморфне перетворення при температурі 882°C визначає особливості дії термічного циклу зварювання на титанові сплави. Домішки - кисень і азот підвищують міцність і знижують пластичність титану. Класифікація титанових сплавів за типом структури. Особливості титанових сплавів виробництва КНР. Вплив кисню, азоту, вуглецю на властивості титанових сплавів, системи легування титанових сплавів. Класифікація легуючих домішок для титанових сплавів.

Тема 3.2. Вплив зварювання плавленням на властивості псевдо  $\alpha$ -сплавів,  $(\alpha+\beta)$ -сплавів та псевдо- $\beta$  сплавів, термообробка титанових сплавів та їх зварних з'єднань.

Особливості зварних з'єднань  $\alpha$ -сплавів титану, утворення метастабільних  $\alpha'$ -фаза і незначна чутливість до зміни режимів зварювання, високі швидкості охолодження. Особливості зварних з'єднань  $(\alpha+\beta)$ -сплавів титану, утворення метастабільних  $\alpha'$ ,  $\alpha''$ ,  $\beta$ ,  $\omega$ -фаз і висока чутливість до зміни режимів зварювання. Швидкості охолодження зварних з'єднань необхідно знижувати з підвищенням ступеня легування сплаву.

Види термообробки титанових сплавів. Термообробка зварних з'єднань. Особливості відпалу у вакуумі. Зміцнююча термообробка титанових сплавів.

Тема 3.3. Вплив дугового та електрошлакового зварювання на властивості зварних з'єднань.

Основні особливості дугового і електрошлакового зварювання титанових сплавів. Необхідність додаткового газової захисту остигаючих металу зварювальної ванни, металу шва і зворотного боку зварного з'єднання. Види захисних газів. Застосування чистих від кисню зварювальних флюсів. Зварювання вольфрамовим електродом в камерах із захисною атмосферою, місцевих камерах або з струменевим захистом зони зварювання інертним газом. Зварювання плавлячимся електродом під флюсом з додатковим захистом зони зварювання аргонном. Електрошлакове зварювання з додатковим захистом зони зварювання аргонном. Керуюче зовнішнє електромагнітне поле і зварювальні флюси розширюють технологічні можливості зварювання титану вольфрамовим електродом. Мета застосування для TIG-зварювання титану флюсів.

Тема 3.4. Вплив електронно-променевого та лазерного зварювання на властивості зварних з'єднань титанових сплавів.

Мікропористість металу шва. Високі швидкості охолодження з'єднань. Локальна термообробка зварних з'єднань у вакуумній камері при електронно-променевому зварюванні. Особливості лазерного зварювання титанових сплавів, високі швидкості зварювання, необхідність захисту зони зварювання при лазерному зварюванні. Електронно-променеве зварювання - широко застосовуваний спосіб отримання якісних зварних з'єднань титанових сплавів різних класів. Електронно-променеве зварювання дозволяє виконувати зварні з'єднання в різних положеннях і великої товщини. Електронно-променеве зварювання дозволяє виконувати локальну термообробку зварних з'єднань у вакуумній камері безпосередньо після зварювання. Лазерне зварювання - перспективний спосіб виконання зварних з'єднань поза вакуумної камери.

Тема 3.5. Методи підвищення якості зварних з'єднань при зварюванні плавленням. Причини зниження механічних властивостей зварних з'єднань при зварюванні плавленням титанових сплавів. Метастабільні фази при зварюванні титанових сплавів. Утворення інтерметалідів в титанових сплавах. Діаграма анізотермічного перетворення сплава ВТ6; швидкості охолодження при дуговому зварюванні титанових сплавів; вплив попереднього підігріву на швидкості охолодження при дуговому зварюванні титанових сплавів.

Тема 3.6. Термічний цикл дугового зварювання та утворення метастабільних фаз при зварюванні титанових сплавів

#### **4. Рекомендований перелік практичних занять (комп'ютерних практикумів)**

За час проведення практичних занять аспіранти виконують розрахунки, що доводять правомірність теоретичних відомостей, які наведені при вивчені окремих тем.

##### **Практичне заняття № 1**

Порівняння режимів термічної обробки зварних з'єднань (2 години).

##### **Практичне заняття № 2.**

Дослідити вплив системи легування на структуру та властивості з'єднань (2 години).

##### **Практичне заняття № 3**

Дослідити характер формування швів в залежності від способів зварювання (2 години).

##### **Практичне заняття № 4.**

Дослідити особливості впливу термічного циклу дугового зварювання на утворення метастабільних фаз при зварюванні титанових сплавів (2 години).

## **5. Рекомендовані індивідуальні завдання**

Самостійна робота студентів включає підготовку до лекцій, практичних робіт, модульної контрольної роботи і заліку (див. Методичні вказівки до самостійної роботи). Розподілення часу на самостійну роботу наведено в додатку А.

## **6. Рекомендована література**

### **6.1 Література базова:**

1. Алюминий и его сплавы в современных сварных конструкциях. / А.Я. Ищенко, Т.М. Лабур, В.Н. Бернадський, О.К. Маковецкая. // Киев, Экотехнология, 2006. – 112 с.
2. Ищенко А.Я. Алюминиевые высокопрочные сплавы для сварных конструкций. В сб.: Прогресивні матеріали і технології. Т.1. – К.: Академперіодика, 2003. – С. 50-82. ка в самолётостроении. Под редакцией академика Б.Е. Патона. // К.: МИИВЦ, 1998. - 695 с.
3. Кононенко В.Я.. Сварка алюминиевых сплавов: Справочник. - Киев: Экотехнология, 2010. - 215 с.
4. Ищенко А.Я., Лабур Т.М. Сварка современных конструкций из алюминиевых сплавов. Киев, Наукова думка, 2003. – 415 с.
5. Вильхельм М., Рацим К. Материалы и процессы как факторы прогресса в автомобилестроению . Чёрные металлы. – 2008. - №3. – С.33-38.
6. Кривов Г.А. Технология самолётостроительного производства. // К.: КВІЦ, 1997. - С.114.
7. Кривов Г.А., Матвиенко В.А., Афанасьева Л.Ф. Мирская авиация на рубеже XX-XXI столетий. Промышленность рынки. // К.: КВІЦ, 2003. – 295 с.
8. Приоритетные направления совершенствования материалов для конструкций перспективных самолётов. / В.Г. Дмитриев, Г.Н. Замула, В.В. Коновалов, Г.И. Нестеренко // Технология легких сплавов, 2003, №1. –С.3-8.
9. Колачев В.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия , 1980. С. 3-129.

10. Фридляндер И.Н., Непомнящая Э.З., Романова О.А. и др. Конструкционные и жаропрочные материалы для новой техники. М.: Наука. 1998. 345 с.
11. Металлознавство. Підручник /О.М. Бялик, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.Н. Москаленко – 2-ге видання, перер. і доп. – К.: Політехніка, 2006.- 384 с.
12. Хільчевський В.В. Металлознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. – К.: Либідь, 2002. – 328 с.
13. Сварные соединения титановых сплавов / В.Н. Моисеев, Ф.Р. Куликов, Ю.П. Кириллов и др. М.: Металлургия, 1978. 248 с.
14. Цвиккер У. Титан и его сплавы: Монография. – М., Металлургия, 1979. – 512 с.
15. Титановые сплавы в конструкциях и производстве авиадвигателей и авиационно-космической технике/ Колачева Б.А., Елисеев Ю.С., Братухин А.Г., Талалаев В.Д. под ред. Братухина А.Г. – М.: издательство МАИ, 2001. – 416 с.
16. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: Справочник. – М.:ВИЛС – МАТИ, 2009. – 520 с.
17. Грабин В.Ф. Структура и свойства сварных соединений из титановых сплавов / Киев: Наукова Думка, 1964. — 106 с.
18. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов: Монография / Гуревич С.М., Замков В.Н., Блащук В.Е. и др. – К.: Наукова думка, 1986. – 240 с.
19. Гуревич С.М. Справочник по сварке цветных металлов: К., Наукова думка, 1990. – 512 с.
20. Malin V. Monograph on Narrow-Gap Welding Technology: WRC Bulletin № 323. – 1987. 83 с.
21. Электронно-лучевая сварка /О.К. Назаренко, А.А. Кайдалов, С.Н. Ковбаско и др. - К., Наукова думка, 1987. - 256 с.
22. Рыкалин Н.Н., Зуев И.В., Углов А.А. Основы электроннолучевой обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1978. – 239 с.
23. Попов А.А., Илларионов А.Г., Россина Н.Г., Гриб С.В. (2013) Металловедение и термообработка сплавов титана. Структура и свойства: учебное пособие. Екатеринбург, УрФУ, 268.
24. Грабин В.Ф. Основы металловедения и термической обработки сварных соединений из титановых сплавов. Киев, Наукова думка. 1975, 262 стр.
25. Лясоцкая В.С. Термическая обработка сварных соединений титановых сплавов. / Под ред. Д.т.н. Б.А. Колачева. – М.: Экомет, 2003, 352 с.

26. Попов А.А., Илларионов А.Г., Россина Н.Г., Гриб С.В. (2013) *Металловедение и термообработка сплавов титана. Структура и свойства: учебное пособие.* Екатеринбург, УрФУ, 268.

## 6.2 Допоміжна:

27. *Алюминієві сплави (свойства, обработки, применение).* Первю с англ. В.И. Трофимава, М.: Стройиздат., 1978. 147 с.
28. *Алюминиевые сплавы. Применение алюминиевых сплавов: Справочник.* М., Металлургия, 1985. 343 с.
29. Кишкин С.Т., Строганов С., С.П., Логунов А.В. Структурная стабильность и ее влияние на механические свойства.// Доклады АН СССР. 1983. Т. 268, №4. С 141-145.
30. Кучук-Яценко С.И. Контактная стыковая сварка плавлением. К.: Наукова думка. 236 с.
31. *Новые материалы и технология получения изделий для авиационной техники / Учебн. Пособие.* Под. ред. А.Г. Братухина и О.Х. Фаткуллина. М.: 1999. 166 с.
32. *Современные технологии авиастроения.* / Под ред. А.Г. Братухина и Ю.Л. Иванова. М.: Машиностроение. 1999. 832 с.

## 7. Засоби діагностики успішності навчання

Семестрова атестація проводиться у виді екзамену. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100 - бальна рейтингова система і університетська шкала оцінювання.

Підсумковий контроль результатів навчання з дисципліни проводиться у формі диференційного заліку.

Навчальна програма складена на основі ОНП підготовки докторів філософії спеціальності 132 – “Матеріалознавство”.

### *Програму розробив:*

Д.Т.Н. \_\_\_\_\_

Т.М. Лабур

К.Т.Н. \_\_\_\_\_

В.Ю. Білоус