

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Голова Вченої ради  
зварювального факультету  
С.К.Фомічов  
« 26 » 03 2018 р.

## **ПРОГРАМА ВСТУПНОГО ІСПИТУ**

**третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти  
для здобуття наукового ступеня доктор філософії**

**ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ** 13 Механічна інженерія  
**СПЕЦІАЛЬНІСТЬ** 131 Прикладна механіка

Ухвалено Вченою радою зварювального факультету  
(протокол від « 26 » 03 2018 р. № 8 )

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2018

## РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Квасницький Віктор Вячеславович, д.т.н.,  
проф., завідувач кафедри зварювального  
виробництва зварювального факультету

Скачков Ігор Олегович, к.т.н., доц., в.о.  
завідувача кафедри електрозварювальних  
установок зварювального факультету

Смирнов Ігор Володимирович, д.т.н., проф.  
завідувач кафедри інженерії поверхні  
зварювального факультету

## 1. НАЙВАЖЛИВІШІ СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ (КЛАСИФІКАЦІЯ, ПРИНЦИПИ, ЗНАЧЕННЯ, ПЕРСПЕКТИВИ)

Дугове зварювання плавким електродом. Дугове зварювання неплавким електродом. Плазмове та мікроплазмове зварювання. Електрошлакове зварювання. Газове зварювання. Зварювання електронним променем. Зварювання лазером. Контактне зварювання (стикове, шовне, точкове). Конденсаторне зварювання. Високочастотне зварювання. Дифузійне зварювання. Автовакуумне зварювання тиском. Зварювання тертям. Зварювання вибухом. Ультразвукове зварювання.

## 2. ЗВАРЮВАЛЬНА ДУГА

Особливості дугового розряду. Електронна емісія. Явища у катодній області. Процеси у стовпі дуги. Температура стовпа дуги. Анодна область.

Баланс енергії на катоді та аноді. Вольт - амперна характеристика дуги. Вимоги до стійкого існування зварювальної дуги з плавким електродом. Саморегулювання дуги. Фактори, які визначають проплавлення металу зварювальною дугою. Вплив компонентів флюсів, захисних газів та електродів на глибину проплавлення дугою.

## 3. ІНШІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ І СПОРІДНЕНИХ ПРОЦЕСІВ

Шлакова ванна як джерело нагріву. Електропровідність шлаку в залежності від температури. Ацетиленокисневе полум'я, температурні зони. Електронний промінь як джерело нагріву. Лазерне випромінювання як джерело нагріву при зварюванні. Плазма як джерело нагріву. Особливості високочастотного нагрівання з індукційним та контактним підводом струму. Нагрів при контактному точковому зварюванні. Нагрів при контактному стиковому зварюванні опором, вплив тиску на стан поверхні. Нагрів при контактному зварюванні оплавленням.

## 4. РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ТЕПЛА ПРИ ЗВАРЮВАННІ

Основні фактори, які визначають розповсюдження тепла у виробі при зварюванні. Основи розрахункових методів нагрівання виробу зварювальними джерелами тепла. Рівняння теплопровідності. Миттєві та безперервно діючі джерела зварювального нагріву. Розрахункові схеми процесів нагрівання металу дугою. Нагрівання потужними швидкорухомими джерелами. Основні параметри, що характеризують зварювальну ванну. Відмінності процесів розповсюдження тепла при електрошлаковому, електронно-променевому, лазерному, контактному та газовому зварюванні.

## 5. ТЕРМІЧНІ ЦИКЛИ ЗВАРЮВАННЯ

Основні характеристики термічного циклу (миттєва швидкість охолодження, максимальна температура, тривалість нагрівання вище даної температури). Регулювання термічних циклів при зварюванні та наплавленні. Відмінні особливості термічних циклів при електрошлаковому, лазерному, контактному та газовому зварюванні. Методи математичного моделювання теплових процесів при зварюванні.

## 6. ПЕРЕНОС МЕТАЛУ ПІД ЧАС ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВЛЕННЯМ

Особливості плавлення електрода при різноманітних способах зварювання. Кінетика плавлення та переносу металу. Сили, які діють на краплю. Види переносу електродного металу. Вплив режимів зварювання, складу покриття (флюсів, газів) на перенос електродного металу. Роль полярності струму. Управління переносом металу при дуговому зварюванні плавким електродом.

## 7. ЗВАРЮВАЛЬНА ВАННА ТА ФОРМУВАННЯ ШВА

Вплив параметрів режиму на форму та розміри зварювальної ванни при дуговому та електрошлаковому зварюванні. Температура зварювальної ванни та методи її вимірювання. Переміщення металу в зварювальній ванні та його причини. Методи впливу на процес переміщення.

## 8. ЗАХИСНІ ГАЗИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ. ВЗАЄМОДІЯ МЕТАЛУ З ГАЗАМИ

Окиснювальні, відновлювальні та інертні захисні газы. Вуглекислий газ, вимоги до його складу. Аргон та гелій. Газові суміші, їх склади та властивості. Газова фаза при дуговому зварюванні. Розчинення газів в металах, вплив температури. Хімічна взаємодія газів та металу. Поведінка газів при кристалізації металу. Причини виникнення пор в зварних швах, роль водню, азоту та окису вуглецю. Вплив способу, полярності та режиму зварювання на виникнення пор. Методи запобігання утворенню пор при зварюванні сталей штучними електродами, під флюсом, порошковим дротом, в захисних газах, електрошлаковому зварюванні.

## 9. ЗВАРЮВАЛЬНІ ШЛАКИ

Класифікація зварювальних шлаків. Будова шлаків. Зв'язок між концентрацією та активністю компонентів шлаку. Вплив температури на в'язкість та електропровідність шлаків. "Довгі" та "короткі" шлаки. Відділення шлаку з поверхні шва. Хімічне зчеплення шлаку та металу.

Механічне утримання шлаку на шві. Поверхневий та міжфазний натяг шлаків.

## 10. ВЗАЄМОДІЯ ШЛАКІВ З МЕТАЛОМ ПРИ ЗВАРЮВАННІ

Відновлення та окиснення кремнію та марганцю. Окиснення вуглецю при зварюванні. Вміст кисню в металі шва та неметалеві включення. Вміст сірки та фосфору в металі шва. Вплив режиму зварювання на інтенсивність взаємодії шлаку та металу.

## 11. ТИПИ ЕЛЕКТРОДНИХ ПОКРИТТІВ

Класифікація електродів за вітчизняними та міжнародними стандартами. Особливості металургійних процесів зварювання електродами з різноманітними типами покриття (руднокисле, рутилове, фтористо-кальцієве, органічне). Зварювально-технологічні характеристики електродів. Особливості взаємодії металу з газами та шлаком. Причини виникнення пористості швів при зварюванні електродами різних типів та методи боротьби з пористістю. Сучасні технології виготовлення електродів.

## 12. ТИПИ ФЛЮСІВ ТА ЗВАРЮВАЛЬНОГО ДРОТУ ДЛЯ ДУГОВОГО ТА ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Основні вимоги до флюсу для дугового зварювання. Плавлені та керамічні флюси. Типи та марки флюсів і дротів для зварювання і наплавлення.

## 13. ЛЕГУВАННЯ ТА МОДИФІКУВАННЯ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ

Порівняльна характеристика легування через дріт, покриття електродів та флюс. Розрахунок складу наплавленого металу шва при зварюванні під флюсом та в захисних газах.

## 14. ПЕРВИННА КРИСТАЛІЗАЦІЯ МЕТАЛУ

Особливості первинної кристалізації зварних швів. Розподіл легуючих елементів та домішок при кристалізації зварювальної ванни. Мікроскопічна, хімічна та фізична неоднорідність.

## 15. СТРУКТУРА МЕТАЛУ ШВА

Первинна та вторинна структури при зварюванні низьковуглецевих, низьколегованих та високолегованих сталей. Вплив швидкості охолодження та хімічного складу металу на структуру швів. Аналіз структури сталейних

швів з використанням термокінетичних діаграм перетворення аустеніту. Включення в металі шва та принципи їх утворення.

## 16. ЗОНА ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ ПРИ ЗВАРЮВАННІ

Структура зони термічного впливу при зварюванні низьковуглецевих та гартівних легованих сталей. Вплив способу та режимів зварювання на розмір та структуру зони термічного впливу. Особливості структури ділянки перегріву при зварюванні плавленням.

## 17. ТРІЩИНИ В ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ

Класифікація тріщин. Механізм утворення гарячих та холодних тріщин у пришовній зоні та металі шва при зварюванні вуглецевих та легованих сталей, основні фактори, що впливають на утворення тріщин. Методи оцінки опору зварних з'єднань утворенню холодних та гарячих тріщин.

## 18. ДЕФОРМАЦІЇ ТА НАПРУЖЕННЯ ПРИ ЗВАРЮВАННІ

Класифікація зварювальних напружень та деформацій. Механізм утворення повздовжніх напружень та деформацій в найпростіших елементах зварних конструкцій. Методи розрахунку залишкових напружень та деформацій при зварюванні. Методи експериментального визначення залишкових напружень при зварюванні. Особливості розподілу зварювальних напружень та деформацій в типових зварних конструкціях. Вплив зварювальних напружень та деформацій на якість зварних виробів. Методи регулювання напружень та деформацій при зварюванні.

## 19. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ТА ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Склад та властивості низьковуглецевих та легованих сталей. Особливості їх зварювання. Особливості зварювання середньо- та високовуглецевих сталей. Зварювання термічно зміцнених низьковуглецевих та низьколегованих сталей.

## 20. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ НИЗЬКО- ТА СЕРЕДНЬОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Склад та властивості низько- та середньолегованих сталей, вплив легуючих елементів на їх структуру та властивості. Особливості зварювання. Вплив термічного циклу зварювання, складу зварювальних матеріалів, коливань електрода, нахилу електрода або виробу та інших технологічних факторів на структуру і властивості металу шва та пришовної зони.

## 21. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Класифікація високолегованих сталей за структурою та призначенням. Загальні правила зварювання нержавіючих сталей. Класифікація електродів для зварювання нержавіючих сталей. Вплив легуючих елементів на структуру високолегованих сталей та зварних швів.

## 22. МЕТАЛУРГІЙНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Найважливіші особливості та основні способи зварювання алюмінію, титана, міді та сплавів на їх основі. Дефекти при зварюванні кольорових металів зі сталями та між собою. Найважливіші особливості зварювання хімічно активних металів та сплавів на їх основі. Причини утворення пор та тріщин, засоби їх усунення.

## 23. НАПЛАВЛЕННЯ

Наплавлення, особливості відновлювального наплавлення та наплавлення шарів зі спеціальними властивостями. Структура наплавленого металу та його властивості.

## 24. СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ (ПРИНЦИПИ, ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ)

Газополуменеве та плазмове різання. Газотермічні та вакуумно-конденсаційні способи напилення. Паяння матеріалів. Класифікація методів паяння. Особливості утворення паяних з'єднань. Змочування основного матеріалу та розтікання припою. Затікання припою в зазори, капілярні явища. Розчинення припоєм основного металу. Припої, принципи їх розробки та вибору.

## 25. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ

Класифікація методів контролю якості зварних з'єднань. Фізичні основи та класифікація ультразвукових та радіаційних методів контролю.

### РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ

Іспит складається з двох частин: письмової відповіді на три питання та співбесіди для уточнення змісту письмової відповіді. Іспит приймається екзаменаційною комісією у складі не менше трьох осіб.

Результати іспиту оцінюються за 100-бальною шкалою за сукупністю відповідей на основні та додаткові питання:

95...100 - повна відповідь: оцінка А;

85...94 балів - достатньо повна відповідь з незначними неточностями: оцінка В;

75...85 балів - не достатньо повна відповідь: оцінка С;

65...74 балів - неповна відповідь: оцінка D;

60...64 балів - неповна відповідь: оцінка E;

менше за 59 балів - незадовільна відповідь: оцінка Fx.

Оцінка (F, 0 балів) виставляється за використання заборонених носіїв інформації (телефон та інше) або при демонстрації абітурієнтом повного не знання предметної області.

Результати оголошуються після захисту всіх проектів на цьому засіданні.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Теория сварочных процессов / Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1988. – 559 с.

2. Напруження та деформації у зварних з'єднаннях і конструкціях [Текст]: навч. посіб./ В.М. Прохоренко, О.В. Прохоренко. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 268 с.. – Бібліогр.: с.267. – 400 пр. ISBN 978-966-622-331-2

3. Контроль качества сварки / Под ред. В.Н. Волченко. – М.: Машиностроение, 1975. – 328 с.

4. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 528 с.

5. Гуревич С.М. Справочник по сварке цветных металлов. – К.: Наукова думка, 1981. – 289 с.

6. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление. - М.: Машиностроение, 1985. – 288 с.

7. Хренов К.К. Сварка, резка и пайка металлов. - М.: Машиностроение, 1970. – 528 с.

8. Кузнецов В.Д., Пащенко В.М. Фізико-хімічні основи створення покриттів. – К.:МЕНЦ ВО, 1999. – 170 с.

9. Технология и оборудование контактной сварки. / Под ред. Б. Д. Орлова. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.

10. Напруження та деформації при зварюванні. Навчальний посібник / В.І. Махненко, В.В. Квасницький, Г.В. Єрмолаєв, А.В. Лабарткава // Миколаїв: НУК, 2011. – 240 с.

11. Обробка матеріалів концентрованими потоками енергії. Навчальний посібник / В.М. Пащенко, В.Д. Кузнецов, В.В. Квасницький // К. Гнозіс, 2013. - 149 с.

12. Паяння матеріалів. Підручник / Г.В. Єрмолаєв, В.Ф. Квасницький, В.В. Квасницький, С.В. Максимова, В.Ф. Хорунов, В.В. Чигарьов // Миколаїв: НУК, 2014. - 387 с.

13. Спеціальні способи зварювання. Навчальний посібник / В.В. Квасницький // Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 437 с.