

Затверджую  
Проректор з наукової роботи  
НУ «Запорізька політехніка»



проф. В.А. Шаломєєв

2023 року

## ПРОГРАМА

іспиту з фаху для абітурієнтів, які вступають до НУ «Запорізька політехніка» для навчання за III освітньо-науковим рівнем (PhD) за спеціальністю 136 «Металургія».

Для оцінки знань абітурієнтів на іспиті розроблено набір критеріально-орієнтованих питань, які дозволяють встановити рівень сформованості компетенцій, необхідних для засвоєння змісту навчання за спеціальністю 136 «Металургія» рівня PhD.

### **Вступники повинні знати і вміти:**

- базові знання з фундаментальних природничих наук, математики та фізики в обсязі, необхідному для опанування професійних дисциплін та використання математичних методів при плануванні експериментів;
- базові знання в галузі сучасних металургійних та ливарних технологій;
- сучасні уявлення про існуючі ливарні сплави та методи їх виплавлення, технологічні способи впливу на метал для забезпечення необхідного комплексу експлуатаційних властивостей;
- сучасні уявлення про способи планування, постановки експерименту, методи дослідження фізико-механічних та експлуатаційних властивостей ливарних сплавів та обробки отриманих результатів.

Для подальшого укладання іспитових завдань, комісія виділила такі основні розділи з переліком питань по кожному з них:

### **Загальна характеристика ливарного виробництва**

Ливарне виробництво як наука про властивості ливарних сплавів та теорії формування виливків.

Історія розвитку ливарного виробництва, внесок вітчизняних учених.

Переваги ливарного виробництва перед іншими способами формоутворення заготовок деталей машин.

Сучасний стан та основні тенденції розвитку ливарного виробництва.

### **1. Теоретичні основи ливарного виробництва**

Властивості рідких металів: температура та теплота плавлення, температура та теплота випромінювання, густина та питомий об'єм.

Поверхневий натяг та його вплив на формування поверхні виливка.

Електричні та теплові властивості. Випаровування металів під час плавлення. Взаємодія розплавів з газами. Кінетика процесу, вплив тиску та температури.

Взаємодія рідких металів з воднем, киснем та азотом. Вплив газів на властивості виливків. Методи визначення вмісту газів у рідких та твердих металах і способи дегазації.

Гідравлічні процеси, витікання рідкого металу з ковша та його рух каналами та порожниною ливарної форми. Рідкотекучість металів. Затримання неметалевих часточок.

Охолодження металу під час заливання.

Кристалізаційні процеси. Передкристалізаційний стан металів та сплавів. Термодинамічна теорія кристалізації. Гомогенне та гетерогенне утворення зародків кристалізації. Швидкість утворення зародків та швидкість їх руху. Послідовна та об'ємна кристалізації. Дендритна та зональна ліквідації. Неметалічні вкраплення у виливках. Методи регулювання кристалізаційних процесів. Модифікування сплавів. Вплив різних фізичних явищ на процеси кристалізації.

Твердіння виливків. Вплив конфігурації та технологічних факторів на твердіння виливків. Приведена товщина стінки виливка, безрозмірні критерії твердіння. Розраховування часу твердіння та охолодження виливків у піщаній формі за методом Г.Ф Баладіна. Розраховування часу твердіння та охолодження виливків у металевій формі за методом А. І. Вейника.

Регулювання теплових процесів у формі. Розраховування розмірів зовнішніх та внутрішніх холодильників. Моделювання процесу твердіння виливків на ЕОМ.

Усадкові явища. Лінійна та об'ємна усадки. Утворення усадкових дефектів у виливках. Розраховування об'єму усадкових дефектів. Надливи та методи поліпшення їх роботи. Методи визначення необхідних розмірів надливів.

Тимчасові та залишкові напружини у виливках. Розраховування механічних та термічних напружин. Жолоблення виливків та його запобігання. Утворення тріщин у виливках. Визначення схильності металу до утворення тріщин. Аналітичні умови відсутності тріщин, утворення та методи його запобігання.

Якість та надійність виливків. Шляхи підвищення якості та надійності виливків, покращання економічних показників ливарного виробництва та екологічної безпеки.

## **2. Теоретичні та технологічні основи виробництва литва в піщані форми**

Технологічні вимоги до формувальних матеріалів. Фізико-хімічні, механічні та технологічні властивості формувальних та стрижневих сумішей.

Методи регулювання та визначення властивостей сумішей. Кварцові піски, їх характеристика, класифікація і методи випробувань. Формувальні глини, їх мінералогічний склад. Класифікація. Фактори, що визначають



зв'язувальні властивості глин. Зв'язувальні матеріали, вимоги до їх, класифікація. Органічні і неорганічні зв'язувальні компоненти, які тверднуть при нормальних температурах. Вибір зв'язувальних матеріалів для різних технологій.

Протипригарні матеріали. Протипригарні добавки із формувальних сумішей, фарби, пасти, їх властивості, вибір, склад та технологія використання.

Вимоги до формувальних та стрижневих сумішей на різних етапах виготовлення виливків. Критерії вибору формувальних сумішей при розробленні ливарної технології.

Теоретичні основи зміцнення формувальних сумішей при формуванні по-сирому та по-сухому.

Холоднотвердкі формувальні суміші (ХТС), їх класифікація залежно від зв'язувального компонента і затверджувача; переваги та недоліки. Теоретичні основи зміцнення ХТС з синтетичними смолами, способи їх затверджування та його регулювання. Теоретичні основи зміцнення ХТС з рідким склом з різними затверджувачами, їх переваги та недоліки. Перспективи використання ХТС з метало фосфатними композиціями, їх зміцнення, переваги та недоліки, галузі використання.

Способи виготовлення стрижнів, зміцнення в контакт з нагрітою оснасткою. Фізико-хімічні процеси одержання рідких самотвердких сумішей, їх види, способи зміцнення та галузі використання.

Реологічні властивості формувальних сумішей. Основні параметри, їх вимірювання і зв'язок з фізико-механічними і технологічними властивостями.

Теоретичні та технологічні основи приготування формувальних сумішей із заданими властивостями. Способи змішування, послідовність добавки компонентів у змішувачі та контроль якості приготування сумішей.

Технологічні основи використання оборотних формувальних сумішей. Регенерація оборотних формувальних сумішей, її необхідність та способи. Властивості регенерату, і їх контроль.

Класифікація модельних комплектів, вибір матеріалів для їх виготовлення. Методика і послідовність розроблення технологічного креслення для виготовлення модельного комплекту (в т.ч. і з допомогою ЕОМ). Методика розраховування на ЕОМ елементів ливарної технології, оптимізації технології, складання технологічних карт. Уніфікація та нормалізація виготовлення модельних заготовок. Технологія виготовлення металічних та пластмасових модельних комплектів, способи їх кріплення на модельних плитах. Способи підвищення точності та чистоти поверхні модельних компонентів із різних матеріалів.

Теоретичні основи ущільнення формувальних та стрижневих сумішей при різних способах. Аналіз операцій технологічного процесу виготовлення форм з позицій їх механізації та автоматизації. Вибір способу машинного формування залежно від серійності, конструкції литої деталі, її розмірів, вимог. Розвиток та вдосконалення способів ущільнення форм пресуванням.



Теоретичні основи ущільнення форм імпульсним формуванням та його особливості.

Вакуумне формування, його особливості, переваги та недоліки. Способи ущільнення форм та виконання інших операцій формування на автоматичних лініях. Вибір способу виготовлення стрижня у залежності від його складності, вимоги та інші фактори.

Створення напрямленого газового режиму у формі та стрижні. Піскодувний та піскострільний способи виготовлення стрижнів у нагрітій оснастці. Виготовлення стрижнів із рідкотекучих самотвердких сумішей, їх особливості, переваги та недоліки. Техніко-економічні критерії вибору технології виготовлення стрижнів.

Способи забезпечення точного складання та скріплення форм. Теоретичні основи вибору часу тверднення та охолодження виливка у формі і температури вибивання.

Способи руйнування форм на вибивальних установках. Способи вибивання стрижнів із виливків залежно від суміші, характеру виробництва. Удосконалення способів очищення і оброблення виливків.

Основні дефекти виливків з вини форми, причини їх появи та способи попередження.

### **3. Технологія спеціальних способів лиття**

Класифікація та галузі використання спеціальних способів лиття.

Лиття в кокіль. Галузі використання. Особливості формування виливків під час лиття у кокіль чорних та кольорових сплавів. Основні типи кокілів та установок. Особливості підготовки форм під час лиття у кокіль. Підведення металу та живлення виливків. Основні види дефектів кокільного литва і методи їх запобігання. Лиття в облицьовані кокілі.

Лиття під тиском. Галузі застосування. Особливості кристалізації і формування виливків під час лиття під тиском. Лиття під низьким тиском та з протитиском. Лиття методом вижимання.

Лиття за моделями, що витоплюються. Галузі застосування. Технологічний процес виробництва моделей та форм. Формувальні матеріали. Ливникові системи. Підготовка форм до заливання. Особливості ведення плавки.

Відцентрове лиття. Гідродинамічні особливості відцентрового лиття. Особливості кристалізації виливків під дією відцентрових сил. Теплоізоляційні покриття виливниць, методи їх нанесення. Флюси, що застосовуються під час виробництва литва відцентровим литтям та їх призначення.

Безперервне лиття. Теоретичні основи безперервного лиття, його переваги та недоліки.

Інші види лиття: Електрошлакове лиття, лиття за моделями, що витоплюються, в оболонкові форми, вакуумним всмоктуванням, тощо. Особливості кожного процесу. АСУТП спеціальних видів литва.

## **4. Технологія виробництва виливків**

### **4.1 Чавунне литво**



Характеристика чавуну як конструкційного ливарного матеріалу. Номенклатура чавунів, що використовують для виготовлення виливків. Основні ознаки експлуатаційних та ливарних властивостей чавунів.

Особливості технологічного процесу виготовлення виливків з чавуну. Зв'язок механічних властивостей виливків з чавуну з його хімічним складом та швидкістю охолодження.

Конструкція та структуроутворення чавунів. Теорія кристалізації чавуну за стабільною і метастабільною системами. Сучасні уявлення щодо кристалізації та формоутворення графіту. Вплив складу, фізичних та фізико-механічних факторів на структуроутворення і графітизацію чавуну.

Вплив перегрівання, витримування та швидкості охолодження. Структурні діаграми для сірого, білого, половинчастого чавунів та чавуну з кулястим графітом.

Механічні властивості чавунів з різною формою графіту. Сучасні методи оцінки механічних властивостей. Вплив складу, структури, величини зерна та вмісту газів на механічні властивості. Вплив масштабного фактора на механічні властивості чавуну.

Технологічні властивості чавунів. Характеристика, методи дослідження та оцінки параметрів технологічних властивостей чавунів: рідкотекучості, лінійної усадки, схильності до ліквіації і тріщиноутворення. Зв'язок ливарних властивостей з процесами кристалізації та графітоутворення.

Технологічні та механічні властивості сірого чавуну.

Чавун з кулястим графітом. Галузі використання. Класифікація виливків відповідно до вимог нормативних документів. Хімічний склад чавуну з кулястим графітом. Класифікація сфероїдизувальних модифікаторів. Методи сфероїдизувального модифікування. Ливарні властивості чавуну з кулястим графітом.

Виливки чавуну з вермикулярним графітом. Властивості чавуну та його класифікація. Технологічні особливості виробництва виливків із чавуну з вермикулярним графітом.

Ковкий чавун. Галузі використання. Хімічний склад та властивості ковкого чавуну. Технологічні особливості виробництва виливків і термічного оброблення.

Вибілене литво. Вплив хімічного складу на властивості вибіленого литва.

Синтетичний чавун. Технологічні особливості виробництва із нього виливків. Леговані чавуни. Основні легувальні компоненти та їх вплив на структуроутворення чавуну.

Жаростійкий, корозійностійкий, зносостійкий та антифрикційний чавуни.

Модифікування чавуну. Теоретичні основи модифікування. Модифікувальні присадки.

Теоретичні і технологічні основи суспензійного лиття.

Особливості конструювання Технологічних литих деталей з чавуну.

Шихтові матеріали для виплавлення чавунів. Металева частина шити.



Технічні умови на чавуни ливарні, переробні, рафіновані та природно леговані. Феросплави та лігатура, що використовують у чавуноливарному виробництві. Зворот власного виробництва. Металевий лом та його класифікація. Флюси. Призначення флюсів. Паливо для виплавлення чавуну.

Вимоги до палива. Технологічні особливості виплавлення у коксових, коксогазових та газових вагранках. Технологічні особливості виплавлення в індукційних та електродугових печах. Позапічні методи оброблення чавуну.

Рафінування, десульфурація, електрошлакове оброблення чавуну. Контроль якості виливків. Виправлення дефектів. Термічне оброблення чавунних виливків.

#### 4.2 Сталеве литво

Переваги та недоліки сталевих виливків перед чавунними, а також перед кованими та штампованими заготовками.

Класифікація литих деталей та сталевих виливків. Службові та технологічні властивості литих сталей.

Номенклатура ливарних властивостей. Особливості рідкотекучості, кристалізації та усадки сталей різного хімічного складу. Вплив фізико-хімічних властивостей рідкого металу та ливарних форм на вміст газів та неметалевих вкраплень у сталевих виливках.

Особливості ліквідації та утворення гарячих тріщин у сталевих виливках. Властивості сталей при низьких, підвищених та високих температурах. Вплив структури на механічні та службові характеристики сталевих виливків.

Вуглецеві сталі з низьким, середнім та високим вмістом вуглецю. Властивості та галузі їх використання.

Основи легування литих сталей. Механізм впливу легувальних та модифікувальних елементів на властивості сталі. Загальна характеристика легувальних та модифікувальних елементів.

Високолеговані сталі для виливків із спеціальними властивостями. Спеціальні властивості сталей та сталевих виливків.

Формувальні та стрижневі суміші для сталевих виливків. Фізико-хімічні та технологічні особливості виплавлення вуглецевих та легованих сталей у дугових та індукційних печах. Особливості основного та кислого процесу виплавлення литих сталей. Фізико-хімічні процеси в сталеплавильній ванні.

Макро-, мікролегування та модифікування сталей. Особливості введення легувальних та модифікувальних присадок у рідкий метал.

Розкиснення, десульфурація та дефосфорація сталей.

Позапічне оброблення сталі. Знесіркування, розкиснення та модифікування сталей у ковші. Оброблення сталей синтетичними шлаками, суспензійними присадками, нейтральними газами тощо.

Вакуумна металургія під час виробництва виливків зі складнолегованих сталей.

Суспензійне лиття.

Спеціальна електрометалургія під час виробництва сталевих виливків.



Особливості технології виготовлення сталевих виливків. Розрахування ливникових систем. Визначення місць установаження надливів, холодильників та визначення їх розмірів. Особливості заливання форм та температурних режимів під час виробництва сталевих виливків.

Дефекти сталевих виливків, їх класифікація та попередження.

Особливості фінішних операцій під час виробництва сталевих виливків.

Термічне оброблення сталевих виливків.

#### 4.3 Литво із кольорових металів та сплавів

Алюмінієві сплави.

Фізико-хімічні властивості та галузі застосування. Принципи легування. Промислові марки ливарних та деформованих сплавів. Печі для виплавлення алюмінієвих сплавів. Рафінування та модифікування. Характеристика формувальних та стрижневих сумішей. Особливості ливникових систем під час лиття в разові форми. Застосування зернистих та рідких флюсів. Застосування вакууму. Надливи, їх розміщення та розміри. Холодильники. Кристалізація під тиском. Особливості фінішних операцій. Контроль виливків та виправлення дефектів. Термічне оброблення виливків. Особливості технології виготовлення виливків литтям у кокіль, під тиском, під низьким тиском. Механізація та автоматизація процесів заливання форм та витягання виливків із них. Технічні та економічні підстави, що обумовлюють вибір способу виробництва виливків із алюмінієвих сплавів. Галузі застосування різних способів лиття.

Магнієві сплави.

Промислові марки ливарних та деформованих сплавів, їх склад, фізико-механічні та ливарні властивості, галузь застосування. Печі для виплавлення. Особливості технології виплавлення магнієвих сплавів. Рафінування та модифікування. Способи, що запобігають горінню сплавів. Лиття у разові форми. Характеристика формувальних та стрижневих сумішей. Особливості ливникових систем. Застосування зернистих фільтрів і холодильників. Лиття способом послідовної кристалізації. Особливості фінішних операцій. Особливості лиття в кокіль, під тиском, під низьким тиском. Контроль якості виливків. Виправлення дефектів. Хімічне та термічне оброблення виливків. Техніко-економічні підстави, що обумовлюють вибір способу виробництва виливків.

Мідні сплави.

Промислові марки ливарних та деформованих сплавів, їх властивості та галузі застосування. Печі та особливості технології виплавлення, рафінування та модифікування сплавів. Лиття в разові форми. Характеристика формувальних та стрижневих сумішей. Особливості ливникових систем. Особливості технології лиття. Застосування зернистих фільтрів та вакууму. Надливи, їх розміщення та розміри. Застосування холодильників. Особливості фінішних операцій. Особливості технології виготовлення виливків з мідних сплавів литтям у кокіль, під тиском, відцентровим способом, рідким штампуванням. Контроль якості виливків.



Виправлення дефектів зварюванням.

Нікелеві сплави. Промислові марки ливарних та деформованих сплавів, їх властивості та галузі застосування. Причини легування. Печі та технологія виплавлення, рафінування та модифікування сплавів. Лиття в разові форми: особливості формувальних і стрижневих сумішей, способи захисту виливків від пригару. Особливості заливання форм та фінішні операції.

Титанові сплави. Промислові марки ливарних та деформованих сплавів, їх склад, властивості та галузі використання. Печі та технологія виплавлення. Особливості лиття в разові форми. Застосування відцентрових сил при заливанні форм. Особливості технології лиття в оболонкові і графітові форми.

Тугоплавкі метали. Фізико-хімічні та технологічні властивості. Особливості технології виплавлення і лиття.

### **5. Додаткові фахові питання**

Ливарні жароміцні нікелеві сплави для рівнобісної та спрямованої кристалізації. Особливості експлуатації наземних турбін. Загальні принципи легування сплавів. Вплив основних легувальних елементів на високотемпературну корозію ливарних жароміцних нікелевих сплавів. Обрання режимів термічної обробки жароміцних нікелевих сплавів.

### **6. Техніка безпеки. охорона навколишнього середовища**

Характеристика умов праці в ливарних цехах. Найважливіші фактори, що впливають на умови праці в ливарних цехах. Основні джерела забруднення та гранично допустимі концентрації пилу, газів та різних аерозолей у виробничих приміщеннях ливарних цехів.

Норми освітлення, температури, гранично допустимого шуму.

Техніка безпеки в плавильних відділеннях. Очищення та спалювання ваграночних газів. Конструкції та технічні характеристики вентиляційних установок для електродугових печей.

Техніка безпеки під час експлуатації високочастотних індукційних електропечей. Вимоги техніки безпеки під час випускання та розливання металу у форми та під час оброблення рідкого металу різними присадками.

Техніка безпеки під час використання холодно- та гарячетвердіючих формувальних та стержневих сумішей. Основні вимоги техніки безпеки під час вибивання ливарних форм. Вимоги до обрубного устаткування інструменту.

Перелік фахових питань для кожного вступника формує керівник у відповідності до тематики майбутньої наукової роботи та подає у вигляді додатка до цієї програми.

## **ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ**

Кожний варіант іспитового завдання містить 3 питання за різними розділами з урахуванням спрямованості дисертаційної роботи, що планується.



## КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Вступне випробування проводиться у формі іспиту.

Оцінювання здійснюється за 100 бальною системою.

Відповідь на кожне питання оцінюється від нуля (невірно) до тридцяти трьох (вірно і повно розкрито) балів кожним членом фахової екзаменаційної комісії. Оцінки членів фахової усереднюються для формування оцінки за кожним питанням. Загальна оцінка знань абітурієнта формується як незважена сума відповідей на кожне питання. Отже, максимальна кількість балів, яку абітурієнт може отримати, складає 100 балів.

Інформація про результати оголошується вступникові в день проведення іспиту.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бялік Г.А. Теорія ливарних сплавів / Г.А. Бялік, В.В. Наумик, В.В. Луньов, А.В. Пархоменко [навчальний посібник]. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 156 с.
2. Бялік Г.А. Практикум з теорії ливарних сплавів та процесів / Г.А. Бялік, В.В. Наумик, Е.І. Цивірко, О.Ф. Кузовов, В.В. Луньов [навчальний посібник]. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 98 с.
3. Шульте Ю.А. Производство отливок из стали. –Киев-Донецк, Вища школа, 1983. –184 с.
4. Ливарні властивості металів і сплавів для прецизійного лиття: підручник для вищих учбових закладів/ В.О.Богуслаєв, С.І.Репях, В.Г. Могилатенко [та ін.]; під ред. С.І. Репяха та В.Г. 4 Могилатенка; 2-е вид. доп. та доопр. – Запоріжжя: АТ «МОТОР СІЧ», 2016. – 474 с.
5. Твердження металів і металевих композицій: підручник для вищих навчальних закладів / В.О. Лейбензон, В.Л. Пілюшенко, В.М.Кондратенко, В.Є. Хричиков [та ін.]. – 2-е вид., доопр. – Київ: Науково-виробниче підприємство «Видавництво «Наукова думка» НАН України, 2009. – 447 с.
6. Стальное литье: Монография /Г.Е.Федоров, М.М.Ямшинский, Е.А. Платонов, Р.В. Лютий. – К.: НТУУ «КПИ», ПАО «Випол», 2013. – 896 с.
7. Лютий Р.В., Гурія І.М. Формувальні матеріали [Текст] : підручник для студ. спеціальності 136 «Металургія», освітньої програми «Комп'ютеризовані процеси лиття» / Р.В. Лютий, І.М. Гурія ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 258 с.
8. Технологія ливарного виробництва [Текст] : навч. посібник для студ. вищих навч. закл., які навчаються за напрямком 0904 "Металургія" / Г. Г. Корицький [и др.]. - Донецьк : ДонНТУ, 2008. - 176 с.
9. Виробництво виливків [Текст] : підручник / О. Л. Голубенко [та ін.] ; Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля, Магдебурзький ун-т ім. Отто-фон-Гюріке. - Луганськ : СНУ ім.В.Даля, 2009.



- 328 с.

10. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва [Текст] : навч. посіб. / А. М. Верховлюк, А. В. Нарівський, В. Г. Могилатенко ; за ред. акад. НАН України В. Л. Найдека ; НАН України, Фіз.-технол. ін-т металів та сплавів. - Київ : Вініченко, 2016. - 223 с.

11. Специальные способы литья: [справочник] / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др.; под общ. ред. В.А. Ефимова.- М.:Машиностроение,1991. – 736 с.

### 16. Інформаційні ресурси

<https://zp.edu.ua/kafedra-mashin-i-tehnologiyi-livarnogo-virobnictva>

<http://eir.zp.edu.ua/handle/123456789/364>

<http://library.zp.edu.ua/>

<https://lityo.com.ua/>

<https://scholar.google.com/>

<https://www.scopus.com/>

Голова комісії  
зі спеціальності 136 «Металургія»



Валерій ІВАНОВ