

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА
ЗВАРЮВАННЯ імені Є.О. ПАТОНА



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

в.о. директора НН ІМЗ
ім. Є.О. Патона

Юрій СИДОРЕНКО

02 2022 р.

ПРОГРАМА

ФАХОВИХ ВСТУПНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДО АСПІРАНТУРИ

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ

136 – “МЕТАЛУРГІЯ”

Схвалено вченою радою
НН ІМЗ ім. Є.О. Патона
Протокол № 1/22 від 31 січня 2022

Київ 2022

ЗМІСТ

1. СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ Ливарне виробництво.....5
2. СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ Порошкова металургія.....18

АНОТАЦІЯ

Програма складено відповідно до вимог Міністерства освіти і науки України, Закону України від 06 вересня 2014 р. «Про вищу освіту» та «Умови прийому на навчання для здобуття вищої освіти в 2022 році» (<https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/vstup-2022/11/30/Nakaz.MON-1098.Umovy.pryyomu.VO.2022.pdf>), Додатку до Правил прийому до Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у 2022 році для здобуття ступеня доктора філософії (https://aspirantura.kpi.ua/?page_id=172)

Метою вступних випробувань зі спеціальності 136 Металургія на навчання для здобуття ступеня доктора філософії є з'ясування рівня систематизації та узагальнення рівня теоретичних знань та практичних навиків самостійної роботи для розв'язання конкретних завдань у галузі знань механічної інженерії.

Фахівець з металургії повинен бути підготовленим для організаційної, наукової, конструкторської та технологічної роботи в галузі та виконувати професійну роботу згідно Національного класифікатора України «Класифікатор професій» ДК 003:2010, Наказ Держспоживстандарту України 28.07.2010 № 327: молодший науковий співробітник (гірництво, металургія), науковий співробітник (гірництво, металургія), молодший науковий співробітник (галузь інженерної справи), науковий співробітник (галузь інженерної справи), науковий співробітник консультант (галузь інженерної справи), інженер-дослідник.

Під час підготовки до випробування необхідно звернути увагу на те, що поступаючий повинен:

знати:

–Основні фізичні та хімічні закони, базові розділи вищої математики, їх технічне застосування, характеристики конструкційних та функціональних матеріалів машинобудування;

- Основи металургії чорних металів, процеси спеціальної металургії, обладнання та технологія розливки сталі в зливки;
- Теоретичні основи ливарного виробництва литва в піщані форми, технологію спеціальних способів лиття, литво з чавуну, сталі, кольорових металів, устаткування ливарних цехів, автоматизація ЛВ.
- Основи порошкової металургії, основні методи отримання порошків металів, сплавів, сполук та волокон і вусів. Формування виробів з порошків. Закономірності ущільнення порошкових тіл. Спінання порошкових виробів. Фізико-хімічні основи та технологія нанесення покриттів з порошків.

вміти:

- Оцінювати вплив методу отримання матеріалу/виробу на його властивості, довговічність, собівартість.
- Обирати та застосовувати методи виготовлення та методи дослідження структури та фізико-хімічних, механічних експлуатаційних властивостей матеріалів/виробів.

Організація вступного випробування здійснюється відповідно до Додатку до Правил прийому до Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у 2022 році для здобуття ступеня доктора філософії (https://aspirantura.kpi.ua/?page_id=172).

ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО ЧОРНИХ І КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

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.

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

1.2 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, натири, 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 затверднення 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 вилівка 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.

1.3 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.

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. Електрошлакове лиття. Лиття за моделями, що витоплюються. Галузі використання. Технологічний процес виробництва моделей та форм. Ливникові системи. Підготовка форм до заливання. Інші види лиття: лиття за моделями, що витоплюються, в оболонкові форми, вакуумним всмоктуванням, тощо. Особливості кожного процесу. АСУТП спеціальних видів литва.

1.4 Технологія виробництва виливків

1.4.1 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 ліквації 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 структурутворення 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, десульфурція, електрошлакове оброблення чавуну.

Контроль якості виливків. виправлення дефектів.

Термічне оброблення чавунних виливків.

1.4.2 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 складно-легованих сталей

Суспензійне лиття. Спеціальна електрометалургія під час виробництва сталевих виливків.

Особливості технології виготовлення сталевих виливків. Розрахування ливникових систем, Визначення місць установа 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.

1.4.3 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.

Цинкові сплави. Промислові марки, сплави їх склад, властивості і галузі застосування. Печі та особливості виплавлення, рафінування та модифікування. Технологія лиття в кокіль і під тиском. Особливості ливникових систем. Фінішні операції.

1.5 Устаткування ливарних цехів

Класифікація устаткування ливарних цехів. Типи ливарного устаткування. Робочі процеси ливарних машин та вимоги до них.

Пресові формувальні машини. Зв'язок між ущільненням формувальної суміші та стискуючими напруженнями. Конструктивні особливості пресових машин з нижнім та верхнім пресуванням, з плоскою, профільною, багато плунжерною плитою, діафрагмові пресові машини, важільні пресові машини.

Струшувальні формувальні машини. Характер ущільнюючої дії на формувальну суміш під час ущільнення струшуванням. Класифікація струшувальних механізмів за характером робочого процесу в струшувальному циліндрі та за ступенем амортизації ударів. Методи режимів ущільнення.

Піскодувні та піскострільні машини. Особливості процесу ущільнення піскодувним способом.

Стрижневі машини. Класифікація стрижневих машин за способом виготовлення стрижнів у гарячій та холодній оснастці. Особливості виготовлення оболонкових стрижнів. Основні способи нагрівання та регулювання температури оснастки.

Устаткування для приготування формувальних та стрижневих сумішей. Робочий процес змішувачів в яких котки обертаються навколо горизонтальної та вертикальної осі, лопатевих та шнекових змішувачів.

Плавильні печі. Класифікація печей. Конструкція основних типів плавильних печей.

Тигельні, індукційні та дугові електричні печі. Розраховування об'єму плавильної ванни. Робочий цикл плавильних печей. Технічні характеристики плавильних печей.

Машини для лиття під тиском. Особливості і основні параметри процесу лиття під тиском. Основні конструктивні типи машин для лиття під тиском з вертикальною та горизонтальною, холодною та гарячою камерами пресування. Робочий процес механізму пресування. Розраховування основних параметрів машин лиття під тиском. Компоновка машин лиття під тиском з універсальних вузлів.

Машини для лиття в кокіль. Особливості процесу лиття в кокіль та його основні параметри. Розраховування основних параметрів кокілю.

Відцентрові машини. Особливості процесу формування виливків, параметри процесу. Конструктивні типи машин для лиття гільз та труб зі стаціонарною та змінною виливницями.

Устаткування для контролю якості виливків. Термічні печі, конструкція, принцип дії, робочий процес.

1.6 Автоматизація ливарного виробництва

Автоматизовані системи управління технологічними процесами ливарного виробництва /АСУ ТП ЛВ/ та їх місце у інтегрованих системах автоматизації.

Технологічні і організаційні передумови автоматизації процесів ливарного виробництва.

Автоматичні ливарні лінії. Принципи організації автоматичних ліній. Багатопозиційні, багатопотокові та багатоінструментальні машини. Ливарні лінії з жаростійким і гнучким транспортним зв'язком, замкнені і розімкнені лінії.

Особливості вибору технологічного процесу для реалізації на автоматичних лініях. Особливості побудови технологічного процесу, компоновки і конструкції лінії для масового, серійного і дрібносерійного виробництв виливків. Типові автоматичні лінії виготовлення виливків у разових піщаних опокових і безопокових формах, у оболонкових формах і за витоплюваними моделями. Технологічна підготовка виробництва для впровадження АФЛ.

Автоматизація процесу сумішеприготування. Склад операцій і типові схеми сумішеприготування. Технологічна підготовка автоматизованих сумішеприготувальних відділень. Автоматизація управління змішувачами періодичної і безперервної дії, системи автоматичного регулювання вологості (попередньої калькуляції і кінцевого стану) і технологічними властивостями сумішей. Системи кондиціонування оборотних сумішей за розхідними бункерами.

Автоматизація основних операцій процесу виготовлення разових піщаних форм. Технологічна підготовка виробництва для автоматизації процесів формування. Автоматичне управління процесом ущільнення форм. Особливості компоновки формувальних однопозиційних, човникових, здвоєних човникових і багатопозиційних формувальних автоматів. Автомати для виготовлення безопокових стосових форм. Автоматизація процесу складання форм. Автоматизація процесів заливання, охолодження та вибивання форм. Особливості компонування дільниць охолодження та вибивання безопокових форм в опоках без хрестовин та в опоках з хрестовинами.

Автоматизація плавильних відділень. Технологічна підготовка виробництва в плавильних відділеннях. Автоматизація дозування і завантажування шихти. Автоматизація процесів виплавлення у вагранках, дугових, індукційних електропечах та печах опору.

Автоматизація заливання форм, методи дозування сплавів, види і конструкції дозаторів. Системи ковшового та без ковшового заливання, заливання форм на АФЛ.

Автоматизація і комплексна механізація процесу обрубкування та очищення виливків. Технологічна підготовка виробництва. Типові поточкові лінії

очищення литва. Автоматизація завантажування і розвантажування дробометних барабанів і камер безперервної дії. Автоматизовані зачисні та обрізні установки.

1.7 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 припустимі концентрації пилу, газів та різних аерозолей у виробничих приміщеннях ливарних цехів.

Норми освітлення, температури, гранично припустимого 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 формі та під час оброблення рідкого металу різними присадками.

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

1.8 Література

До розділу «Теоретичні основи ливарного виробництва».

1. Горкушкіна Л.П. Теоретичні основи ливарних процесів. –К.:НМК ВО, 1993.-288 с.
2. Пикунов М.В. Плавка металлов, кристаллизация сплавов, затвердевание оливок. М.: МИМИМ, 1997. -376 с.
3. Ветишка А., Бридик И., Мацашек И., Словак С. Теоретические основы литейной технологии./ Под ред.. К.И. Ващенко. –К.: Вища шк. Головне видавництво, 1981. -317 с.
4. Баландин Г.Ф. Теорія формування оливок. М.: Узд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. - 360 с.
5. Галдин Н.М., Чистяков В.В., Шатульский А.А. Литниковые системы и прибыли для фасонных оливок. –М.:Машиностроение, 1992. - 252 с.

До розділу «Теоретичні та технологічні основи лиття у піщані форми».

1. Жуковський С.С. Прочность литейной формы. –М.: Машиностроение, 1989. – 287 с.
2. Формовочные материалы и смеси. / Дорошенко С.П., Авдокушин В.П., Русин К., Мацашек И. –К.: Вища шк. 1990. –416 с.

3. Гуляев Б.Б., Корнюшкин О.А., Кузин А.Ф. Формовочные процессы. –Л.: Машиностроение, 1987. – 264 с.
4. Формовочные материалы и технология литейной формы./С. С. Жуковский, Г.А.Анисович, Д.Н. Давыдов и др. Под общ. Ред. С.С. Жуковского. –М.: Машиностроение, 1993. –432 с.
5. Дорошенко С.П., Ващенко К. И. Наливная формовка. –К.: Вища шк. 1980. –176 с.
6. Орлов Г.М. Автоматизация и механизация процесса изготовления литейных форм. –М.: Машиностроение, 1988. –262 с.
7. Бречко А.А., Великанов Г.Ф. Формовочные и стержневые смеси с заданными свойствами. –Л.: Машиностроение, 1982. –216 с.
8. Серебро В.С. Основы теории газовых процессов в литейной форме. –М.:Машиностроение, 1991. –208 с.
9. Серенчев И.Ф. Модельное производство. –М.-С. 1962. –160 с.
10. Бречко А.А. Литейные системы и их моделирование, -Л.:Машиностроение, 1975. –248 с.

Література до розділу “Технологія спеціальних видів лиття”

1. Специальные виды литья./Ю.А. Степанов, М.Г. Анучина и др. – М.: Машиностроение, 1970. –224 с.
2. Тимофеев Г.И. Специальные виды литейного производства. –М.: Машиностроение, 1983. –287 с.
3. Специальные способы литья: Справочник /В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др.: Под общ. ред. В.А. Ефимова. –М.: Машиностроение, 1991. –436 с.

Література до розділу “Технологія виробництва виливків”

1. Худокормов Д.Н. Производство отливок из чугуна. Учебное пособие для вузов. –Мн.:Вищ. Шк. 1987. -198 с.
2. Ващенко К.И., Шумихин В.С. Плавка и внепесная обработка чугуна для отливок: Учебн.пособие. –К.:Вища шк., 1992. –240 с.
3. Теоретические основы литейной технологии./Перевод с чешск. Под редакцией К.И. Ващенко. –Вища шк., 1981. –317 с.
4. Чугун: Справочн. Изд./Под ред. А.Д.Шермана и А.Л.Жуков, -М.: Металлургия, 1991, -576 с.
5. Справочник по чугунному литью. /Под ред. Н.Г. Гришовича. –Л.: Машиностроение, 1978, -758 с.
6. Гришович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. –М.: Машиностроение, 1966, -562 с.
7. Ващенко К.И., Софрони Л. Магнийевый чугун. –М.: -К.: Машгиз, 1961. –487 с.
8. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом. /Захарченко Э.В. и др. –К.: Наук. Думка, 1986.-243с.

9. Александров Н.Н. Высококачественные чугуны для отливок. –М.: Машиностроение, 1982. –286 с.
10. Васильев Е.А. Отливки из ковкого чугуна. –М.: Машиностроение, 1966. –562 с.
11. Шульте Ю.А. Производство отливок из стали. –Киев-Донецк, Вища школа, 1983. –184 с.
12. Воздвиженский В.М. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении. –М.:Машиностроение, 1984. – 432 с.
13. Арсов Я.Б. Стальные отливки. –М.: Машиностроение, 1977. – 176 с.
14. Василевский Н.Ф. Технология стального литья. –М.: Машиностроение, 1974. –408 с.
15. Курдюмов А.В. и др. Литейное производство цветных и редких металов. –М.: Металлургия, 1982. –352 с.
16. Чурсин В.М., Бидуля Н.А. Технология цветного литья. –М.: Металлургия, 1967. –251 с.
17. Цветное литье. Справочник. /Н.М.Голдин, Д.Ф. Чернега, Д.Ф. Иванчук и др. –М.: Машиностроение, 1989. –528 с.

Література до розділу: “Обладнання ливарних цехів”

1. Аксенов Н.Н. Оборудование литейных цехов. –М.: Машиностроение. 1977. –510 с.
2. Аксенов П.Н., Орлов Г.М., Благодоров Б.П. Машины литейного производства // Атлас конструкций. –М.: Машинстроение. 1972. –152 с.
3. Матвиенко И.В., Тарский В.Л. Оборудование литейных цехов. – М.:Машиностроение. 1976. –440 с.
4. Зайгеров И.Б. Оборудование литейных цехов. –Минск:Вишэйшая школа, 1980. –368 с.
5. Сунцов В.П. Устаткування ливарних цехів, -К.:ЮДО: 1993. –552 с.
6. Сафронов В.Я. Справочник по литейному оборудованию. –М.: Машиностроение, 1985. –320 с.
7. Горский А.И. Расчет машин и механизмов автоматических линий литейного производства. –М.: Машиностроение, 1978. –331 с.

Література до розділу “Автоматизація ливарного виробництва”

1. Сунцов В.П. Устаткування ливарних цехів. –К.:УСДО, 1993 –552 с.
2. Дембовский В.В. Автоматизация литейных процессов: Справочник. –Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1989. –264 с.
3. Глинков Г.М., Маковский В.А., Лотман О.Л. Проектирование систем контроля и автоматического регулирования металлургических процессов. – М.: Металлургия, 1986. –352 с.

4. Немировский Р.Г. Автоматические линии литейного производства. –К., Донецк: Вища шк. 1981. –238 с.
5. Сафронов В.Я. Справочник по литейному оборудованию. –М.: Машиностроение, 1981. –272 с.
6. Средства и системы автоматизации литейного производства// К.С. Богдан, В.Н. Горобенко, В.М. Денисенко, Ю.П. Каширин. –М.: Машиностроение, 1981. –272 с.
7. Орлов Г.М. Автоматизация и механизация процесса изготовления литейных форм. –М.: Машиностроение, 1988. –264 с.

2 ПОРОШКОВА МЕТАЛУРГІЯ

2.1 Загальна інформація

Загальна характеристика порошкової металургії, як метода одержання порошкових та композиційних матеріалів і виробів.

Порошкова металургія як наука про процеси одержання, структуру та властивості порошків металів, сплавів, композиційних матеріалів, які виготовляються з використанням методів формування та спікання. Роль порошкової металургії композиційних матеріалів у сучасній техніці і її значення для розвитку промисловості.

Технічні та економічні переваги та обмеження використання порошкової металургії.

Сучасний стан порошкової металургії в Україні та в світі.

Роль фізико-хімічних явищ у процесах одержання порошків та волокон та виробів з них.

Властивості порошків. Хімічні, фізичні та технологічні властивості порошків. Методи визначення та контролю властивостей порошків. Взаємозв'язок між властивостями порошків.

2.2 Отримання порошків металів, сплавів та волокон і виробів з них

2.1 Отримання порошків металів, сплавів та волокон і усів

Механічні методи отримання порошків.

Загальні положення. Основи теорії та закономірності подрібнення. Закони подрібнення. Роль методу отримання порошків механічним подрібненням на формування їх властивостей.

Закономірності подрібнення в кульових, вібраційних, атриторних, планетарних, струйних та вихрових млинах.

Фізико-хімічні методи одержання порошків.

Отримання порошків металів та сплавів відновлюванням оксидів та солей металів. Основи термодинаміки відновлювальних процесів. Механізм та кінетика відновлювальних процесів порошкових систем. Вплив різних факторів на формування структури та властивостей порошків.

Закономірності отримання порошків металів відновлюванням оксидів та солей металів воднем, вуглецем та вуглецьвміщуючими газами, металотермією. Вплив технологічних факторів на параметри відновлення та властивості отримуваних порошків.

Основні промислові методи отримання порошків відновлюванням.

Електрохімічні методи отримання порошків металів. Отримання порошків металів *електролізом водяних розчинів та розплавів солей металів.* Фізико-хімічні основи методу. Вплив різних факторів (щільності струму,

концентрації електроліту, кислотності розчину, часу електролізу, вмісту домішок) на техніко-економічні показники процесу та формування структури та властивостей порошків.

Отримання порошків металів *автоклавному методом, цементацією та міжкристалітною корозією*. Суть методів та вплив різних факторів на формування структури та властивостей порошків.

Газофазні методи одержання порошків.

Отримання порошків металів дисоціацією карбонілів, випарюванням-конденсацією, відновлюванням в газовій фазі.

Закономірності проходження реакцій у газовій фазі за участю та без участі поверхні. Вплив різних факторів на формування властивостей порошків, що отримуються з газової фази.

Отримання порошків металів та сплавів розпиленням розплавів.

Розпилення газами та рідиною. Вплив різних факторів на формування структури та властивостей порошків. Формоутворення частинок порошків при їх отриманні розпилюванням розплавів. Вплив технологічних факторів на формування властивостей порошків.

Отримання порошків без кисневих тугоплавких сполук.

Властивості та застосування безкисневих тугоплавких сполук. Закономірності та технологія отримання порошків карбідів, боридів, нітридів, силіцидів, неметалевих тугоплавких сполук (карбід бору, карбід силіцію, нітриду кремнію). Отримання порошків литих тугоплавких сполук.

Отримання волокон та вусів.

Класифікація методів одержання. Закономірності одержання волокон та вусів з розплавів, електролізом, осадженням з газової фази. Отримання волокон змішаними методами та методами порошкової металургії.

Рекомендована література

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учебник для вузов /В.Н.Анциферов, Г.В.Бобров,Л.К.Дружинин и др. - М., Металлургия, 1987. - 792с.

2.Кипарисов С.С.,Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. - М.; Металлургия,1980.-495с.

3.Степанчук А.М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів і тугоплавких сполук: Підручник. – К.: НТУУ «КПІ», 2006, - 353 с.

4.Степанчук А.Н. Физико-химические закономерности получения порошков металлов и сплавов, Киев: УМК ВО, 1990.-184с.

5.Ходаков Г.С. Физика измельчения.-М.: Металлургия, 1972.-307с.

6.Радомышельский И.Д., Напара-Волгина С.Г. Получение легированных порошков диффузионным методом и их использование.-Киев: Наук.думка, 1988.-136с.

7.Ничипоренко О.С., Помосов А.В., Набойченко С.С. Порошки меди и ее сплавов.-М.: Металлургия, 1988.-205с.

8.Ничипоренко О.С., Найда Ю.И., Медведовский А.Б. Распыленные металлические порошки.-Киев: Наук. Думка, 1980.-238с.

2.2 Формування виробів з порошків металів та сплавів

Загальні закономірності ущільнення порошкових тіл.

Закономірності ущільнення пластичних та крихких порошків. Вплив властивостей порошків та їх структури на їх ущільнення. Аналітичний опис процесу формування. Поняття контактного перерізу та контактної поверхні. Рівняння формування; математичні залежності щільності виробів від тиску формування.

Вплив різних факторів на розподіл щільності у формовках. Боковий тиск, зовнішнє та внутрішнє тертя, сила виштовхування, пружна післядія. Використання мастил при формуванні; їх роль у розподілі щільності та формуванні структури формовок.

Варіанти формування. Практика формування.

Підготовка порошків для формування. Відпал, класифікація, розсів. Змішування порошків. Грануляція шихти, визначення наважки, дозування. Варіанти формування. Одно- та двостороннє формування. Формування на механічних та гідравлічних пресах.

Ізостатичне формування.

Різновиди ізостатичного формування. Закономірності ізостатичного формування, вплив різних факторів на процес формування структури та властивостей виробів. Математичний опис ізостатичного формування. Особливості газостатичного формування.

Формування довгомірних виробів.

Формування скошеним пуансоном.

Формування прокаткою. Вплив різних факторів на формування структури та властивостей прокату з порошків. Основні закономірності прокатки порошків.

Швидкісне (імпульсне) формування.

Методи імпульсного формування. Механізм ущільнення при імпульсному формуванні. Вплив різних факторів на процес ущільнення при імпульсному формуванні. Структура та властивості виробів.

Бездеформаційні методи формування.

Мундштучне формування та екструзія. Закономірності формування цими методами. Шлікерне литво, литво з термопластичних мас, інжекційне формування. Вплив різних факторів на характер розподілу щільності та формування властивостей виробів. Вібраційне формування.

Брак при формуванні.

Причини браку та можливість його виправлення. Методи контролю якості формовок.

Рекомендована література

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учебник для вузов / В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин и др. - М., Металлургия, 1987. - 792с.
2. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. - М.; Металлургия, 1980.-495с.
3. Степанчук А.Н. Закономерности прессования порошковых материалов.-Киев: УМК ВО, 1992ю-175с.
4. Жданович Г.М. Теория прессования порошковых материалов.-М.: Металлургия, 1969.-264с.
5. Феномонологические теории прессования / М.Б. Штерн, Г.Г. Сердюк, Л.А. Максименко и др.-Киев: Наукова думка, 1982.-140с.
6. Процессы изостатического прессования / Под ред. П.Дж. Джеймса. -М.: Металлургия, 1990.-192с.
7. Высокоскоростные способы прессования деталей из порошковых материалов / К.Н. Богоявленский, П.А. Кузнецов, К.К. Мартенс и др. -Л.: Машиностроение, 1984.-168с.
8. Виноградов Г.А., Каташинский В.П. Теория листовой прокатки металлических порошков и гранул.-М.- Металлургия, 1979ю-224с.
9. Добровольский А.Г. Шликерное литье. М.: Металлургия, 1977. – 240с.
10. Анциферов В.Н., Перельман В.Е. Механика процессов прессования порошковых и композиционных материалов. –М. Изд.дом «Граль». 2001. – 628 с.

2.3 Спінання порошкових виробів

Характеристика процесів, що лежать в основі спікання.

Терміни спікання з технологічного та термодинамічного кута зору. Зовнішні ознаки спікання, усадка при спіканні, види усадки.

Рушійні сили спікання. Загальні відомості про стан матеріалів при кімнатних температурах та при нагріві з точки зору наявності дефектів та дифузійних процесів.

Поверхневий натяг як рушійна сила спікання. Капілярний тиск.

Спікання однокомпонентних систем як в'язка (дифузійно-в'язка) течія, об'ємна самодифузія, пластична течія, поверхнева самодифузія, перенесення

через газову фазу. Основні стадії спікання при дії цих механізмів, фізико-хімічні закономірності та кінетика процесів усадки.

Вплив структурного та геометричного факторів на процес спікання. Феноменологічний опис процесу спікання.

Спікання в реальних умовах.

Вплив різних факторів (температури, часу, властивостей вихідних порошків та формовок, умов спікання та ін.) на кінетику процесів спікання та формування структури та властивостей виробів.

Методи інтенсифікації процесів спікання.

Активоване спікання. Фізичні та фізико-хімічні методи активації спікання. Спікання за рахунок зовнішнього впливу на матеріал та за рахунок використання матеріалів з наперед заданим активним станом. Фізико-хімічні явища, які лежать в основі різних методів активованого спікання.

С

пікання під тиском.

Гаряче пресування. Механізм ущільнення та закономірності формування структури і властивостей виробів при гарячому пресуванні.

Гаряче ізостатичне пресування, динамічне гаряче пресування, гаряче кування та штамповка пористих заготівок. Закономірності формування структури та властивостей виробів при використанні цих методів.

Спікання багатоконпонентних систем.

Закономірності та кінетика спікання багатоконпонентних систем у твердій фазі. Роль процесів гетеродифузії.

Особливості усадки та процесів формування структури та властивостей порошкових виробів при спіканні систем з необмеженою розчинністю компонент, обмеженою їх розчинністю та розчинних один в одному.

Спікання багатоконпонентних систем та композиційних матеріалів у присутності рідкої фази. Роль змочуваності твердої фази рідкою. Вплив різних факторів (змочуваності, розчинності компонент, щільності формовок, кількості рідкої фази та інш.) на процес спікання та формування структури та властивостей порошкових та композиційних матеріалів.

Просочування. Закономірності просочування при виготовленні порошкових та композиційних матеріалів.

Властивості спечених порошкових та композиційних виробів.

Залежність властивостей виробів від умов спікання та характеристик вихідних матеріалів та пористих заготівок. Методи контролю структури та властивостей спечених виробів.

Рекомендована література

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учебник для вузов /В.Н.Анциферов, Г.В.Бобров,Л.К.Дружинин и др. - М., Металлургия, 1987. - 792с.
2. Кипарисов С.С.,Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. - М.; Металлургия, 1980.-495с.
3. Гегузин Я.Е. Физика спекания.-М.: Наука,1967.-
4. Скороход В.В. Реологические основы теории спекания.- Киев: Наук.думка, 1972.-149с.
5. М.С.Ковальченко Теоретические основы горячей обработки пористых материалов давления, Киев: Наук. Думка, 1980-240с. (с.44-92).
6. Скороход В.В., Штерн М.Б. Технология процессов формования и спекания порошковых материалов.- Киев: Знание, 1985.-19с.
7. Скороход В.В., Солонин С.М. Физико-металлургические основы спекания порошков.-Мю; Металлургия, 1984.-159с.
8. Кислый П.С.,Кузенкова М.А. Спекание тугоплавких соединений. – Киев. Наук.думка.1980.-167 с.
9. Райченко А.И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока. – М. Металлургия. 1987. – 184 с.
10. Самсонов Г.В.,Кислый П.С. Горячее прессование. –Киев. Гостехиздат, 1962. – 264 с.

2.4 Теорія та технологія нанесення покриттів

Значення захисних покриттів для різних областей техніки. Завдання які вирішуються з використанням напилених покриттів. Класифікація покриттів. Газотермічні і вакуумно-конденсаційні покриття.

Загальна характеристика способів нанесення покриттів.

Класифікація газотермічних способів напилення. Електродугова металізація. Загальні закономірності електродугової металізації. Електрична дуга, як джерело нагріву розпиляемого матеріалу. Газополум'яне напилення. Плазмове напилення. Утворення і склад низькотемпературної плазми. Плазмовий струмінь як джерело нагріву напиляємих частинок. Знаходження вихідних характеристик плазмового струменя. Зміна вихідних характеристик плазмового струменя. Загальні закономірності детонаційно-газового напилення. Механізм детонаційно-газового перетворення. Кінетика детонаційно-газового перетворення. Прискорення частинок при детонаційно-газовому напиленні.

Закономірності формування потоку частинок при газо термічному напиленні.

Основні стадії газотермічного напилення. Нагрів і прискорення частинок матеріалів в газовому струмені. Особливості формування потоку частинок при порошковому і проволочному способах напилення. Зміна температури і швидкості газового потоку і частинок, що напилюються. Основні залежності і рівняння для розрахунку розміру розпилюємих частинок.

Утворення та структура газотермічних покриттів.

Взаємодія частинок з напилюваною поверхнею. Процеси які проходять в зоні контакту. Визначення енергії активації для утворення міцних зв'язків. Схема деформації частинок при зустрічі з основою. Напорний і імпульсний тиски. Механізм фізико-хімічних процесів, які забезпечують утворення міцних зв'язків. Виникнення фізичного і хімічного контактів в зоні взаємодії. Умови формування покриття в різних точках пятна напилення. Фігура напилення. Особливості формування структури покриття та її характеристика. Причина утворення і характеристика дефектів структури.

Вакуумно конденсаційне напилення.

Класифікація способів вакуумно конденсаційного напилення. Фізико-хімічні основи процесу випаровування чистих металів, сплавів і сполук. Рівняння Ленгмюра. Правило Рауля. Катодне розпилення. Формування потоку напиляємих частинок. Атомарний, молекулярний, іонізований та змішані потоки. Наявність в паровому потоці агрегатів атомів, молекул і капельної фази. Енергія напилених частинок. Способи її збільшення. Адсорбція частинок на поверхні напилення. Фізична адсорбція і хемосорбція. Термічна акомодация атомів напилюємого матеріалу. Процеси зародження і росту напилюємих покриттів. Розмір критичного зародку нової фази і його залежність від матеріалів покриття. Формування структури покриття. Тризонна модель. Характеристика розміру кристалів та вплив на форму температури поверхні і дифузійної активності атомів.

Газофазне напилення покриттів.

Термодинаміка процесу утворення покриттів. Основні реакції, які проходять в реакційному просторі. Термічний розклад. Принципова схема установок для отримання покриттів із газової фази. Формування структури і властивості газофазних покриттів.

Композиційні електрохімічні покриття.

Загальна характеристика композиційних електрохімічних покриттів. Стадії утворення. Умови росту металевої матриці та вплив на процес параметрів роботи (струм, концентрація, температура та ін.). Формування структури покриття та його властивості.

Рекомендована література

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учебник для вузов /В.Н.Анциферов, Г.В.Бобров,Л.К.Дружинин и др. - М., Металлургия, 1987. - 792с.
2. Палеха К.К. Физико-химические основы нанесения покрытий
3. Білик І.І. Технологія та обладнання напиленних покриттів: Навч. посіб. – К.: ІВЦ”Видавництво”Політехніка”, 2004. – 92 с.
4. Дубовий О.М., Степанчук А.М. Технологія напилення покриттів: Підручник. – Миколаїв: НУК, 2007. – 236 с.

Програму розробили:

д.т.н. проф. Могилатенко В.Г.
 д.т.н. проф. Лобода П.І.
 д.т.н. проф. Юркова О.І.
 к.т.н. проф. Степанчук А.М.
 к.т.н. доц. Гурія. І.М.
 к.т.н. доц. Сиропоршнєв Л.М.
 д.т.н. доц. Ямшинський М.М.
 к.т.н. доц. Лютий Р.В.
 д.т.н. доц. Богомол Ю.І.
 д.т.н. доц. Мініцький А.В.