



ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Робоча програма освітнього компонента (Силабус)

Реквізити освітнього компонента

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>Інженерія, виробництво та будівництво</i>
Спеціальність	<i>G10 Металургія</i>
Освітня програма	<i>Комп'ютеризовані процеси лиття</i>
Статус ОК	<i>Обов'язковий</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг ОК	<i>8 кредитів ЕКТС, 240 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / МКР</i>
Розклад занять	<i>За розкладом http://roz.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., професор Лютий Ростислав Володимирович, rvl2005@ukr.net, +38(050)-44-777-91 Практичні: д.т.н., професор Лютий Ростислав Володимирович, rvl2005@ukr.net, +38(050)-44-777-91 Лабораторні: старший викладач Смірнова Яна Олександрівна, iasm-iff@ill.kpi.ua</i>
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/w/MTU4NDU1ODc4Nzcxw/t/all

Програма освітнього компонента

1. Опис освітнього компонента, мета, предмет вивчення та результати навчання

Освітній компонент «Теоретичні основи ливарного виробництва» відноситься до циклу професійної підготовки і вивчається до початку засвоєння інших освітніх компонентів фахової підготовки, призначений дати здобувачам вищої освіти головні закономірності плавлення, заливання ливарних сплавів, кристалізації та формування виливків у ливарній формі, динаміки їх затвердіння і формування структури та властивостей.

Тільки на основі повного і чіткого засвоєння теоретичних основ ливарного виробництва здобувачі вищої освіти будуть готові до розуміння та вивчення подальших освітніх компонентів з фахової підготовки.

Метою освітнього компонента є вивчення властивостей рідких металів і сплавів, закономірностей їх взаємодії з газами в процесі плавлення й заливання, заповнення порожнини ливарної форми, формування кристалічної структури вилівка та принципів управління цими процесами, утворення у виливках внутрішніх напружень та тріщин.

Предметом освітнього компонента є теоретичні основи фізичних, хімічних, теплових та інших процесів, на яких базуються технології ливарного виробництва.

Освітній компонент формує у здобувачів вищої освіти фахові компетентності:

- ФК 2: Здатність вирішувати типові інженерні завдання відповідно до спеціалізації;
- ФК 3: Критично осмислювати наукові факти, концепції, теорії, принципи і методи, необхідні для професійної діяльності в сфері металургії;
- ФК 4: Здатність застосовувати і інтегрувати знання на основі розуміння інших інженерних спеціальностей;
- ФК 29: Здатність проводити дослідження, оброблювати та аналізувати результати, робити висновки і надавати рекомендації.

Освітній компонент забезпечує програмні результати навчання:

- ПР 06: Вміння обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні); правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки;
- ПР 10: Розуміння особливостей матеріалів, що застосовуються, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів, а також їх обмежень відповідно до спеціалізації;
- ПР 11: Вміння поєднувати теорію і практику для вирішення інженерних завдань відповідної спеціалізації металургії;
- ПР 16: Розуміння широкого міждисциплінарного контексту металургії;
- ПР 24: Розуміння кращих світових практик і стандартів діяльності та навички застосовувати їх у металургійній галузі України;
- ПР 39: Вміння здійснювати дослідження з використанням сучасних експериментальних методів, оброблювати та аналізувати результати досліджень, обґрунтовувати висновки і надавати рекомендації.

2. Пререквізити та постреквізити освітнього компонента (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Вивчення освітнього компонента базується на знаннях, отриманих раніше в результаті вивчення вищої математики (2 частини), хімії, хімії елементів, фізики (2 частини), фізичної хімії, теорії металургійних процесів, теоретичної та прикладної механіки.

Освітній компонент забезпечує в подальшому вивчення освітніх компонентів на першому рівні вищої освіти: «Технологія ливарної форми», «Устаткування ливарних цехів», «Виробництво виливків із чавуну», «Виробництво виливків із сталей», «Виробництво виливків із кольорових металів», «Виробництво виливків спеціальними способами лиття», а також на другому (магістерському) рівні вищої освіти: «Кристалізація та властивості чавуну у виливках», «Сталеве литво», «Кольорове литво», «Жароміцні сплави», «Спеціальні та особливі способи лиття».

3. Зміст освітнього компонента

Розділ 1. Властивості металів і сплавів

Тема 1.1. Фізичні властивості металів і сплавів та методи їх визначення.

Тема 1.2. Випаровування металів під час плавлення.

Розділ 2. Взаємодія рідких металів з газами. Заливання металів і сплавів

Тема 2.1. Основи взаємодії рідких металів і сплавів з газами.

Тема 2.2. Методи видалення розчинених газів із металевих розплавів.

Тема 2.3. Витікання металу з ковша та його рух у формі.

Тема 2.4. Рідкотекучість сплавів і заповнення ливарних форм.

Розділ 3. Кристалізаційні процеси

Тема 3.1. Термодинаміка процесів кристалізації.

Тема 3.2. Методи регулювання кристалізаційних процесів.

Тема 3.3. Неметалеві вкраплення і ліквация. Фільтрування розплавів.

Розділ 4. Теплові процеси

Тема 4.1. Математичний і фізичний опис теплових процесів.

Тема 4.2. Визначення тривалості твердіння виливків за законом «квадратного кореня».

Тема 4.3. Визначення тривалості твердіння та охолодження виливків у піщаних і металевих формах.

Тема 4.4. Зовнішні та внутрішні холодильники та їх розрахунок.

Розділ 5. Усадкові процеси

Тема 5.1. Усадкові дефекти та причини їх утворення.

Тема 5.2. Надливи та регулювання їх роботи.

Тема 5.3. Внутрішні напруження та усадкові деформації.

Тема 5.4. Гарячі та холодні тріщини.

Перелік лабораторних робіт:

1. Дослідження температурних кривих охолодження металів та сплавів (2 год)
2. Дослідження впливу теплофізичних властивостей матеріалу ливарної форми на кінетику твердіння виливка (4 год)
3. Дослідження залишкових температурних напружень у виливках (4 год)
4. Дослідження кінетики вільної та утрудненої усадки ливарних сплавів (2 год)
5. Дослідження об'ємної усадки сплавів (2 год)
6. Дослідження впливу температури заливання та матеріалу форми на рідкотекучість сплавів (4 год)

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базові:

1. Лютий Р.В., Ямшинський М.М., Кочешков А.С. Теоретичні основи ливарних процесів: Підручник. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 330 с.
2. Elbel T. Theory of foundry processes / T. Elbel, F. Havlicek. – Ostrava, 2014. – 96 p.
3. Valencia J. J., Thermophysical Properties // Juan J. Valencia, Peter N. Quested. ASM Handbook, Volume 15: Casting. – pp. 468 – 481. DOI: 10.1361/asmhba0005240.
4. Затвердіння металів і металевих композицій: підручник / В. А. Лейбензон, В. Л. Пилюшенко, В. М. Кондратенко та ін. – Київ: Наукова думка, 2009. – 412 с.
5. Лютий Р.В. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Теоретичні основи ливарного виробництва». – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 80 с.

Допоміжні:

6. Кузовов А.Ф., Малій А.В. Технологічні розрахунки живлення виливків. – Запоріжжя, 2013. – 56 с.
7. Ливарні властивості металів і сплавів для прецизійного лиття: підручник / Богуслаєв В. О., Реп'ях С. І., Могилатенко В. Г. та ін. – Запоріжжя: Вид-во АТ «Мотор Січ», 2016. – 474 с.
8. Дробязко В.М., Фесенко А.М., Лютий Р.В., Фесенко М.А. Ливарна гідравліка. – Краматорськ: ДДМА, 2010. – 108 с.
9. Верховлюк А. М. Взаємодія рідких і твердих фаз в металургійних процесах / А. М. Верховлюк. – Київ: Наукова думка, 2014. – 168 с.

10. Теоретичні основи ливарного виробництва: підручник / В. Г. Могилатенко, О. І. Пономаренко, В. М. Дробязко та ін. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – 288 с.

Інформаційні ресурси:

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт:

<https://classroom.google.com/c/MTU4NDU1ODc4Nzcw/m/Mzk3MTAxNzM3OTAy/details>

Література є у вільному доступі в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського та Методичному кабінеті кафедри ливарного виробництва.

Додатково можна опрацьовувати літературу з Інтернет джерел:

1. foundry.kpi.ua
2. <http://54670.ua.all.biz>
3. www.ptima.kiev.ua
4. <http://litmetal.ru/index.html>
5. www.lityo.com.ua
6. www.mlu.com.ua

Здобувачі вищої освіти можуть самостійно шукати матеріали за окремими питаннями курсу, що забезпечує розвиток здатності до пошукової та дослідницької діяльності, критичного аналізу інформації.

Навчальний контекст

5. Методика опанування освітнього компонента

Передбачено аудиторну систему навчання, яка може бути замінена на альтернативну (змішану) із використанням дистанційної системи ZOOM.

Для більш ефективної комунікації викладача та студентів використовується електронна пошта, месенджери Viber та WhatsApp, папка зі спільним доступом на сайті Classroom, в якій розміщуються необхідні матеріали: Силабус, Посібник для практичних робіт, Підручник (№1 із списку літератури), всі лекції у форматі PDF, презентації лекцій у форматі PPT, Посібник для лабораторних робіт.

Структура курсу

Лекція 1. Вступна лекція Вступ. Технологічний процес виготовлення виливка. Мета і задачі освітнього компонента. Література. Головні поняття та терміни. Рейтинг.
Лекція 2. Температура плавлення, густина та питомий об'єм металів і сплавів Температура плавлення металів та її залежність від тиску під час плавлення. Густина та питомий об'єм металів та їх залежність від температури. Густина та питомий об'єм сплавів. Атомна маса сплаву. Атомний об'єм сплаву.
Практичне заняття 1. Структура навчальної дисципліни. Правила виконання практичних робіт, система оцінювання. Ознайомлення із методичним забезпеченням. Визначення графіку виконання самостійних домашніх завдань.
Лекція 3. Поверхневий натяг та в'язкість розплавів Поверхневий натяг розплавів та його залежність від температури. В'язкість розплавів. Вплив поверхневого натягу на формування поверхні виливка. Дифузія в розплавах.
Лекція 4. Теплові властивості металів Електричні та теплові властивості металів, їх залежність від температури та вплив на формування виливка в процесі охолодження. Розрахунок коефіцієнтів температуропровідності та теплоакумуляційної здатності металів у твердому та рідкому стані. Теплота змішування рідких металів.

Практичне заняття 2. Фізичні властивості металів і сплавів. Розрахунок складу сплаву в атомних відсотках, питомого об'єму та густини сплаву, маси грам-атому сплаву.
Лабораторне заняття 1. Вступний інструктаж та представлення графіку лабораторних робіт. Ознайомлення із лабораторіями кафедри.
Лекція 5. Випаровування металів під час плавлення Випаровування металів за атмосферного тиску. Тиск насиченої пари металу та сплаву. Легколетючі метали. Залежність тиску насиченої пари від температури. Кипіння металів. Випаровування металів та сплавів при у вакуумі. Маса металу, що випаровується. Швидкість випаровування компонентів сплаву. Вакуумна дистиляція.
Лекція 6. Взаємодія рідких металів з газами Джерела газів. Вираження вмісту газів у металах. Кінетика процесу взаємодії рідких металів з газами. Вплив тиску газу та температури. Види взаємодії. Етапи взаємодії. Продукти взаємодії та їх вплив на процеси газонасичення.
Практичне заняття 3. Теплові властивості металів і сплавів Визначення витрат теплоти на нагрівання, плавлення і перегрівання металу. Розрахунок теплофізичних констант металу у твердому та рідкому станах.
Лекція 7. Взаємодія рідких металів з воднем. Таблиця розчинності газів у металах. Взаємодія розплавів з воднем. Джерела появи водню. Рівняння розчинності водню в металах. Розчинність водню в сплавах. Хімічна взаємодія водню з металами.
Лекція 8. Взаємодія розплавів з киснем, азотом і складними газами Розчинність кисню в залізовуглецевих сплавах. Окислення металів у рідкому і твердому станах. Розкислення сплавів, вибір розкислювачів. Кінетика взаємодії розплавів з азотом та складними газами. Хімічна взаємодія азоту, сірки і вуглецю з металами.
Практичне заняття 4. Випаровування металів і сплавів під час плавлення Розрахунок складу парової фази під час плавлення металів за атмосферного тиску. Швидкість випаровування під час плавлення в вакуумі.
Лабораторне заняття 2. Виконання лабораторних робіт (кожна бригада студентів виконує окрему лабораторну роботу).
Лекція 9. Контроль газонасиченості рідких металів та виливків Газові дефекти та їх вплив на властивості металу у виливках. Якісний та кількісний аналіз вмісту газів у виливках. Методи вакуум-нагрівання та вакуум-плавлення. Експрес-метод визначення вмісту газів у виливках.
Лекція 10. Дегазація розплавів вакуумуванням і продуванням інертними газами Запобігання утворенню газових дефектів в виливках. Дегазація розплавів. Вакуумування розплавів у ковші. Вакуумування струменя. Порційне вакуумування. Продування інертним газом у ковші через трубку або через пористі пробки у дні ковша. Продування інертними газами у вакуумі. Схеми процесів, параметри ефективності дегазації, переваги і недоліки.
Практичне заняття 5. Взаємодія металів і сплавів з газами Розрахунок вмісту газів у металах і сплавах. Розрахунок параметрів дегазації під час продування інертним газом.
Лекція 11. Інші методи дегазації розплавів Оброблення хлористими та фтористими солями. Сутність процесів та ефективність очищення. Виморожування розплавів. Нагрівання до температури кипіння. Підвищення тиску під час кристалізації. Зонне переплавлення у вакуумі. Оброблення ультразвуком, електричним та магнітним полями.
Лекція 12. Витікання металу із стопорного ковша Конструкція стопорного ковша. Область застосування. Формування струменя металу. Швидкість струменя в отворі та на відстані від нього. Розрахунок об'ємної та масової витрати розплаву з ковша. Тривалість витікання. Режими заповнення форм із ковша. Коефіцієнт гальмування. Розрахунок діаметра отвору стопорного стакану.
Практичне заняття 6. Витікання металу із ковшів Витікання металу із стопорного ковша. Розрахунок швидкості, об'ємної та масової витрат,

тривалості витікання, діаметра стопорного стаканчика. Визначення положення носикового ковша в процесі заливання. Розрахунок параметрів динамічної дії струменя металу на стінки форми та величини гідравлічного удару.
Лабораторне заняття 3. Виконання лабораторних робіт (кожна бригада студентів виконує окрему лабораторну роботу).
Лекція 13. Витікання металу із носикового ковша Конструкція носикового ковша. Рушійний напір. Траєкторія та рівняння руху струменя металу. Визначення положення носика ковша відносно заливальної воронки по висоті та по горизонталі. Енергія, потужність, сила удару та динамічний тиск струменя металу.
Лекція 14. Рух металу в каналах ливникової системи Режими руху металу. Критерій Рейнольдса та його розрахунок. Гідравлічний радіус каналу. Швидкість металу в каналах ливарної форми. Коефіцієнти місцевих втрат та їх розрахунок.
Практичне заняття 7. Рух металу в каналах ливарної форми Визначення режиму руху металу в каналах ливарної форми. Розрахунок швидкості розплаву.
Лекція 15. Рідкотекучість металу та заповнювання форм Рідкотекучість металів, її види та залежність від технологічних факторів. Технологічні проби. Заповнювання форми і відтворення конфігурації її тонких елементів. Вибір температури заливання. Охолодження металу під час випуску з печі та транспортування у ковшах. Розрахунок температурних втрат.
Лекція 16. Термодинаміка процесу кристалізації Передкристалізаційний стан рідких металів. Флуктуації, кластери, їх існування за різних температур. Термодинамічна теорія кристалізації. Гомогенне утворення зародків кристалізації та їх критичний радіус. Енергія утворення зародків.
Практичне заняття 8. Вирішення завдань для підготовки до першої частини модульної контрольної роботи.
Лабораторне заняття 4. Виконання лабораторних робіт (кожна бригада студентів виконує окрему лабораторну роботу).
Лекція 17. Гетерогенне зародкоутворення Гетерогенне утворення зародків кристалізації. Критичний радіус гетерогенного зародка та енергія його утворення. Вибір домішок для гетерогенного зародкоутворення. Гомогенна кристалізація розплавів з позицій синергетики. Розрахунок критичного радіусу зародка кристалізації.
Лекція 18. Кристалізація металу у виливках Швидкість утворення і росту зародків кристалізації. Формування зернової структури виливка. Первинна кристалізація металу у виливках. Послідовна і об'ємна кристалізації. Критерій характеру кристалізації. Утворення аморфних металів.
Практичне заняття 9. Об'ємна та послідовна кристалізація Розрахунок критерію та встановлення характеру твердіння виливка. Розмір критичного гомогенного зародка та енергії його утворення.
Лекція 19. Кристалічна будова виливків Особливості кристалізації сплавів. Будова області твердіння. Дендрити та їх будова. Типи кристалізаційних структур у виливках. Структурні області у виливках, їх залежність від умов тепловіддачі та діаграми стану. Методи регулювання кристалізаційних процесів.
Лекція 20. Регулювання кристалізаційних процесів Теплові методи, фізико-хімічні методи. Модифікування розплавів Модифікатори та їх вибір, приклади модифікування. Суспензійне лиття. Вплив ультразвуку та електричних полів на процеси кристалізації.
Практичне заняття 10. Модульна контрольна робота, частина 1.
Лабораторне заняття 5. Виконання лабораторних робіт (кожна бригада студентів виконує окрему лабораторну роботу).
Лекція 21. Ліквіація у виливках Дендритна і зональна ліквіація та методи її виявлення. Коефіцієнт розподілу домішок. Зв'язок

ліквації із діаграмами стану. Схильність елементів до ліквації. Запобігання ліквації та її усунення. Види зональної ліквації та причини їх утворення. Методи попередження зональної ліквації.
Лекція 22. Неметалеві вкраплення у виливках Неметалеві вкраплення, причини їх утворення і класифікація. Поведінка неметалевих часток у розплаві. Попередження утворення неметалевих вкраплень у виливках. Виявлення вкраплень.
Практичне заняття 11. Фільтрування розплавів. Розрахунок параметрів процесу фільтрування розплавів за допомогою сітчастих, зернистих та пінокерамічних фільтрів.
Лекція 23. Фільтрування розплавів Сітчасті фільтри. Схеми використання. Розрахунок металостатичного тиску під час фільтрування. Фільтрування розплавів зернистими та пінокерамічними фільтрами. Механізм затримання неметалевих вкраплень у фільтрах. Схеми фільтрування. Процес виготовлення пінокерамічного фільтра. Ефективність процесів фільтрування.
Лекція 24. Дослідження процесів твердіння Методи дослідження теплових процесів твердіння виливків. Вирішення найпростішої задачі про тривалість твердіння вилівка. Коефіцієнт твердіння. Вирішення задачі Стефана-Шварца про твердіння вилівка.
Практичне заняття 12. Розрахунки тривалості твердіння виливків Розрахунок тривалості твердіння виливків у піщаних та металевих формах за законом «квадратного кореня». Визначення коефіцієнтів твердіння.
Лабораторне заняття 6. Виконання лабораторних робіт (кожна бригада студентів виконує окрему лабораторну роботу).
Лекція 25. Вплив технологічних факторів на твердіння вилівка Розрахунок тривалості твердіння вилівка за законом «квадратного кореня» для лиття у піщані і металеві форми. Визначення коефіцієнтів, які враховують конфігурацію вилівка, перегрівання та інтервал кристалізації сплаву, зазор «метал-форма», газ у зазорі.
Лекція 26. Метод Баландіна Г.Ф. для лиття у піщані форми Етапи твердіння і охолодження виливків у піщаній формі за методом Г.Ф. Баландіна. Визначення тривалості відведення теплоти перегрівання. Спектральна, спектральна ефективна та ефективна теплота кристалізації. Рівняння тепломасообміну для сплавів типу твердого розчину та сплавів з евтектикою. Розрахунок тривалості твердіння виливків. Тривалість охолодження виливків у піщаній формі після кристалізації. Вибір температури вибивання. Тривалість охолодження виливків на повітрі.
Практичне заняття 13. Розрахунки тривалості твердіння виливків Розрахунок тривалості твердіння та охолодження виливків у піщаних формах за методом Баландіна Г.Ф.
Лекція 27. Метод Вейника А.Й. для лиття в металеві форми Особливості розрахунку тривалості твердіння виливків у металевій формі за методом А.Й. Вейника. Формула для визначення тривалості твердіння. Тривалість охолодження виливків у металевій формі після кристалізації. Вибір температури вибивання. Тривалість охолодження виливків на повітрі.
Лекція 28. Регулювання теплових процесів Регулювання процесів твердіння та охолодження виливків. Послідовне твердіння. Вибір матеріалу форми та його вплив на коефіцієнти твердіння. Використання газів, зовнішнього тиску, розрідження та продування форм повітрям. Поняття про холодильники.
Практичне заняття 14. Розрахунки тривалості твердіння виливків Розрахунок тривалості твердіння та охолодження виливків у металевих формах за методом Вейника А.Й.
Лабораторне заняття 7. Виконання лабораторних робіт (кожна бригада студентів виконує окрему лабораторну роботу).
Лекція 29. Зовнішні та внутрішні холодильники Зовнішні холодильники. Призначення, типи, розрахунок об'єму та лінійних розмірів. Схеми встановлення. Зовнішні холодильники. Встановлення розмірів зовнішніх холодильників.

Лекція 30. Лінійна усадка виливків Види усадки. Вільна і утруднена ливарна усадка. Коефіцієнти усадки у рідкому, твердому станах та при твердінні. Ливарна усадка. Зв'язок між лінійним і об'ємним коефіцієнтами усадки. Коефіцієнти усадки металів та сплавів. Формування усадкових порожнин та їх види.
Практичне заняття 15. Регулювання теплових процесів Зовнішні і внутрішні холодильники. Розрахунок розмірів зовнішніх і внутрішніх холодильників.
Лекція 31. Усадкові порожнини Усадкові раковини і механізм їх утворення. Розрахунок глибини усадкової раковини. Усадкова пористість та її утворення у металах та сплавах. Методи визначення і розрахунку об'єму порожнин. Методи запобігання утворенню усадкових порожнин.
Лекція 32. Надливи Надливи і їх різновиди. Вихід придатного литва. Регулювання роботи надливів. Механічні методи: підкачування розплаву, подача інертного газу. Надливи атмосферного і надатмосферного тиску.
Практичне заняття 16. Усадкові процеси Розрахунок усадки металів і сплавів у твердому і рідкому стані. Усадка під час твердіння. Вибір типу і розрахунок розмірів надливів.
Лабораторне заняття 8. Виконання лабораторних робіт (кожна бригада студентів виконує окрему лабораторну роботу).
Лекція 33. Регулювання роботи надливів. Розрахунок надливів. Теплові методи регулювання: доливання розплаву з ковша, підігрівання електричною дугою, використання тепло ізольованих надливів. Екзотермічні надливи. Склад екзотермічних сумішей. Область використання методів. Інженерні методи розрахунку розмірів надливів за методами Б.Б. Гуляєва, І. Пржібила, О.Ф. Кузовова. Методика розрахунку кінетики твердіння виливків і розмірів надливів на ПЕОМ.
Лекція 34. Внутрішні напруження у виливках Види та механізм утворення напружень у виливках. Розрахунок величини механічних та термічних напружень. Запобігання утворенню напружень у виливках. Контроль напружень у виливках.
Практичне заняття 17. Внутрішні напруження у виливках Розрахунок механічних напружень у виливках. Розрахунок термічних напружень у виливках. Визначення радіусу жолоблення і стріли прогину виливків.
Лекція 35. Деформація виливків у процесі охолодження Усадкові деформації в виливках. Розрахунок величини жолоблення виливків у процесі охолодження. Попередження жолоблення виливків.
Лекція 36. Тріщини у виливках Різновиди та механізм утворення тріщин у виливках. Контроль схильності сплавів до тріщиноутворення. Попередження утворення гарячих та холодних тріщин. Усунення тріщин у виливках.
Практичне заняття 18. Модульна контрольна робота, частина 2
Лабораторне заняття 9. Підсумкове заняття. Захист лабораторних робіт, визначення рейтингу.

6. Самостійна робота здобувачів вищої освіти

Самостійна робота здобувачів здійснюється протягом всього семестру в рамках годин відповідно до робочого навчального плану підготовки.

Підготовка до лекцій: ознайомлення з матеріалами попередніх лекцій.

Підготовка до лабораторних робіт: написання протоколу, проведення розрахунків, побудова графічних залежностей і формулювання висновків за даними виконання роботи – до наступної лабораторної роботи.

Підготовка до практичних робіт: ознайомлення з матеріалами лекцій стосовно тематики практичних робіт, робота із методичними вказівками до практичних робіт.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Освітній компонент «Теоретичні основи ливарного виробництва» складається із курсу із 36 лекцій, 18 практичних та 9 лабораторних занять. Кожне заняття висвітлює окрему тему.

Загальний зміст кредитного модуля представлено у 5 змістових модулях (розділах), які поділені в свою чергу на 17 тем.

Лекційні заняття забезпечено підручником, розробленим безпосередньо для цього курсу, а також конспектом лекцій. Під час їх проведення може бути використано мультимедійну техніку, але враховуючи специфіку викладання матеріалу (необхідно виводити багато математичних формул, поступово зображувати і доповнювати розрахункові схеми) більшість матеріалу викладається на дошці. Дається тільки теорія, а всі приклади – на практичних заняттях. В умовах змішаного навчання всі лекції представляються у вигляді презентацій.

Донесені до аудиторії на лекціях теми відразу ж мають бути розглянуті на практичних заняттях, на яких здобувачі за допомогою викладача і користуючись методичними вказівками, вирішують типові теоретичні задачі. З числа аналогічних задач (загальна їх кількість – 32 шт) на кожному практичному занятті здобувачі отримують домашнє завдання, рекомендований термін виконання якого – 2 тижні, але приймається воно до завершення семестру.

Із загального переліку лабораторних робіт протягом семестру виконується 6 найменувань, що пов'язано із необхідністю залучення більшого часу (до 4 год) для виконання деяких робіт. Всі роботи проводяться в ливарній лабораторії із плавленням і заливанням проб рідкими алюмінієво-кремнієвими сплавами АК7 або АК12 (ДСТУ2839-94), а також сплавами системи Pb-Sn.

Модульна контрольна робота в робочому плані одна, але вона поділена на дві частини. Запитання до першої частини охоплюють розділи 1...3, до другої частини – 4...5 освітнього компонента. Перша контрольна проводиться на атестаційному тижні, друга – на останньому практичному занятті в семестрі.

Для систематизації роботи здобувачів над матеріалом передбачено самостійну роботу у вигляді більш детального розгляду окремих питань лекційної та практичної підготовки. Самостійна робота не є обов'язковою, але може принести додаткові (творчі) бали максимально у кількості 10.

Штрафних балів за пропуски занять не передбачено.

Для здобувачів, які написали обидві частини модульної контрольної роботи, виконали та захистили всі лабораторні роботи, а також виконали та захистили обов'язкові завдання (вірно вирішили 9 задач), застосовується рейтингова оцінка знань.

Політика щодо академічної доброчесності згідно:

- Кодексу честі КПІ ім. Ігоря Сікорського (<https://kpi.ua/files/honorcode.pdf>)
- Положення про систему запобігання академічному плагіату (https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/downloads/Pologen_pro_plagiat.pdf)

Інші вимоги: Правила внутрішнього розпорядку в студентських гуртожитках КПІ ім. Ігоря Сікорського (<https://kpi.ua/admin-rule-hostel>) та нормативні документи Університету (<https://kpi.ua/web-document>): виконання вимог техніки безпеки під час виконання лабораторних робіт; дотримання правил внутрішнього розпорядку.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Для побудови PCO визначено систему контрольних заходів. Для розрахунку рейтингу 2-годинна МКР поділена на дві одногодинні контрольні роботи. Крім неї, виконуються 6 лабораторних робіт та 9 домашніх завдань по практичним роботам (задачі). Максимальні бали з кожного контрольного заходу враховують трудомісткість та обсяг певної навчально-пізнавальної діяльності здобувачів вищої освіти.

Загальний рейтинг здобувача з кредитного модуля $R_{\text{ТОЛВ}}$ складається із двох частин – стартового, або семестрового, рейтингу R_C та екзаменаційного R_E , тобто:

$$R_{\text{ТОЛВ}} = R_C + R_E$$

Семестровий рейтинг R_C формується як сума балів, нарахованих за роботу в семестрі під час написання модульної контрольної роботи, захисті 6 лабораторних робіт та за виконання 9 практичних розрахункових робіт (ПР).

Для стимулювання та заохочення студентів передбачено можливість покращення рейтингу за рахунок самостійної творчої роботи, яка включає написання рефератів, складання програм для розрахунків на ПЕОМ, участь у конкурсах, доповіді на конференціях, написання статей, виготовлення технічних засобів навчання.

Таким чином, семестровий рейтинг з кредитного модуля R_C розраховується за формулою:

$$R_C = \sum_{i=1}^2 KP_i + 0,5 \sum_{i=1}^6 LP_i + 0,33 \sum_{i=1}^9 PP_i + TP,$$

де KP_i – бали за розділи контрольної роботи;

LP_i – оцінки при захисті лабораторних робіт, ваговий коефіцієнт 0,5;

PP_i – оцінки за домашні практичні завдання розрахункового характеру, ваговий коефіцієнт 0,33;

TP – бали, нараховані за виконання творчих завдань (максимум 10 балів).

Контрольні роботи. Модульна контрольна робота (за навчальним планом) розділена на дві частини. Проводяться вони на практичних заняттях. Тривалість по 1 академічній годині. Перша проводиться по завершенні викладення розділу 3, друга – по завершенні викладення всього теоретичного матеріалу. Кожна із контрольних робіт включає по 3 завдання розрахункового характеру і проводиться виключно в очному форматі. Максимальна оцінка за кожну частину МКР становить 15 балів.

Лабораторні роботи. Оцінюються в 2 етапи – перед виконанням (2 бали) та під час захисту ЛР (3 бали), тобто максимальна оцінка за кожну ЛР складає 5 балів.

Протоколи до ЛР складаються за методичними вказівками в рукописному варіанті. Обов'язковими є внесення до протоколу теми, мети роботи, короткого опису устаткування, порядку виконання роботи. Також мають бути заготовлені таблиці для заповнення експериментальних даних, розрахункові формули або градувальні графіки, номограми. Схеми установок мають бути представлені в протоколі. Загальні теоретичні відомості, наведені в методичних вказівках, вносити до протоколів не обов'язково.

Критерії оцінювання перед виконанням ЛР:

- протокол до ЛР відповідає вимогам і здобувач знає хід роботи – 2 бали;
- протокол не містить усієї необхідної інформації, а здобувач знає хід виконання роботи.

Або протокол відповідає вимогам, а здобувач не володіє методикою виконання роботи – 1 бал;

- протокол оформлено незадовільно, а здобувач не володіє методикою виконання роботи – 0 балів.

В разі, якщо протокол відсутній, здобувач до виконання ЛР не допускається. Наявність протоколу в електронному вигляді означає те, що він відсутній.

При захисті ЛР здобувач має представити заповнений протокол, в якому на підставі отриманих експериментальних дослідницьких даних послідовно і вірно виконані розрахунки, до них наведені усі пояснення, побудовано графічні залежності, діаграми, гістограми, зображено структури. Зміст звіту по кожній ЛР викладено у методичних вказівках. У висновках необхідно на підставі теоретичних положень пояснити отримані дані.

Критерії оцінювання захисту ЛР:

- здобувач обробив результати, побудував графіки, зробив висновки та відповів на запитання викладача – 3 бали;

– здобувач припустився незначних помилок під час оброблення результатів, побудови графіків, формулюванні висновків, але відповів на запитання викладача. Або за бездоганно оформленого протоколу відповів не на усі запитання викладача – 2 бали;

- здобувач припустився значних помилок в оформленні протоколу, висновки неповні. Відповідає виключно на найпростіші запитання викладача – 1 бал.

Практичні завдання. Здобувачі вищої освіти самостійно в рамках СРС вирішують 9 задач розрахункового характеру. Максимальна оцінка кожного завдання 5 балів. Кожне нове завдання здобувачі отримують по завершенні практичних занять з відповідної теми.

Критерії оцінювання:

- бездоганне вирішення з поясненнями (при вчасній здачі виконаної роботи) – 5 бали;
- незначні похибки, відсутність окремих пояснень та позначень – 4 бали.

Здобувач має можливість виправити задачу, вирішену з помилками. В разі отримання вірного результату з другої або третьої спроби він отримує оцінку, на один бал меншу від початкової (тобто при вчасному виконанні задачі 4 бали, при невчасному – 3 бали).

Творча робота. Залежно від обсягу та складності одного творчого завдання нараховується від 1 до 5 балів. Загальна кількість балів за ТР складає $0,1 R_{\text{ТОЛВ}}$ тобто 10 балів. Творча робота не є обов'язковою складовою рейтингу.

Розрахунок семестрового рейтингу. Семестровий рейтинг здобувача вищої освіти, який зразково виконав обов'язкові види контролю (КР, ЛР та ПР), максимально складає:

$$R_C = 2 \cdot 15 + 0,5 \cdot 6 \cdot 5 + 0,33 \cdot 9 \cdot 5 = 60 \text{ балів.}$$

Умови проміжної атестації. За результатами навчальної роботи протягом перших 7 тижнів «ідеальний здобувач» може набрати максимум 14 балів. На першій атестації (8-й тиждень) здобувач отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 9 балів.

За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний здобувач» може набрати максимум 38 балів. На другій атестації (14-й тиждень) здобувач отримує «зараховано», якщо його

поточний рейтинг не менше 22 балів. Отже, достатньою умовою отримання атестації є набір 60 % від максимального рейтингу на цей момент.

Екзаменаційний рейтинг. Екзаменаційний білет включає 2 частини: 30 тестових запитань теоретичного характеру та 1 запитання розрахункового характеру.

Максимальна оцінка за кожне тестове запитання – 1 бал.

Максимальна оцінка за запитання розрахункового характеру (задачу) – 10 балів.

Критерії оцінювання:

- бездоганне вирішення з поясненнями та позначеннями на рисунках – 9...10 балів;
- незначні похибки, відсутність окремих пояснень та позначень на рисунках – 7...8 балів;
- правильний хід розрахунку, але отримано неточні результати, пояснення відсутні, немає позначень – 6 балів;
- частково правильний, але неповний хід вирішення – 5 балів;
- відповідь відсутня або цілком помилкова, хід вирішення невірний – 0 балів.

Таким чином, максимальний екзаменаційний рейтинг складає:

$$R_E = 30 + 10 = 40 \text{ балів.}$$

Максимальний рейтинг з освітнього компонента буде:

$$R_{\text{ТОЛВ}} = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

Залежно від фактично набраного рейтингу, оцінка здобувача вищої освіти з освітнього компонента «Теоретичні основи ливарного виробництва» встановлюється відповідно до такої таблиці.

Фактичний рейтинг $R_{\text{ТОЛВ}}$	Оцінка (словами)
95...100	відмінно
85...94	дуже добре
75...84	добре
66...74	задовільно
60...65	достатньо
< 60	незадовільно
Невиконання умов допуску	не допущено

Примітки:

1. Необхідними умовами допуску до екзамену та розрахунку рейтингу є виконання та захист усіх лабораторних робіт, практичних робіт (задач), написання обох частин МКР.
2. Допускається переписування одного із двох розділів МКР (за бажанням студента) для отримання більш високого бала. Переписування відбувається на консультації перед екзаменом.
3. Якщо семестровий рейтинг $R_c \leq 24$, здобувач не допускається до екзамену і отримує додаткове завдання для покращення семестрового рейтингу до мінімально необхідного.

9. Додаткова інформація з освітнього компонента

Перелік питань, які виносяться на підсумковий контроль:

1. Температура плавлення, густина та питомий об'єм металів. Зміна густини та питомого об'єму при нагріванні та плавленні.
2. Дендритна ліквіація. Коефіцієнт розподілу домішка. Варіанти розподілу домішка по перерізу зерна. Методи усунення ліквіації.
3. Питомий об'єм та густина сплавів. Атомна маса та атомний об'єм сплавів. Склад сплавів у відсотках атомних.
4. Неметалеві вкраплення у ливарних сплавах. Класифікація. Методи попередження утворення неметалевих вкраплень.
5. Вирішення найпростішої задачі про тривалість твердіння виливка.
6. Випаровування металів та сплавів під час плавлення при атмосферному тиску. Тиск насиченої пари металів і сплавів. Швидкість випаровування. Маса в паровій фазі.
7. Етапи твердіння і охолодження виливків у піщаній формі за методом професора Г.Ф. Баландіна. Розрахунок тривалості твердіння виливків.
8. Особливості розрахунку тривалості твердіння виливків у металевій формі за методом професора А.Й. Вейника. Формула для визначення тривалості твердіння.
9. Теплові властивості металів і сплавів. Температуропровідність та теплоакумулювальна здатність, їх розрахунок.
10. Випаровування металів і сплавів під час плавлення у вакуумі. Маса металу, який випарувався. Швидкість випаровування компонентів сплаву.
11. Газові дефекти у виливках. Вплив газів на властивості металу. Методи попередження газонасичення металів при плавленні.
12. Дегазація розплавів вакуумуванням та продуванням інертними газами. Сутність і різновиди процесів. Тривалість оброблення та ефективність очищення від водню, кисню та азоту.
13. Дегазація розплавів методами оброблення хлористими та фтористими солями, виморожуванням, нагріванням до температури кипіння, підвищенням тиску під час кристалізації. Сутність процесів, область застосування.
14. Методи регулювання процесів охолодження виливків у формі. Зовнішні холодильники. Встановлення розмірів зовнішніх холодильників.
15. Методи регулювання процесів охолодження виливків у формі. Внутрішні холодильники. Встановлення розмірів внутрішніх холодильників.
16. Внутрішні напруження у виливках та їх види. Причини утворення механічних напружень та їх розрахунок.
17. Контроль вмісту газів у металах і сплавах. Якісні та кількісні методи контролю.
18. Джерела появи газів у металах. Типи та етапи взаємодії газів з рідкими металами. Вплив газів на якість виливків.
19. Вплив конфігурації виливка на тривалість його твердіння. Зведена товщина стінки виливків різної конфігурації та її розрахунок.
20. Вплив тиску та температури на розчинність газів у металах. Розчинність газів у металах при наближенні до температури кипіння.
21. Сили та напруження, які призводять до утворення гарячих тріщин у виливках. Методи попередження утворення гарячих тріщин.
22. Дегазація розплавів продуванням інертними газами. Розрахунок мінімально необхідного тиску при подачі інертного газу.
23. Взаємодія рідких металів та сплавів з воднем, киснем та азотом.

24. Зовнішні холодильники. Призначення, типи, розрахунок об'єму та лінійних розмірів. Схеми встановлення.

25. Розрахунок тривалості твердіння виливків за законом "квадратного кореня". Вплив конфігурації, перегрівання, інтервалу кристалізації та зазору між металом і формою на тривалість твердіння.

26. Теплові методи регулювання роботи надливів. Склад екзотермічних сумішей.

27. Види усадки металів та сплавів. Коефіцієнти усадки у рідкому, твердому станах та при твердінні. Ливарна усадка.

28. Витікання металу із стопорного ковша. Конструкція ковша, швидкість струменя на виході та на відстані від отвору. Об'ємна та масова витрата металу. Тривалість витікання.

29. Витікання металу із носикового ковша. Розрахунок положення носика ковша по висоті і по горизонталі відносно ливникової воронки. Потужність, сила удару і динамічний тиск струменя металу на форму.

30. Режими руху металу в каналах ливарної форми. Швидкість металу. Визначення коефіцієнту втрат швидкості.

31. Рідкотекучість металів та її види. Вплив технологічних факторів на рідкотекучість.

32. Усадкові раковини та усадкова пористість. Причини та кінетика утворення. Об'єм усадкових дефектів та його визначення. Методи попередження утворення раковин і пористості.

32. Гомогенне утворення зародків кристалізації. Радіус критичного зародка та енергія його утворення.

34. Механічні методи регулювання роботи надливів. Склад газотвірних патронів у надливах надатмосферного тиску.

35. Гетерогенне утворення зародків кристалізації. Критичний радіус та енергія його утворення.

36. Розрахунок розмірів надливів за методом І.Пржібила. Визначення лінійних розмірів надливів для виливків різної конфігурації. Радіуси дії надливів.

37. Жолоблення виливків. Розрахунок радіуса кривизни та величини прогину виливка.

38. Об'ємна та послідовна кристалізація. Утворення аморфних металів та їх властивості. Критерій характеру кристалізації.

39. Внутрішні напруження у виливках та їх види. Причини утворення термічних напружень та їх розрахунок.

40. Особливості кристалізації сплавів. Будова області твердіння.

41. Кристалічна будова виливків. Структурні зони. Транскристалізація. Вплив швидкості охолодження на процес структуроутворення.

42. Модифікування сплавів. Правила вибору модифікаторів I і II роду. Приклади модифікування.

43. Гарячі та холодні тріщини у виливках. Причини утворення та методи запобігання.

44. Дифузія у рідких металах. В'язкість розплавів. Електричний опір металів та його залежність від температури.

45. Теплові, фізико-хімічні, механічні та електромагнітні методи регулювання кристалізаційних процесів.

46. Зональна ліквіація. Різновиди, причини та кінетика утворення. Методи запобігання утворенню.

47. Фільтрування розплавів сітчастими фільтрами. Схеми фільтрування. Розрахунок металостатичного тиску під час фільтрування.

48. Фільтрування розплавів зернистими та пінокерамічними фільтрами. Механізм затримання неметалевих краплень у фільтрах. Схеми фільтрування. Процес виготовлення пінокерамічного фільтра. Ефективність процесів фільтрування.

49. Фільтрування металів за допомогою зернистих фільтрів. Вимоги до матеріалу зерен, схеми фільтрування, питома швидкість фільтрування.

50. Взаємодія рідких металів та сплавів з воднем. Рівняння розчинності водню в металах. Розчинність водню в сплавах.

Робочу програму освітнього компонента (силабус):

Складено професор кафедри ЛВ, д.т.н., Ростислав ЛЮТИЙ
посада, науковий ступінь, вчене звання, ПІБ

Ухвалено кафедрою ЛВ (протокол № 9 від 24 червня 2026 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є.О.Патона
(протокол №8/26 від 25 червня 2026 р.)