



ТЕХНОЛОГІЯ НАГРІВУ ТА НАГРІВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалавр)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131- Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Технології виробництва літальних апаратів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік</i>
Розклад занять	<i>2 лекції по першій неділі та 1 лекція по другій неділі</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н., доцент, Горностай Вадим Миколайович, gornwad@ukr.net¹, @vadym_hornostay</i> Практичні / Семінарські: <i>к.т.н., доцент, Горностай Вадим Миколайович, gornwad@ukr.net, @vadym_hornostay</i> Лабораторні: <i>к.т.н., доцент, Горностай Вадим Миколайович, gornwad@ukr.net, @vadym_hornostay</i>
Розміщення курсу	https://ecampus.kpi.ua

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Кредитний модуль «Технологія нагріву та нагрівальне обладнання» належить до варіативної частини програми, до дисциплін за вибором ВНЗ і має код ЗП-08. Знання, отримані при вивченні дисципліни, необхідні майбутньому інженеру для розробки технологічного процесу гарячого штампування, суттєвою складовою якої є технологія нагріву заготовки.

Метою викладання кредитного модуля є вивчення питань нагріву металу перед обробкою тиском, теоретичних основ роботи печей, конструкцій печей, методів електронагріву. В результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

- вміти визначити необхідність застосування нагріву при обробці металів тиском;
- знати явища, які відбуваються в металі при нагріві, вміти застосовувати засоби для мінімізації впливу негативних явищ;
- знати особливості нагріву металу перед обробкою тиском; теоретичні основи роботи печей, їх конструкції; види палива та особливості їх спалювання; методи електронагріву;
- вміти вибрати паливо для печей, розрахувати процес горіння; виконати теоретичний розрахунок печей; підібрати конструкцію печі, призначити режими нагріву металу; визначити час нагріву заготовки, розрахувати втрати тепла при транспортуванні заготовки до ковальсько-штампувального обладнання; вибрати та розрахувати електронагрівальні пристрої; розрахувати к.к.д. та економічні показники роботи нагрівального пристрою.

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

Для успішного засвоєння дисципліни аспіранту потрібні достатньо глибокі знання по дисциплінах “Фізика”, “Хімія”, “Математика”, “Матеріалознавство”, “Фізико-механічні основи пластичної деформації”, “Теоретичні основи теплотехніки”.

Кредитний модуль “Технологія нагріву та нагрівальне обладнання” (ТН та НО) викладається в 6-ому семестрі для студентів, які навчаються на базі повної загальної середньої освіти, і в 4-ому семестрі для студентів, які навчаються на базі освітньо-кваліфікаційного рівня «молодший спеціаліст», за однаковими робочими навчальними програмами.

Після вивчення кредитного модуля «Технологія нагріву та нагрівальне обладнання» вивчається кредитний модуль “Технологія гарячого штампування та конструювання штампів”, "Теоретичний аналіз процесів обробки металів тиском", «Чисельні методи аналізу процесів обробки металів тиском»,

«Ковальсько-штампувальне обладнання» в яких мають бути використані знання, отримані при вивченні кредитного модуля ТН та НО.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Нагрів та охолодження металу

Тема 1.1. Місце нагріву у загальному ланцюгу технології виготовлення деталей.

Нагрів металу, як важлива складова частина технологічного процесу кування та об'ємного штампування. Вплив нагріву на якість та собівартість поковок. Основні типи нагрівальних пристроїв. Історія розвитку досліджень у галузі нагріву металу.

Нагрівальні пристрої та охорона навколишнього середовища. Задачі та шляхи удосконалення технології нагріву та нагрівальних пристроїв.

Література [1], стор. 5-10.

Тема 1.2. Явища, які відбуваються в металі при нагріві .

Повернення та рекристалізація. Види деформації при обробці металів тиском з точки зору температурного режиму. Вплив температури на опір деформуванню та пластичність. Теплове розширення. Температурні напруження. Структурні зміни. Фазові перетворення.

Література [6], стор. 51-62.

Тема 1.3. Основні параметри, які характеризують процес нагріву металу.

Фізичні параметри металу, які пов'язані з процесом нагріву. Теплопровідність, тепловміст, теплоємність, температуропровідність. Коефіцієнт лінійного та об'ємного розширення металу.

Температура нагріву. Температура початку та кінця кування. Визначення температурного інтервалу кування та об'ємного штампування. Швидкість нагріву металу. Гранична швидкість нагріву. Гранично допустима різниця температур по перетину заготовки.

Поняття про теплотехнічно тонкі та теплотехнічно масивні тіла. Поняття про коефіцієнт теплообміну на поверхні тіла. Критерій Біо.

Література [1], стор. 206-233, [7], стор. 141-146

Тема 1.4. Режими нагріву та охолодження заготівок.

Початкова температура заготівки. Номінальна температура нагрівального пристрою. Номінальна температура нагріву заготівки. Температура посадки заготівки. Швидкісний етап нагріву заготівки, етап вистою, етап витримки. Одноступеневі, двоступеневий та триступеневий режими нагріву заготівок.

Охолодження заготівок, фактори, які впливають на зміну температури заготівки в період транспортування до пресового обладнання, в період обробки тиском, в період охолодження поковки. Режими охолодження поковок.

Література [1], стор. 217-243, [7], стор. 143-164, [3], стор.12-44

Тема 1.5. Окислення металу.

Природа окислення (угару) металу. Структура окисного шару. Негативні явища, до яких призводить окислення металу. Кількісне визначення величини угару. Фактори, які впливають на угар металу. Методи боротьби з угаром.

Втрати вуглецю поверхневим шаром заготівки. Фактори, які впливають на протікання цього явища. Наслідки втрати вуглецю з поверхні заготівки . Методи боротьби з цим явищем.

Література [1], стор. 244-258.

Розділ 2. Пламеневий нагрів металу та нагрівальні пристрої.

Тема 2.1. Паливо та його спалення.

Поняття про паливо, вимоги до палива. Хімічний склад палива. Основні складові палива та їх характеристика. Повний та елементарний аналіз палива. Органічна, горюча, суха та робоча маса палива. Теплотворність палива. Експериментальний та розрахунковий методи визначення теплотворності палива. Умовне паливо.

Процес горіння палива. Поняття про теплову та ланцюгову теорію горіння. Горіння у шарі. Факельне горіння. Поняття про коефіцієнт надлишку повітря. Хімічна неповнота горіння палива. Механічна неповнота горіння палива.

Розрахунки процесу горіння палива. Розрахунок необхідної кількості повітря, складу та кількості продуктів згорання. Температура горіння палива: калориметрична, теоретична, балансова, дійсна.

Література [1], стор. 11-66.

Тема 2.2. Рух газів в печах.

Види та режими руху рідини та газу. Диференційне рівняння безперервності (суцільності) потоку. Вираз закону безперервності у скінченній формі. Рівняння руху ідеальної рідини. Рівняння Бернуллі. Розрахунок руху газів у пічному просторі. Засоби вилучення продуктів горіння палива. Розрахунок опору при русі газів у пічному просторі. Гідростатичний опір на вертикальних ділянках шляху. Втрати на тертя на прямолінійних ділянках шляху. Місцеві види опору. Виток газів з отвору.

Література [1], стор. 5-10.

Тема 2.3. Теплопередача в печах.

Види теплопередачі та їх характеристика. Теплопередача випромінюванням. Променевий тепловий потік. Поглинаюча, відбиваюча та прозора здібності тіла. Закон Кірхгоффа. Закон Планка. Закон Віна. Закон Стефана-Больцмана. Закон Ламберта. Променевий теплообмін між двома сірими непрозорими тілами безпосередньо та через екрани. Втрати тепла при випромінненні через отвір печі.

Конвективний теплообмін. Коефіцієнт теплопередачі конвекцією, його визначення.

Передача тепла теплопровідністю. Диференційне рівняння теплопровідності Фур'є. Передача тепла при стаціонарному та нестаціонарному тепловому полі. Передача тепла через стінку.

Сумарна теплопередача між тілами у просторі. Теплопередача в робочому просторі печі. Коефіцієнт теплообміну на поверхні заготівки та його визначення. Приведений коефіцієнт лучевиток. Сумарний коефіцієнт лучевиток для високотемпературних печей.

Рішення диференційного рівняння теплопровідності. Безрозмірна відносна температура. Номограми залежності безрозмірної відносної температури від критеріїв Фур'є та Біо. Вплив торців на теплообмін заготівки. Скорегований критерій Фур'є.

Графіки критеріальної залежності для процесів нагріву заготовок в печі та їх охолодження на повітрі при транспортуванні до ковальського обладнання. Методика розрахунку нагріву ковальських заготовок по експериментальній кривій нагріву поверхні заготівки. Методика розрахунку часу та вирішення задач по нагріву ковальських заготовок. Методика вирішення задач по охолодженню ковальських заготовок при транспортуванні їх до обладнання.

Література [1], стор.132-205, [3], стор. 30-54

Тема 2.4. Конструкції та проектування пламневих печей.

Вогнестійкі та теплоізоляційні матеріали, характеристика, властивості, класифікація, випадки застосування.

Елементи конструкції печей. Фундамент. Каркас. Свод. Подина. Отвори в печах. Канали та димоходи. Класифікація пламневих печей. Вимоги до печей. Камерні печі. Типи і конструкції. Методичні, напівметодичні печі. Механізовані печі. Особливості виконання термічних печей.

Література [1], стор. 5-10.

Розділ 3. Електронагрів металу та нагрівальні пристрої.

Тема 3.1. Загальні відомості з електронагріву металу.

Закон Джоуля-Ленца. Класифікація методів електронагріву. Електропечі опору. Дугові електропечі. Загальна характеристика прямого, побічного, індукційного електронагріву.

Література [1], стор. 5-10.

Тема 3.2. Електропечі прямого (контактного) нагріву.

Фізичні явища, які лежать в основі прямого електронагріву. Переваги та недоліки процесу. Вимоги до заготівки, яка нагрівається. Основні види конструкцій установок. Розрахунок установок контактного нагріву.

Література [1], стор. 5-10.

Тема 3.3. Електропечі побічного нагріву.

Переваги та недоліки процесу. Основні види конструкцій установок. Розрахунок печей побічного електронагріву. Нагрів в печах ванного типу. Розрахунок печей ванного типу.

Література [1], стор. 5-10.

Тема 3.4. Індукційний електронагрів.

Переваги та недоліки процесу. Закони та явища, які використовуються для побудови технологічного процесу індукційного електронагріву. Закон електромагнітної індукції. Поверхневий ефект. Ефект близькості. Зміна властивостей сталі при підвищенні температури. Кільцевий ефект.

Класифікація системи „індуктор-загрузка”. Розрахунок індукційних нагрівачів. Основні системи „індуктор-загрузка”.

Література [1], стор. 5-10.

Практичні заняття.

Практичні заняття направлені на закріплення теоретичних знань отриманих студентами при вивченні курсу та отримання практичних навичок.

1. Визначення угару при нагріві сталевих заготівок.

Визначення втрати металу при нагріві від окислення та вплив на цей процес температури печі та часу нагріву.

2. Визначення втрат тепла при транспортуванні заготівки до ковальського обладнання.

Експериментально та теоретично визначити температуру поверхні та центру заготівки (у перетині) в момент початку пластичної деформації.

3. Визначення коефіцієнту корисної дії печі.

Визначити термічний та ефективний коефіцієнти корисної дії лабораторної електричної печі.

4. Експлуатація і характеристика ковальського індукційного нагрівача (КІН).

Ознайомитися з принципом дії та конструкцією КІН. Визначити час нагріву та питому потужність для нагріву сталевий заготовки.

5. Визначення розподілу температур по перетину заготовки та коефіцієнт теплопередачі на поверхні заготовки при нагріві.

Визначення зміни температури поверхні та центру заготовки у часі в процесі нагріву. Розрахунок коефіцієнту теплопередачі на поверхні заготовки.

КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ.

Для поточного контролю якості засвоєння матеріалу рекомендується проведення двох модульних контрольних робіт.

Контр.р. 1. Метою проведення є перевірка розуміння явищ, які відбуваються в металі при нагріві, фізичних параметрів металу, які пов'язані з процесом нагріву; вміння призначити режим нагріву заготовки та скласти повний термічний цикл кування заготовки; вміння розрахунку руху теплоносія в пічній установці.

Контр.р. 2. Метою проведення є перевірка знань з основ теорії теплопередачі, вміння розраховувати теплові параметри роботи печі, кількість тепла, отриманого заготовкою при нагріві та втрати тепла при транспортуванні заготовки до ковальського обладнання; вміння розрахувати час нагріву заготовки в пламених та електропечах.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна література:

1. Скворцов А.А., Акименко А.Д., Кузелев Н.Д. Нагревательные устройства. –М.: Высшая школа, 1965.- 443с.
2. Касенков М. А. Нагревательные устройства кузнечного производства.- М.: ГНТИ, 1962.- 472с.
3. Золотухин Н. М. Нагрев и охлаждение металла. -М. :Машиностроение, 1973.-192с

Додаткова:

4. Казанцев Е. И. Промышленные печи. –М. :Металлургия, 1975.-367с.
- 5.Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением.- М.: Машиностроения, 1977.-423с.
6. Соколов Л. Н. и др. Теория и технологияковки. –К. :Высшая школа , 1989.-317с.
7. Бабат Г.И. Индукционный нагрев металла и его промышленное применение. – М., Л. : Энергия, 1965. – 552 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Розподіл навчального часу за темами

Назви розділів, тем	Розподіл часу за видами занять						
	Всього	Лекції	Практичні практичні	Семінарські заняття	Лабораторні роботи	Консультації	СРС
Розділ 1 Нагрів та охолодження металу							
Тема 1.1. Місце нагріву в загальному ланцюгу виготовлення деталей.	3	2					1
Тема 1.2. Явища, які відбуваються в металі при нагріві.	25	5	6				14
<i>Модульна контрольна робота.</i>	5	1					4
Розділ 2 Пламений нагрів металу та нагрівальні пристрої							
Тема 2.1. Паливо та його спалювання.	15	1					14
Тема 2.2. Рух газів в печах.	15	1					14
РР з розділу 2	1	1					
Розділ 3 Основи теорії теплопередачі							
Тема 3.1. Види теплообміну між тілами.	5	1					4
Тема 3.1. Теплообмін в робочому просторі печі.	1	1					
<i>Модульна контрольна робота.</i>	5	1					4
Розділ 4 Електронагрів металу							
Тема 4.1. Способи електронагріву металу. Особливості електронагріву під обробку металів тиском.	2	2					
Тема 4.2. Електронагрів металу під обробку металів тиском	20	5	12		–		3
Підготовка до екзамену (Залік ²)	4						4

² У разі семестрового контролю у вигляді заліку.

Всього	120	40	18				62
--------	-----	----	----	--	--	--	----

6. Самостійна робота студента

Для закріплення знань і вмінь, отриманих при вивченні курсу ТН та НО, виконується розрахунково-графічна робота на теми:

- розрахунок часу нагріву заготовки та складання ескізу робочого простору печей пламеневого нагріву: камерних, методичних, механізованих;
- розрахунок часу нагріву заготовки та складання схеми установки контактного електронагріву;
- розрахунок часу нагріву та визначення розмірів і кількості резисторів. Ескіз робочого простору електроріччї побічної дії;
- розрахунок часу нагріву та проектування індуктора при застосуванні індукційного нагріву заготовки.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування занять студентами є обов'язковим компонентом оцінювання, за яке нараховуються бали. За об'єктивних причин (наприклад, хвороба, міжнародне стажування) навчання може відбуватись в on-line формі за погодженням із керівником курсу. Відвідування лекційних занять без пропусків (крім поважних причин) додатково оцінюється 10 балів, якщо кількість пропусків не перевищує 15% (8 лекцій) нараховується 8 балів, при кількості пропусків більше 15% - 0 балів. За активність студентів на лекціях ще нараховуються: активність на 18 лекціях -5 балів, на 36 лекціях – 8 балів, на 54 лекціях -10 балів. За кожен підготовку коротких доповідей згідно з темами кредитного модуля та виступом на лекції нараховується 5 балів. При цьому текст доповіді перевіряється на наявність плагіату із коректними запозиченнями до 20 %. На завершальному етапі навчання студенти повинні виконати контрольну роботу, в якій потрібно надати відповіді по темам лекційного курсу. Ця робота оцінюється в 10 балів.

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

Рейтингова система оцінювання результатів навчання студентів з кредитного модуля «Технологія нагріву та нагрівальне обладнання»

Розроблення рейтингової системи оцінювання (PCO) з кредитного модуля (КМ) «Технологія нагріву та нагрівальне обладнання» є складовою частиною робочої навчальної програми. Семестровий контроль заплановано у вигляді заліку, то 100-бальна шкала оцінювання поділяється на дві складові. Перша

складова складає 52 бали, так звана стартова кількість балів, за якою забезпечується оцінювання навчально-пізнавальної діяльності студента протягом семестру згідно пункту 7. Якщо студент набрав більше 65 балів, то він може отримати позитивну оцінку без здачі заліку.

Друга складова 48 балів (залікова шкала) призначена для оцінювання результатів навчання на заліку.

На заліку студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних запитання і одне практичне. Перелік запитань відповідає назвам тем лекцій. Кожне запитання (завдання) оцінюється у 16 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 16-15 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 14-12 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 11-10 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

Сума стартових балів та балів за атестаційну контрольну роботу переводиться до оцінки згідно з таблицею:

Бали	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Є не зараховані лабораторні роботи або не зарахована розрахункова робота	Не допущено

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом, к.т.н. Горностай Вадимом.

Ухвалено кафедрою ТВЛА (протокол № 5 від 09.11.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією ММІ (протокол № 5 від 17.12.2021 р.)