



КОРОЗІЯ І ЗАХИСТ МЕТАЛІВ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізитивна навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнологія та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>3,5 кредити/105 годин: лекцій – 36 год; лабораторних занять – 18 год; СРС - 51 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/МКР</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., старший дослідник, доцент Солодкий Є.В., evgen.solodky@gmail.com Лабораторні роботи : к. х. н., ст.викладач, Шемет В. Ж., volodymyrshemet@gmail.com, 096 293 8746</i>
Розміщення курсу	<i>https://classroom.google.com</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Наука про корозію і захист від неї вивчає закономірності і механізм корозійних процесів, розробляє методи захисту, охоплюючи також і питання матеріалознавства, що мають відношення до проблем корозійної стійкості. Захист від корозії є найважливішою проблемою в системі заходів, спрямованих на зниження матеріалоємності конструкцій, витрати дефіцитних матеріалів і сплавів і заощадження матеріальних і природних ресурсів. У зв'язку з цим вивчення дисципліни «Корозія і захист металів» займає важливе місце у підготовці інженерів за фахом матеріалознавство, а також необхідно для вивчення спеціальних дисциплін, що охоплюють практичні завдання створення надійних машин і апаратів і забезпечення їх тривалої експлуатації.

Даний курс розширює знання студентів про нові сплави і матеріали, що з'явилися за останній час, механізми їх зміцнення, класифікацію композитів і технології їх одержання. З погляду на це дана дисципліна має суттєве значення для формування майбутнього спеціаліста за фахом матеріалознавство та збільшує технологічні можливості інженера-дослідника.

Корозія і захист металів

Вивчення дисципліни базується на знанні студентами курсів «Фізична хімія», «Металознавство», «Кристалохімія тугоплавких сполук». Теоретичний матеріал викладається на лекційних заняттях, а практичні знання здобуваються під час виконання лабораторних робіт. Набуті знання вміняються в подальшому у вивченні дисциплін цього ж та інших циклів, в яких передбачається поглиблення знань про нові сплави і композиційні матеріали.

120 годин обсягу дисципліни «Корозія і захист металів» включають 36 годин лекційних занять, 18 годин лабораторних робіт, а також 66 годин самостійної роботи студентів.

Метою дисципліни є формування у студентів фахових компетентностей спеціальності таких як:

- K3.05. Здатність застосовувати системний підхід до вирішення інженерних матеріалознавчих проблем.
- K3.06. Здатність використовувати практичні інженерні навички для вирішення професійних завдань.

Предмет дисципліни «Корозія і захист металів» – вивчення термодинаміки і кінетики високотемпературної та електрохімічної корозії металевих матеріалів у середовищі агресивних газів і розчинів електролітів.

Програмні результати навчання:

- Обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні); правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки.

Окрім того:

- Розуміти механізми високотемпературної і електрохімічної корозії, дифузії в металах і сплавах, а також в оксидних шарах, що утворюються на поверхні. Визначити можливі види корозійного руйнування. Обрати оптимальний склад сплавів для конкретних умов експлуатації та засоби захисту їх від високотемпературної і електрохімічної корозії.
- Знаходити потрібну інформацію у літературі, консультуватися і використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань відповідно до спеціалізації.

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

Дисципліни, знання з яких необхідні для вивчення дисципліни «Корозія і захист металів»:

- Фізика
- Хімія
- Фізична хімія
- Кристалографія, кристалохімія та мінералогія.

Знання, що студент отримує під час вивчення дисципліни «Корозія і захист металів» необхідні у виконанні курсових та дипломних робіт (проектів) та як складова інтегральної компетентності підготовки за освітньо-професійною програмою.

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ. Організація очного/дистанційного навчання

Розділ 1. Високотемпературна корозія металів і сплавів

Розділ 2. Електрохімічна корозія металів і сплавів

Розділ 3. Методи захисту металів і сплавів

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базові:

1. Корозія та захист металів [Електронний ресурс] : презентація лекцій / уклад. В. Ж. Шемет. – Електронні текстові дані (11 файл: 32 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.
2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Корозія і захист металів»/ В. Ю. Сухенко, С. В. Жук, К. О. Сергеева. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2012. – 34 с.
3. Алімов В.І., Дурягіна З.А.. Корозія та захист металів від корозії / В. І. Алімов, З. А. Дурягіна. – Донецьк-Львів : ТОВ «Східний видавничий дім», 2012. – 328 с.
4. Сахненко М. Д. Основи теорії корозії та захисту металів : навч. посіб. / М. Д. Сахненко, М. В. Ведь, Т. П. Ярошок. – Харків : НТУ «ХПІ», 2005. – 240 с.

Додаткові:

5. Мровец С. Современные жаростойкие материалы : справочник / С. Мровец, Т. Вербер : пер. с польск. – Москва : Металлургия, 1986. – 360 с.
6. Биркс Н. Введение в высокотемпературное окисление металлов / Н. Биркс, Дж. Майер; пер. с англ. А. А. Штейнберга; под ред. Е. А. Ульянина. – Москва : Металлургия, 1987. – 182 с.
7. Кофстад П. Высокотемпературное окисление металлов / П. Кофстад. – Москва : Мир, 1969. – 392 с.

Монографії зазначені у списку додаткових навчальних матеріалів знаходяться у бібліотеці НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського і надаються для ознайомлення і глибшого розуміння природи високотемпературного окислення і електрохімічної корозії і захисту від неї.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

5.1. Лекційні заняття

Вступ. Організація очного/дистанційного навчання

Заняття 1. Вступ. Організація очного/дистанційного навчання. Проведення лекційних і лабораторних занять. Вимоги до протоколу лабораторних робіт. Рейтингова система оцінювання. Загальні відомості про корозію металів металів і сплавів. Предмет та задача курсу. Приклади застосування знань по корозії при розробці жаростійких сплавів для сучасного машинобудування.

Розділ 1. Високотемпературна корозія металів і сплавів

Заняття 2. Класифікація корозійних процесів. Термодинаміка хімічної корозії металів. Окислення металів при високих температурах. Діаграма **Еллінгема** (англ. Ellingham diagram). Діаграми стану. Випаровування оксидів.

Література [1], [2-4].

Корозія і захист металів

Заняття 3. Оксидні плівки на металах, їх класифікація та умови суцільності. Теорія Піллінга і Бедвордса. Механічні напруги в оксидних плівках. Кінетика високотемпературного окислення металів..

Література. [1], [2-4].

Заняття 4. Залежність швидкості газової корозії від температури. Методи та обладнання для дослідження високотемпературної корозії в газових сумішах.

Література. [1], [2-4].

Заняття 5. Механізм окислення чистих металів. Дефекти кристалічної ґратки. Дифузія в оксидах. Теорія Мота и Кабрера. Основні положення теорії Вагнера.

Література. [1], [2-4].

Заняття 6. Тематична контрольна робота 1 (зразок завдання у Додатку А).

Окислення сплавів. Теорії жаростійкості Архарова, Смирнова, Мровека та Вагнера-Хауффе. Сучасні жаростійкі сплави на основі нікелю, заліза та титану.

Заняття 7. Продовження. Окислення сплавів. Теорії жаростійкості Архарова, Смирнова, Мровека та Вагнера-Хауффе. Сучасні жаростійкі сплави на основі нікелю, заліза та титану.

Література. [1], [2-4].

Заняття 8. Високотемпературне окислення сплавів в присутності водяного пару і при низьких парціальних тисках кисню. Література. [1], [2-4].

Заняття 9. Роль R.E.-елементів у формуванні захисних окалини з Al_2O_3 , Cr_2O_3 на сплавах. Кінетика окислення Fe-Cr та Ni-Cr супер сплавів легованих R.E елементами. Література. [1], [2].

Заняття 10. Високотемпературне окислення композиційних матеріалів на основі сіліцидів. Сучасні жаростійкі металеві і керамічні матеріали в вузлах авіаційних і стаціонарних турбінах. Література. [1], [2].

Розділ 2. Електрохімічна корозія металів і сплавів

Заняття 11. Електрохімічна корозія металів.. Стандартний електродний потенціал. Формула Нернста. Термодинаміка електрохімічної корозії металів. Діаграми Пурбе.

Література. [1], [2-4]

Заняття 12. Поляризаційні корозійні діаграми для основних випадків контролю процесу електрохімічної корозії. Пасивність металів. Активатори та інгібітори корозії.

Література. [1], [2-4].

Заняття 13. Катодний та анодний процеси. Електрохімічна корозія заліза з покриттям з олова і цинку. Корозія металевих конструкцій під впливом блукаючого струму. Література. [1], [2]

Заняття 14. Тематична контрольна робота 2 (зразок завдання у Додатку А).

Основні способи захисту металевих конструкцій від електрохімічної корозії. Класифікація методів захисту від корозії. Катодні та анодні металеві покриття.

Заняття 15. Подовження. Основні способи захисту металевих конструкцій від електрохімічної корозії. Класифікація методів захисту від корозії. Катодні та анодні металеві покриття. Література. [1], [2-4].

Заняття 16. Хімічні захисні покриття (Оксидування. Фосфатування). Захист металів від корозії методом обробки агресивного середовища (інгібітори корозії Література: [1], [2].

Заняття 17. Неметалічні захисні покриття на металах. Основна характеристика покриттів в залежності від властивостей і призначення. Термобарерні покриття в ракето- та турбіно

Корозія і захист металів

будуванні. Сучасні методи нанесення захистних і термобар'єрних покриттів. Література: [1], [2].

Заняття 18. Продовження. Неметалічні захисні покриття на металах. Основна характеристика покриттів в залежності від властивостей і призначення. Термобар'єрні покриття в ракето- та турбіно будуванні. Сучасні методи нанесення захистних і термобар'єрних покриттів. Література: [1], [2-4].

5.2. Лабораторні заняття

Корозійну стійкість металів і сплавів треба обов'язково оцінювати в конкретних умовах експлуатації. Для цього кількісно оцінюють не тільки швидкість корозійного процесу, але також параметри оточуючого середовища (вологість, температуру, хімічний склад атмосфери і т.п.) Експерименти проводять в лабораторії, яка оснащена приборами та обладнанням для кількісної оцінки параметрів процесу корозії в газових атмосферах, а також в розчинах електродлітв. Ознайомлення майбутніх інженерів з найпоширенішими методами корозійних досліджень є метою проведення лабораторного практикуму з цієї дисципліни. Наведені лабораторні роботи дають уяви про основні механізми корозійних руйнувань, вплив зовнішніх чинників на характер і швидкість корозії, методи дослідження корозійних процесів.

Заняття 1. Лабораторна робота №1. Кінетика ізотермічного окислення металів у повітрі.

Заняття 2. Лабораторна робота №1. Кінетика ізотермічного окислення металів у повітрі.

Заняття 3. Лабораторна робота №2. Вплив температури на швидкість окислення металів у повітрі.

Заняття 4. Лабораторна робота № 3. Жаростійкість металів і сплавів на повітрі..

Заняття 5. Лабораторна робота № 4. Визначення швидкості електрохімічної корозії об'ємним методом.

Заняття 6. Лабораторна робота № 5. Визначення швидкості електрохімічної корозії масовим методом.

Заняття 7. Лабораторна робота № 6. Електролітичне нікелювання міді.

Заняття 8. Лабораторна робота №7. Анодне окисдування алюмінію.

Заняття 9. Лабораторна робота №8. Сповільнення корозії сталі в кислотах методом обробки агресивного середовища.

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студента (51 годин.) складається з:

- підготовки до лекцій – 7 год, з яких 2 год відводиться на самостійну підготовку теми: «Вивід рівняння, що показує перехід від внутрішнього до зовнішнього окислення. Фізичні параметри що впливають на цей перехід. Обмеження теорії Вагнера».
- підготовки до лабораторних робіт, яка полягає у написанні протоколу – 8 год;
- підготовки до 1 і 2 ТКР – 6 год;
- підготовки до зкзамену – 30 год.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять.

Корозія і захист металів

Відвідування лекційних занять є бажаним, хоча і не обов'язковим. Відвідування лекційних занять дозволить студентам не тільки опанувати знання безпосередньо на лекції, але і задати викладачу питання, що виникають під час викладання матеріалу лекції.

Відвідування лабораторних занять є обов'язковим.

Правила поведінки на заняттях.

На усіх заняттях, лекційних і лабораторних, вітається відключення звукових сигналів телефонів.

На лабораторних заняттях не забороняється користування конспектами лекцій, підручниками, електронними гаджетами для пошуку інформації, що відповідає темі практичного заняття.

Умовою допуску до виконання лабораторної роботи є наявність у студента написаного протоколу, який складається із:

- Номера лабораторної роботи;
- Назви лабораторної роботи;
- Мети лабораторної роботи;
- теоретичних відомостей, до яких включають основні визначення та умовні позначення;
- порядок виконання.

Перевірка правильності виконання завдань і підсумок роботи проводиться викладачем безпосередньо на занятті.

Студенти можуть опрацювати не виконані на лабораторному занятті підрахунки самостійно вдома і надати їх на перевірку викладачу на наступному занятті.

За умови проведення лабораторних занять у дистанційному режимі оформлені протоколи лабораторних робіт із виконаними завдання завантажуються студентами до GoogleClassRoom "Корозія і захист металів" для перевірки упродовж тижня після останнього заняття за відповідною темою.

Перескладання ТКР проводиться за взаємною домовленістю студентів і викладача.

Перескладання екзамену проводиться під час додаткової сесії за положенням НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" відповідно до графіку перескладань оприлюдненому на сайті ІМЗ ім. Є. О. Патона.

Усі учасники освітнього процесу: викладачі і здобувачі в процесі вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

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

8.1. Види контролю:

- **Поточний контроль:** лабораторні роботи, 2 ТКР.
- **Календарний контроль:** проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.
- **Семестровий контроль:** екзамен.

8.2. Критерії нарахування балів.

Модульна контрольна робота.

Корозія і захист металів

Модульна контрольна роботи розбита на 2 тематичні контрольні роботи (ТКР), кожна з яких складається із п'яти теоретичних завдань. Максимально оцінюється у 100 балів із ваговим коефіцієнтом 0,4.

Лабораторні роботи.

До кожної лабораторної роботи студент повинен підготувати протокол, який складається із:

- номера;
- назви;
- мети;
- теоретичних відомостей, до яких включають основні визначання та умовні позначення;
- порядок виконання.

За наявності протоколу кожна лабораторна робота оцінюється максимально 100 балів.

Штрафні бали призначаються за:

- відсутність протоколу – 10 балів;
- протокол, що не відповідає вимогам – 5 балів;
- несамостійна робота на лабораторному занятті – 5 балів.

Ваговий коефіцієнт оцінювання результатів виконання лабораторних робіт складає 0,5.

Самостійна робота студента.

Тема, що виноситься для самостійного опрацювання оцінюється у 100 балів з ваговим коефіцієнтом 0,1. Повнота розкриття теми впливає на кількість нарахованих балів.

Календарний контроль.

Календарний контроль проводиться на 7-8 та 14-15 тижнях семестру навчання. Для позитивного оцінювання 1-го календарного контролю студенту необхідно отримати мінімум 20 балів за лабораторні роботи №1, №2, №3 тобто $0,5 \cdot (120 \text{ бал}) / 3$ і 20 балів за МКР. Для позитивного оцінювання 2-го календарного контролю студенту необхідно отримати мінімум 20 балів за лабораторні роботи №4, №5, №6 і 20 балів за МКР, тобто $0,5 \cdot (120 \text{ бал}) / 3 + 0,5 \cdot 40 \text{ бал} = 40 \text{ балів}$.

Екзамен.

Рейтиногова оцінка визначається за формулою

$$O_{PO} = 40 \text{ балів} O_{\text{семетрова}} + 60 \text{ балів} O_{\text{екзаменаційна}}$$

Умовою допуску до екзамену є виконання усіх лабораторних робіт та 2-х тематичних контрольних робіт.

Стартовий рейтинг максимально складає **40 балів**, відповідно:

- Лабораторні роботи – 20 балів;
- Дві ТКР – 10 балів кожна.

Мінімальна позитивна оцінка складає відповідно 12 і по 6 балів.

Екзаменаційна складова. Екзаменаційна контрольна робота виконується письмово.

Кожне завдання містить три теоретичних запитань, приклад завдання для екзаменаційної роботи наведено у Додатку А. Перелік запитань, що виносяться на екзамен наведений у Додатку Б. На підготовку відповідей на запитання завдання екзаменаційної роботи виділяється 1 академічна година часу.

Максимальна оцінка складає **60 балів**, відповідно:

- Максимальна оцінка за правильну відповідь на кожне теоретичне питання складає 20 балів.

Корозія і захист металів

Оцінка за відповідь знижується по кожному з питань – за принципові помилки у відповіді на 20-15 балів, за неповну відповідь на 15-10 балів, за неправильне використання термінів на 3 бали. Мінімальна позитивна оцінка 36 балів.

Рейтингова оцінка перераховується відповідно до таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *перелік питань, які виносяться на залікову контрольну роботу наведено у додатку Б;*
- *студенти можуть отримати 10 балів за сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни.*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доц. к.т.н. Солодким Є.В.

ст. викладачем, к. х. н., Шеметом В. Ж.

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 21 від 08.07.22 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 10/22 від 10.07.2022 р.)

Додаток А

Приклад завдання екзаменаційної контрольної роботи

1. Хімічна корозія металів, види. Наведіть приклади реакцій хімічної корозії в неелектролітах.
2. Термодинаміка хімічної корозії, зміни енергії Гібса, зміна стандартної вільної енергії реакції окислення.
3. Що таке електродний потенціал, коли він виникає і чому дорівнює електродний потенціал у розчинах води (формулою Нернста)

Додаток Б

Перелік питань, що виносяться на екзамен

1. Класифікація корозійних процесів. Які Ви знаєте показники корозії?
2. Хімічна корозія металів, види. Наведіть приклади реакцій хімічної корозії в неелектролітах.
3. Що таке жаростійкість і жароміцність?
4. Термодинаміка хімічної корозії, зміни енергії Гібса, зміна стандартної вільної енергії реакції окислення.
5. Діаграми Еллінгема, Лінії в діаграмах Еллінгема.
6. Критерій Піллінга і Бедвордса.
7. Типи фазових діаграм. Склад-Температура. Склад-Парціальний тиск компонентів. Наведіть приклади.
8. Закони росту окисних плівок, залежність швидкості газової корозії від температури.
9. Дефекти кристалічної ґратки; В яких випадках швидкість окислення залежить або не залежить від парціального тиску кисню.
10. Теорія Мота и Кабрера
11. Перший і другий закон Фіка, в чому різниця?
12. Теорія жаростійкості Вагнера-Хауфффе. Вплив легуючих елементів на дефектну структуру окисної плівки.
13. Що таке внутрішнє окислення сплавів. Залежність глибини внутрішнього окислення від концентрації, рівняння Вагнера.
14. Перехід від внутрішнього окислення до зовнішнього (критерій переходу до зовнішнього окислення, формула Вагнера).
15. Механізм утворення багатофазних окалини на прикладі окислення Ni-Cr сплавів. Залежність константи швидкості окислення Ni-Cr сплавів від концентрації хрому.
16. Високотемпературне окислення сплавів в присутності водяного пару. Вплив водню на формування окалини на основі Cr₂O₃.
17. Роль R.E.-елементів у формуванні захисних окалини з Al₂O₃, Cr₂O₃ на сплавах. Які хімічні елементи називають R.E. Наведіть приклади механізму окислення сплавів легуваних Y і La.
18. На поверхні феритної сталі Fe-22Cr-2Ni-0.5Al- 0.4Mn-0.2Si-1.2Ti (вагові %) при окисленні утворюється суцільна захисна окалина з оксиду хрому. Оксиди яких металів можуть утворюватись під оксидною плівкою ?

Корозія і захист металів

19. При якому парціальному тиску кисню буде утворюватись оксид на поверхні металу при 800°C (Хром, залізо)
20. Дефекти кристалічної ґратки; В яких випадках швидкість окислення залежить або не залежить від парціального тиску кисню.
21. Чому високотемпературні нагрівачі на основі кремнію не використовуються у вакуумних високотемпературних печах?
22. На поверхні суперсплаву IN 718 на основі нікелю Ni-17Cr-0.2Al- 2.8Mo-4.7Nb-0.6Ti (вагові %) при окисленні утворюється суцільна захистна окалина з оксиду хрому. Оксиди яких металів можуть утворюватись під оксидною плівкою ?
23. При якому парціальному тиску кисню буде утворюватись оксид на поверхні металу при 800°C (алюміній, марганець)
24. Що таке електродний потенціал, коли він виникає і чому дорівнює електродний потенціал у розчинах води (формулою Нернста)
25. Механізм електрохімічної корозії. Запишіть рівняння анодної і катодної поляризації. Що таке деполяризатор.
26. Запишіть рівняння кисневої і водневої деполяризації. Як змінюється електродний потенціал деполяризації при зміні концентрації водневих йонів у розчині.
27. Термодинаміка електрохімічної корозії.
28. Діаграма Пурбе для заліза. Запишіть реакції рівноваги на кордоні фаз.
29. Діаграма Пурбе для цинка. Запишіть реакції рівноваги на кордоні фаз.
30. Вплив складу і концентрації агресивного середовища на корозію металів. Що таке активатори і інгібітори корозії. Приведіть приклади.
31. Корозія заліза під краплею води. Запишіть рівняння анодного і катодного процесу і покажіть схематично механізм . Які продукти утворюються у цьому випадку.
32. Корозія контакту заліза і міді під краплею води. Запишіть рівняння анодного і катодного процесу і покажіть схематично механізм . Які продукти утворюються у цьому випадку.
33. Корозія контакту заліза і цинку під краплею води. Запишіть рівняння анодного і катодного процесу і покажіть схематично механізм . Які продукти утворюються у цьому випадку.
34. Методи захисту металевих конструкцій від атмосферної корозії.
35. Методи напилення захистних покриттів на сплави.
36. Захисні покриття для сплавів що працюють при високих температурах. Інтердифузія.
37. Термобарерні покриття на сучасних суперсплавах.
38. Механізм окислення керамічних матеріалів на основі нітриду і карбїду кремнію.
39. Високотемпературне окислення композиційних матеріалів на основу вуглецю. Застосування композитів на основі вуглецю. Принцип захищення таких матеріалів.
40. Механізм окислення тугоплавких силіцидів.