



Теорія нанесення покриттів Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</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/120 год: лекції – 36 год, практичні заняття – 36 год, СРС – 48 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/МКР</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., професор Смирнов Ігор Володимирович Практичні заняття: д.т.н., професор Смирнов Ігор Володимирович</i>
Розміщення курсу	<i>classroom</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Напилені покриття широко застосовується в різних галузях промисловості для захисту поверхонь різних деталей від зношування, а також від корозії в агресивних середовищах. Крім цього, технологія напилювання дозволяє відновлювати зношені деталі машин і механізмів, що дає значну економію матеріалів. Вивчатися у дисципліні будуть процеси утворення парової та крапельно-газової фаз, транспортування матеріалів на поверхню, на яку наносяться покриття, і утворення покриттів. Набуті знання дозволять вільно орієнтуватися в технологічних особливостях напилення.

Метою навчальної дисципліни є підсилення у студентів фахових компетенцій спеціальності таких як:

- Здатність застосовувати системний підхід до вирішення інженерних матеріалознавчих проблем.
- Здатність обирати технологічний процес та його оптимальні умови для отримання виробів з композиційних, наноструктурованих та порошкових матеріалів.
- Здатність застосовувати часні ідходи оптимізації та дизайну матеріалів для удосконалення їх властивостей залежно від умов експлуатації.

Теорія нанесення покриттів

Предмет навчальної дисципліни: теорія утворення та взаємодії двофазних (газопорошкових) і парових потоків за різних способів активації матеріалів, які використовуються у напиленні покриттів різного призначення.

Результати навчання:

- Знати теорію утворення та взаємодії двофазних (газопорошкових) і парових потоків за різних способів активації матеріалів
- Уміти обирати способи активації матеріалів у напиленні покриттів в залежності від їх призначення.

2. Пререквізити та пост реквізити дисципліни

Дисципліни, знання з яких необхідні для вивчення дисципліни:

- Фізика;
- Хімія;
- Фізика конденсованого стану матеріалів;
- Математичне і комп'ютерне моделювання.

Знання, що студент отримає під час вивчення дисципліни «Теорія нанесення покриттів» необхідні студентам для підготовки звітів з переддипломної практики та дипломного проєктування. Результати вивчення дисципліни є складовою інтегральної компетентності підготовки за освітньо-професійною програмою першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступ. Загальні питання. Покриття та їх використання в техніці.

Розділ 2. Теорія газотермічного нанесення покриттів.

Розділ 3. Теорія вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів.

Розділ 4. Матеріали для напилення покриттів.

Розділ 5. Контроль якості покриттів.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базові:

1. Технологія газотермічного та вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів : навч. посіб. / уклад. : В. М. Пащенко, В. Д. Кузнецов. – Київ : НТУУ «КПІ», 2010. – 272 с.
2. Технологія нанесення покриттів та їх властивості : навчальний посібник / Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І. І. Білик, С. О. Руденький. – Електронне мережеве навчальне видання. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 120 с.
3. Технологія напилювання покриттів : підручник / О. М. Дубовий, А. М. Степанчук. – Миколаїв : НУК, 2007. – 236 с.

Додаткові:

1. Інженерія поверхні : підручник / К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж. – Київ : Наукова думка, 2007. – 557 с.
2. Технологія та обладнання для напилювання : навчальний посібник / В. М. Корж. – Київ : НМЦВО, 2000. – 152 с.
3. Технологія та обладнання напилених покриттів : навчальний посібник / І. І. Білик. – Київ : Політехніка, 2002. – 101 с.
4. Обладнання та технологія вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів : навч. посіб. / І. В. Смирнов, В. М. Пащенко. – Харків : Мачулін, 2016. – 236 с.

Інформаційні ресурси

Теорія нанесення покриттів

1. www.scincedirect.com
2. <http://www.dimet.com.ua>.

Зазначені базові навчальні матеріали є у вільному доступі у бібліотеці КПІ і мережі інтернет.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни.

5.1. Лекційні заняття

Розділ1. Вступ. Загальні питання. Покриття та їх використання в техніці.

Лекція 1. Значення захисних покриттів для різних областей техніки. Класифікація методів газотермічного нанесення покриттів. Завдання які вирішуються з використанням газотермічних покриттів.

Лекція 2. Класифікація методів вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів. Завдання які вирішуються з використанням вакуумно-конденсаційних покриттів.

Лекція 3. Методологія вибору методу нанесення покриття. Узагальнена схема нанесення покриття. Показники якості покриттів.

Розділ2. Теорія газотермічного нанесення покриттів.

Лекція 4. Методологія розроблення технологічних процесів газотермічного нанесення покриттів.

Лекція 5. Процеси у потоці газів та частинок. Прискорення частинок, що напилуються.

Лекція 6. Нагрівання напилюваних частинок у високотемпературному газовому струмені.

Лекція 7. Поверхневі фізико-хімічні процеси у газотермічному напиленні.

Лекція 8. Структура та властивості газотермічних покриттів.

Розділ3. Теорія вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів.

Лекція 9. Загальна структура технологічного процесу вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів. Середня довжина вільного пробігу. Поняття про ступені вакууму.

Лекція 10. Випаровування металів і сплавів. Рівняння Ленгмюра. Правило Рауля.

Лекція 11. Іонне розпилення твердого матеріалу.

Лекція 12. Електричні явища у вакуумі. Тліючий та дуговий розряд.

Лекція 13. Поверхневі фізико-хімічні процеси. Структура вакуумно-конденсаційних покриттів.

Лекція 14. Особливості вакуумно-конденсаційного нанесення матеріалів, відмінних за своїми фізико-механічними властивостями.

Розділ4. Матеріали для напилення покриттів.

Лекція 15. Зносостійкі, фрикційні і антифрикційні матеріали

Лекція 16. Корозієстійкі матеріали. Некристалічні та квазікристалічні матеріали.

Розділ 5. Контроль якості покриттів.

Лекція 17. Контроль якості газотермічних покриттів.

Лекція 18. Контроль якості вакуумно-конденсаційних покриттів.

5.2. Практичні заняття

Теорія нанесення покриттів

Основні завдання циклу практичних занять є отримання практичних навичок для розрахунку теплофізичних та кінетичних процесів, що мають місце при напиленні покриттів.

№ з/п	Назва практичної роботи (комп'ютерного практикуму)	Кількість ауд. годин
1.	Організація очного/дистанційного навчання. Рейтингова система оцінювання	2
2.	Визначення розподілу швидкості частинок та плазмового струменя від відстані напилення.	4
3.	Визначення зміни температури частинок від відстані при плазмовому напиленні.	4
4.	Моделювання основних параметрів плазмового однофазного струменя.	4
5.	Моделювання процесу напилення частинок порошку.	4
6.	Планування експерименту при газотермічному нанесенні покриттів	4
7.	Планування експерименту при вакуумно-конденсаційному нанесенні покриттів.	4
8.	Розрахунок режимів напилення покриттів методом термічного випаровування та іонно-плазмового розпилення.	6
9.	Модульна контрольна робота.	2
10.	Залік.	2

6. Самостійна робота студентів (48год)

1. Підготовка до лекцій – 9 год.
2. Підготовка до практичних занять – 7 год.
3. Підготовка до модульної контрольної роботи – 4 год.
4. Підготовка до заліку – 6 год.
5. Робота над темами, що виносяться на самостійне опрацювання 22 год.
- 6.

№	Тема для самостійного опрацювання
1.	Формоутворення деталей газотермічним напиленням
2.	Закономірності випаровування і конденсації металів у вакуумі.
3.	Перенесення теплоти у вакуумі.
4.	Теплові процеси на підкладці.
5.	Фізико-механічні властивості газотермічних покриттів.
6.	Фізико-механічні властивості вакуумно-конденсаційних покриттів.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни.

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

Правила поведінки на заняттях. На усіх заняттях, лекційних і практичних вітається відключення звукових сигналів телефонів. Під час проведення практичних робіт у очному режимі в лабораторії №022-9 корпусі студенти повинні суворо дотримуватись правил техніки безпеки.

Умовою допуску до виконання практичної роботи є наявність у студента написаного протоколу. За дистанційної форми навчання студенти отримують індивідуальний доступ до завдання для практичної роботи за адресою даною викладачем і не пізніше тижня після виконання роботи надсилають викладачу оформлений звіт. Перевірка здійснюється викладачем упродовж наступного тижня.

Перескладання заліку проводиться під час додаткової сесії за положенням НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" відповідно до графіку перескладань оприлюдненому на сайті НН 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)

Види контролю

- Поточний контроль: практичні роботи, модульна контрольна робота (МКР).
- Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
- Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: виконання практичних занять та написання МКР щонайменше на 60 балів.

Поточний контроль

- Активність на лекціях оцінюється ваговим балом – 2. Максимальна кількість балів на всіх лекціях складає: $2 \text{ бали} \times 17 = 34 \text{ бали}$.
- Виконання практичних занять оцінюється ваговим балом – від 1 до 6. Максимальна кількість балів за всі практичні заняття складає: $6 \text{ балів} \times 7 = 42 \text{ бали}$.
- Виконання модульної контрольної роботи оцінюється – від 1 до 24 балів. На проведення роботи відводиться 2 академічні години. Студенти отримують завдання, що складається із 2 теоретичних питань (Додаток А). За дистанційної форми навчання студенти отримують доступ до тестового завдання у GoogleClassRoom, куди ж завантажують виконане завдання для перевірки. Відповідь на кожне питання оцінюється від 1 до 6 балів. Максимальна кількість балів за МКР складає: $6 \text{ балів} \times 2 = 12 \text{ балів}$, відповідно за дві модульні контрольні 24 бали.

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$RC = 34 + 42 + 24 = 100 \text{ балів.}$$

Теорія нанесення покриттів

Календарний контроль

Календарний контроль (КК) проводиться на 7-8 та 14-15 тижнях семестру навчання. Для позитивного оцінювання 1-го КК студенту необхідно оформити та захистити практичні роботи та написати МКР №1. Для позитивного оцінювання 2-го КК студенту необхідно написати позитивно МКР №2.

Залік

Умовою допуску до залікує виконання усіх практичних робіт і написання МКР щонайменше на 60 балів. Студенти, що набрали упродовж семестру не менше 60 балів, як середнє від суми усіх виконаних завдань, мають можливість отримати оцінку, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Залікова семестрова контрольна робота пропонується у разі набору студентом недостатньої для семестрової атестації кількості балів (від 40 до 59 балів) або у разі незгоди студента із кількістю балів набраних протягом семестру.

Критерії оцінки :

Залікова контрольна робота складається з 10 теоретичних та практичних питань.

Правильна відповідь на кожне оцінюється в 10 балів (10 x 10=100 балів).

Шкала оцінювання кожного із 10 теоретичних питань:

0 - відповідь невірна або відсутня;

1-3 – відповідь частково (на 30%) вірна.

4-6 – відповідь частково (на 60%) вірна.

7-9 – відповідь частково (на 90%) вірна.

10 - відповідь правильна і повна.

Величина шкали залікової контрольної роботи R = 100 балів.

Для підвищення рейтингової оцінки студент може скласти залікову контрольну роботу, але у цьому випадку попередній рейтинг студента скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів тільки залікової контрольної роботи, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Залікова контрольна робота проводиться усно. Студент отримує 2 питання, відповіді на які максимально оцінюються у 100 балів (50 балів за правильну відповідь на кожне питання), відповідно:

- 100-95 балів – повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання);

- 90-85 балів – достатньо повна відповідь, не менше 80 % потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями);

- 85-70 балів – неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками);

- 0 балів – відповідь не відповідає умовам до «задовільно».

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре

Теорія нанесення покриттів

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)

- *Питання до модульної контрольної роботи наведено у додатку А.*
- *Питання які виносяться на залікову контрольну роботу наведені у додатку Б.*
- *Результати навчання за даною дисципліною здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних он-лайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому може бути перерахований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі практичні заняття). Можливість перерахування (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за процедурою, яка відповідає "Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті".*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професор, д.т.н. Смирнов Ігор Володимирович

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 9 від 14 лютого 2025 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 6/25 від 19 лютого 2025 р.)

**Приклади завдань
для Модульної контрольної роботи**

Варіант №1

1. *Класифікація методів газотермічного нанесення покриттів за енергетичною ознакою (по джерелу тепла).*
2. *Що визначає критерій Рейнольдса? Від яких характеристик він залежить?*

Варіант №2

1. *Класифікація методів нанесення покриттів за фазовим станом середовища яке застосовується для формування покриття.*
2. *Що визначає критерій Кнудсена? Від яких характеристик він залежить?*

Варіант №3

1. *Охарактеризуйте газополуменевий метод напилення покриттів. Надайте схему за принципом: розпилювач – газопорошковий потік – покриття – основа.*
2. *Класифікація залишкових або внутрішніх напружень за об'ємами, в яких вони врівноважуються.*

Варіант №4

1. *Опишіть плазмовий метод напилення покриттів. Надайте схему за принципом: розпилювач – газопорошковий потік – покриття – основа.*
2. *Як впливає струм джерела живлення плазмотрону на температуру плазмового струменя (за результатами практичної роботи)?*

Варіант №5

- *Охарактеризуйте детонаційний метод напилення покриттів. Надайте схему за принципом: розпилювач – газопорошковий потік – покриття – основа.*
- *Охарактеризуйте пористість напилених покриттів. Як вона визначається?*

Варіант №6

1. *Охарактеризуйте електродуговий метод напилення покриттів. Надайте схему за принципом: розпилювач – газопорошковий потік – покриття – основа.*
2. *Яким критерієм визначається характер течії струменя газу. Від чого він залежить?*

Варіант №7

1. *Охарактеризуйте газодинамічний метод напилення покриттів. Надайте схему за принципом: розпилювач – газопорошковий потік – покриття – основа.*
2. *Яким критерієм характеризується ступінь розрідженості газового потоку? Від чого він залежить?*

Варіант №8

1. *Які фактори технологічного процесу виготовлення виробів із покриттям покладено в основу вибору методу нанесення покриття?*

Теорія нанесення покриттів

2. *Наведіть схему структури газотермічного покриття.*

Варіант №9

1. *За якими властивостями визначається якість нанесеного покриття?*
2. *Наведіть схему співудару розплавленої частинки з основою.*

Варіант №10

1. *Наведіть узагальнену технологічну схему процесу нанесення газотермічних покриттів.*
2. *Що визначає критерій Біо? Від чого він залежить?*

Варіант №11

1. *Опишіть типові конструкції газотермічних покриттів. Наведіть схеми.*
2. *Які основні сили діють на частинку матеріалу в потоці газу під час напилення покриття.*

Варіант №12

1. *Якими шляхами здійснюється теплообмін між частинкою і несучим потоком газу? Охарактеризуйте їх.*
2. *Від яких характеристик залежить швидкість частинки порошку в плазмовому струмені?*

Варіант №13

1. *Які перетворення можуть траплятися з частинками дисперсної фази у високотемпературному потоці?*
2. *Від яких характеристик залежить температура частинки порошку в плазмовому струмені.*

Варіант №14

1. *Які можливі форми, структури сплетів (ламелей) індивідуальної взаємодії частинок дисперсної фази з основою під час напилення покриттів?*
2. *Який метод та матеріал покриття з може бути застосовано для захисту лопаток турбін реактивного двигуна? Опишіть умови роботи.*

Варіант №15

1. *Як відбувається формування матеріалу в нерухомій плямі під час напилення покриттів.*
2. *Який метод та матеріал покриття з може бути застосовано для напилення робочих поверхонь підшипників ковзання? Опишіть умови роботи.*

Варіант №16

1. *Наведіть схеми аксіального і радіального завантаження потоку дисперсною фазою.*
2. *Як змінюється швидкість газового струменя по дистанції напилення?*

Варіант №17

1. *Наведіть схематично залежність швидкості газу і частинки порошку від відстані напилення?*
2. *Які існують методи визначення властивостей порошку для напилення покриттів?*

Варіант №18

Теорія нанесення покриттів

1. Що характеризує коефіцієнт термічного розширення і як він впливає на формування газотермічних покриттів?
2. Який метод та матеріал покриття з може бути застосовано для захисту сопла реактивного двигуна? Опишіть умови роботи.

Варіант №19

1. Класифікація методів нанесення покриттів за станом процесів, що визначають одну групу методів.
2. Які застосовують технологічні прийоми для регулювання залишкових напружень в покриттях?

Варіант №20

1. Охарактеризуйте стійкість до спрацьовування та антифрикційні властивості газотермічних покриттів.
2. Яким чином можна регулювати температуру частинки під час плазмового напилення покриттів.

Варіант №21

1. Охарактеризуйте вакуумно-конденсаційні покриття в порівнянні з газо-термічними покриттями.
2. Від чого залежить час напилення покриттів і як він розраховується?

Варіант №22

1. Надайте загальну схему вакуумного конденсаційного нанесення покриття та опишіть принцип роботи.
2. Від яких параметрів залежить швидкість конденсації і як вона розраховується?

Варіант №23

1. Класифікація методів і способів вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів.
2. Від яких параметрів залежить швидкість випаровування і як вона розраховується?

Варіант №24

1. Опишіть загальну схему технологічного процесу вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів.
2. Сутність та графічне зображення закону Рауля (Практична №6).

Варіант №25

1. Опишіть основні елементи вакуумних установок для напилення покриттів.
2. Особливості випаровування сполук і сплавів. Сутність закону Рауля (Практична №6).

Варіант №26

1. Що таке вакуум і які основні постулати фізики вакууму?
2. Опишіть початкові стадії росту конденсованої плівки за механізмами конденсації пара-кристал та пара-рідина-кристал.

Варіант №27

Теорія нанесення покриттів

1. Що означає поняття «середня довжина вільного шляху молекул газу» і як вона визначається?
2. Для яких речовин що випаровуються застосовуються випарники з резистивним нагрівом? Які матеріали використовують для їх виготовлення?

Варіант №28

1. Поняття про ступені вакууму. Як визначається критерій Кнудсена?
2. Які застосовують випарники з резистивним нагріванням для нанесення покриттів у вакуумі їх переваги та недоліки?

Варіант №29

1. Сутність критерію Кнудсена та його застосування у вакуумній техніці.
2. Галузь застосування вакуумно-дугового напилення покриттів. Наведіть приклади виробів з даними покриттями.

Варіант №30

1. Що означає низький, середній і високий вакуум? Який тиск у вакуумній камері відповідає цим поняттям?
2. Сутність нанесення плівок методом вакуумно-конденсаційного термічного випаровування. Опишіть переваги та недоліки.

Варіант №31

1. Сутність нанесення покриттів методом електронно-променевого випаровування. Опишіть переваги та недоліки.
2. Методи визначення стійкості покриттів до спрацьовування.

Варіант №32

1. Сутність нанесення покриттів методом іонного розпилення. Опишіть переваги та недоліки.
2. Методи визначення товщини покриття.

Варіант №33

1. Сутність нанесення покриттів методом магнетронного розпилення. Опишіть переваги та недоліки.
2. Характеристики та параметри трибометричних випробувань.

Варіант №34

1. Сутність нанесення покриттів методом випаровування за допомогою електричної дуги. Опишіть переваги та недоліки.
2. Методи визначення твердості газотермічних покриттів.

Варіант №35

1. Надайте схему електронно-променевого випаровування та опишіть принцип роботи.
2. Опишіть методи визначення міцності зчеплення вакуумно-конденсаційних покриттів.

Варіант №36

Теорія нанесення покриттів

1. Надайте схему напилення покриттів методом іонного розпилення та опишіть принцип роботи.
2. опишіть методи визначення міцності зчеплення газотермічних покриттів.

Варіант №37

1. Надайте схему магнетронної системи іонного розпилення та опишіть принцип роботи.
2. опишіть методи визначення пористості газотермічних покриттів.

Варіант №38

1. Надайте схему установки вакуумно-дугового напилення покриттів та опишіть принцип роботи.
2. Методи контролю якості газотермічних покриттів.

Варіант №39

1. опишіть процеси зародження покриттів при вакуумному напиленні.
2. опишіть процеси росту покриттів при вакуумному напиленні.

Варіант №40

1. Надайте схему структурних зон конденсату залежно від температури підкладки.
2. Методи контролю якості вакуумно-конденсаційних покриттів.

Питання, що виносяться на залік

1. Теорія розпилення матеріалів.
2. Утворення фізичного і хімічного контактів в зоні взаємодії
3. Високоенергетичне розпилення.
4. Кінетика випарування хімічних сполук.
5. Катодне розпилення.
6. Час ретардації та його вплив на формування структури.
7. Взаємодія потоку атомів з основою при ВКН.
8. Розрахунок напружень в покриттях.
9. Ріст кристалів вакуумних покриттів.
10. Розпилення проволочки високотемпературним струменем.
11. Формування структури вакуумних покриттів.
12. Утворення хімічного контакту (ГТН).
13. Процес формування покриттів (ГТН).
14. Реакційне напилення сполук.
15. Зміни тиску у зоні контакту частки з основою.
16. Кінетика випарування чистих металів.
17. Плазмове напилення.
18. Кінетика випаровування сплавів.
19. Визначення розміру часток при розпиленні проволочки.
20. Загальні закономірності електродугової металізації.
21. Температура контакту частки з основою.
22. Термодинаміка випаровування сплавів.
23. Теорії іонного розпилення.
24. Формування шару покриттів.
25. Утворення плазмового потоку.
26. Термодинаміка випаровування хімічних сполук.
27. Загальні закономірності газополуменового напилення.
28. Напруження в газо термічних покриттях.
29. Високоенергетичне розпилення.
30. Взаємодія напилюваного порошку з газовим потоком.
31. Утворення детонаційної хвилі.
32. Визначення початкових характеристик плазмового струменя.
33. Внутрішнє напруження в покриттях.