



# Теоретичні основи деформування композиційних матеріалів

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Прикладна механіка</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен</i>
Розклад занять	<i>1 лекція на тиждень, 1 практичне заняття на тиждень, розклад на <a href="http://roz.kpi.ua">http://roz.kpi.ua</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., професор кафедри ТВЛА Тітов В.А. <a href="mailto:vat.kpi@gmail.com">vat.kpi@gmail.com</a></i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://classroom.google.com/c/NjU0NDA4NTYzMjU2?cjc=lc6nj7j">https://classroom.google.com/c/NjU0NDA4NTYzMjU2?cjc=lc6nj7j</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Теоретичні основи деформування композиційних матеріалів» – вибіркова дисципліна освітньо-наукової програми підготовки **Прикладна механіка** освітнього ступеня магістр за спеціальністю **131 Прикладна механіка**.

Вивчення дисципліни надасть можливість засвоїти особливості специфіки використання та пластичної обробки композиційних матеріалів з матрицею, що пластично деформується, з урахуванням техніко-економічних показників для досягнення високих показників надійності, ресурсозаощадження та екологічної безпеки сучасних виробів наукоємного машинобудування, товарів цивільного призначення та інших.

Метою навчальної дисципліни є формування у здобувачів систематизованих знань щодо науково-технічно та економічно обґрунтованого використання сучасних конструкційних матеріалів в виробі наукоємного машинобудування на основі теоретичних підходів до аналітичного опису напружено-деформованого стану композиційних матеріалів з матрицею, що пластично деформується, в процесах пластичного формоутворення елементів конструкцій та їх наступної експлуатації.

Предметом навчальної дисципліни є композиційні матеріали (КМ) з матрицею, що деформується, їх види, конструкційні та технологічні властивості при деформуванні, особливості використання КМ в конструкціях, основи методів, проектування технологічних процесів, розрахунків технологічних параметрів процесів деформування з урахуванням деформаційних особливостей компонентів КМ та їх структури з шаруватих металополімерних та волокнистих КМ, ме-

тоди підвищення технологічної пластичності КМ в процесах деформування за рахунок фізико-механічного впливу на заготовку.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

**знання** конструкційних та технологічних властивостей композиційних матеріалів з матрицею, що пластично деформується на основі співставлення цих властивостей з традиційними конструкційними матеріалами (алюмінієвими, магнієвими та титановими сплавами, сталями, тощо), **уміння** оцінювати технологічність виробів з КМ та приймати оптимізовані конструкторсько-технологічні рішення, проектувати технологічні процеси виготовлення елементів конструкцій виробів наукоємного машинобудування методами обробки тиском і **досвід** розрахунку параметрів технологічного процесу.

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

Наукова складова вивчення дисципліни базується на набутих знаннях з дисциплін «Комп'ютерне моделювання в наукоємному машинобудуванні», «Інноваційні технології і машинобудуванні». Дисципліна, що розглядається, насамперед, формує наукове підґрунтя для виконання магістерської дисертації, як теоретичних так і експериментальних підходів. Наряду з цим формує науково-технічне підґрунтя для виконання конструкторсько-технологічного проектування магістерської дисертації.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

**Вступ.** Передумови використання КМ в промисловому, народно-господарському комплексі. Роль та значення обробки металів тиском для виробництва конструкцій з напівфабрикатів КМ.

### **Розділ 1. Загальні уявлення про КМ.**

**Тема 1.1** Загальні вимоги, що пред'являють в машинобудуванні до конструкційних матеріалів. КМ як конструкційний матеріал. Функціональні матеріали.

**Тема 1.2** Класифікація КМ. Термінологія та основні поняття. КМ, що пластично деформуються під впливом зовнішнього тиску.

**Тема 1.3** Фізико-механічні, експлуатаційні та технологічні властивості КМ, що пластично деформуються, та їх структурних компонент.

**Тема 1.4** Процеси виготовлення напівфабрикатів з металевих КМ (МКМ), що пластично деформуються.

**Тема 1.5** Використання МКМ в конструкціях виробів. Типові приклади.

**Тема 1.6** Особливості проектування конструкцій з МКМ. Типові конструкторсько-технологічні рішення.

### **Розділ 2. Основи моделювання процесів деформування КМ.**

**Тема 2.1** Технологічна механіка формоутворення конструкцій з МКМ.

**Тема 2.2** Критерії розробки процесів пластичного деформування композитів.

**Тема 2.3** Загальні підходи до теоретичного аналізу процесів пластичного деформування МКМ.

**Тема 2.4** Метод розрахунку МКМ в представленні шарово-неоднорідного тіла. Структура розрахунку. Механіка деформування композитного шару. Система умов сумісності деформування шарів композиційного тіла.

**Розділ 3. Експериментальні методи визначення деформаційних властивостей композитів.**

**Тема 3.1** Особливості побудови деформаційних кривих.

**Тема 3.2** Метод експериментально-аналітичної побудови кривих деформування МКМ при випробуванні на згин.

**Тема 3.3** Аналітична методика розрахунку кривих деформування волокнистих композитів по властивості їх матриці.

**Тема 3.4** Експериментально-аналітична побудова кривих деформування для матриць МКМ (зворотне рішення).

**Тема 3.5** Діаграми пластичності МКМ, їх особливості в порівнянні з металами.

**Розділ 4. Теоретичне дослідження процесів деформування конструкцій шаруватих МКМ.**

**Тема 4.1** Кінематичні закономірності Згину шаруватих композитів. Чистий циліндричний згин біметалів.

**Тема 4.2** Методика розрахунку параметрів технологічного процесу згину. Робота деформування.

Спружинювання після гнуття, залишкові напруги. Мінімальний радіус гнуття.

**Розділ 5. Процеси формоутворення конструкцій з волокнистих МКМ.**

**Тема 5.1** Механічна поведінка та кінематика руйнування волокнистих композитів при згині.

**Тема 5.2** Вплив структурних параметрів волокнистих МКМ на величину мінімального радіусу згину та шляхи оптимізації структури КМ.

**Тема 5.3** Гнуття волокнистих МКМ в умовах складного навантаження. Особливості гнуття поперечною силою. Гнуття в еластичне середовище. Технологічні підкладки. Технологічні конструкційні шари. Гнуття із стиском.

**Тема 5.4.** Особливості гнуття МКМ з термо-часовим впливом на заготівку.

**Розділ 6. Технологічні методи забезпечення точності та якості деталей з металічних та металополімерних (МПКМ) композитів.**

**Тема 6.1** Технологічні методи забезпечення точності та якості деталей з шаруватих металевих КМ. Основні впливові фактори. Оптимізація розкрою листового металу.

**Тема 6.2** Технологічні методи забезпечення точності та якості деталей з шаруватих МПКМ. Склад операцій виготовлення типових деталей. Попереднє розтягування листів. Особливості процесів гнуття. Особливості формоутворення деталей (оболонок) подвійної кривизни.

**Тема 6.3** Особливості реалізації процесів виготовлення конструкцій з волокнистих МКМ.

**Тема 6.4** Оцінка реалізації властивостей МКМ в елементах конструкцій.

#### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

##### **Базова література:**

1. Конструкции из металлических композиционных материалов / Г.А. Кривов, В.А. Титов, Б.В. Лупкин и др. - К.:Техніка, 1992 - 224с.

2. Моделирование и расчет элементов конструкций из неоднородных материалов / Н.А.Шульга, Г.А. Кривов, Ю.М. Федоренко, В.А. Титов К.: Техніка, 1993 - 244с.

##### **Додаткова література:**

1. Современные технологии обработки и сборки изделий машиностроения / Г.А. Кривов, В.В. Сухов, А.И. Бабушкин и др. - К.:Техніка, 1993 - 143с.

2. Композиционные материалы (справочник) / Под ред. Е.М. Карпиноса -К.: Наук. думка, 1985. - 592 с.

3. Титов В.А. Некоторые особенности технологической механики пластического деформирования конструкций из волокнистых композиционных материалов / Вестник НТУУ "КПИ", Машиностроение, 1998, вып. 33.- с. 34-347

4. Кривов Г.А. Технология самолетостроительного производства - Киев: КВИЦ, 1997-459 с.

5. Кривов Г.А., Титов В.А. Развитие технологии изготовления конструкций из металлических и металлополимерных КМ в УкрНИИАТ / технологические системы, 1999, №2 - с. 5-10

6. Титов В.А. Особенности упругопластического поведения слоистых материалов при изгибе / Прогресивна техніка і технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва, т.2 – Київ, НТУУ «КПІ»; 1988 – с.332-336

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Складність вивчення дисципліни полягає в наявності різнопланових розділів, які складають кредитний модуль, в тому числі:

- конструктивні особливості КМ та порівняння властивостей традиційних конструктивних матеріалів та композиційних матеріалів ;
- методи визначення деформаційних властивостей КМ;
- основи моделювання процесів деформування КМ;
- основи теоретичних досліджень процесів деформування КМ;
- технологічні методи реалізації процесів виготовлення та оцінки якості елементів конструкцій з КМ.

Тому повне засвоєння знань з кредитного модулю в цілому можливе тільки у випадку розуміння та засвоєння кожного з розділів окремо. Для досягнення високого рівня залишкових знань необхідно рекомендувати проводити додатковий контроль знань після викладання кожного з розділів кредитного модуля, а атестацію проводити згідно до модульної контрольної роботи, яка складається із двох частин.

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні (комп'ютерний практикум)	СРС
1	2	3	4	5	6
<b>Розділ 1. Загальні уявлення про КМ</b>					
<b>Вступ</b> Передумови використання КМ в промисловому, народно-господарському комплексі. Роль та значення обробки металів тиском для виробництва конструкцій з напівфабрикатів КМ.	1,5	1	-	-	0,5
<b>Тема 1.1</b> Загальні вимоги, що пред'являють в машинобудуванні до конструкційних матеріалів. КМ як конструкційний матеріал. Функціональні матеріали.	7	5	-	-	2
<b>Тема 1.2</b> Класифікація КМ. Термінологія та основні поняття. КМ, що пластично деформуються під	4	2	1	-	1

1	2	3	4	5	6
впливом зовнішнього тиску.					
<b>Тема 1.3</b> Фізико-механічні, експлуатаційні та технологічні властивості деформуємих КМ та їх структурних компонент.	4	2	1	-	1
<b>Тема 1.4</b> Процеси виготовлення напівфабрикатів з деформуємих металевих КМ(МКМ).	6	4	-	-	1
<b>Тема 1.5</b> Використання МКМ в конструкціях виробів. Типові приклади.	3	2	-	-	1
<b>Тема 1.6</b> Особливості проектування конструкцій з МКМ. Типові конструкторсько-технологічні рішення.	3	2	-	-	1
<i>Разом за розділом 1</i>	<i>27,5</i>	<i>18</i>	<i>2</i>		<i>7,5</i>
<b>Розділ 2. Основи моделювання процесів деформування КМ</b>					
<b>Тема 2.1</b> Технологічна механіка формоутворення конструкцій з МКМ.	2,5	2	-	-	0,5
<b>Тема 2.2</b> Критерії розробки процесів пластичного деформування композитів.	2,5	2	-	-	0,5
<b>Тема 2.3</b> Загальні підходи до теоретичного аналізу процесів пластичного деформування МКМ	6,5	4	1	-	1,5
<b>Тема 2.4</b> Метод розрахунку МКМ в представленні шарово-неоднорідного тіла. Структура розрахунку. Механіка деформування композитного шару. Система умов сумісності деформування шарів композиційного тіла.	6,5	4	1	-	1,5
<i>Разом за розділом 2</i>	<i>18</i>	<i>12</i>	<i>2</i>		<i>4</i>
<b>Розділ 3. Експериментальні методи визначення деформаційних властивостей композитів</b>					
<b>Тема 3.1</b> Особливості побудови деформаційних кривих.	3	2	-	-	1
<b>Тема 3.2</b> Метод експериментально-аналітичної побудови кривих деформування МКМ при випро-	7	4	2	-	1

1	2	3	4	5	6
буванні на згин					
<b>Тема 3.3</b> Аналітична методика розрахунку кривих деформування волокнистих композитів по властивостям їх матриці.	4	2	1	-	1
<b>Тема 3.4</b> Експериментально-аналітична побудова кривих деформування для матриць МКМ (зворотне рішення)	4	2	1	-	1
<b>Тема 3.5</b> Діаграми пластичності МКМ. їх особливості в порівнянні з металами.	3	2	-	-	1
<b>Модульна контрольна робота за розділами 1-3</b>	3	1			2
<i>Разом за розділом 3</i>	<i>24</i>	<i>13</i>	<i>4</i>		<i>7</i>
<b>Розділ 4. Теоретичне дослідження процесів деформування конструкцій шаруватих МКМ</b>					
<b>Тема 4.1</b> Кінематичні закономірності Згину шаруватих композитів. Чистий циліндричний згин біметалів.	9	6	1	-	2
<b>Тема 4.2</b> Методика розрахунку технологічних параметрів процесу згину. Робота деформування.	4	2	1	-	1
<i>Разом за розділом 4</i>	<i>13</i>	<i>8</i>			<i>3</i>
<b>Розділ 5. Процеси формоутворення конструкцій з волокнистих МКМ</b>					
<b>Тема 5.1</b> Механічна поведінка та кінематика руйнування волокнистих композитів при згині	2,5	2	-	-	0,5
<b>Тема 5.2</b> Вплив структурних параметрів волокнистих МКМ на величину мінімального радіусу згину та шляхи оптимізації структури КМ.	4,5	2	2	-	0,5
<b>Тема 5.3</b> Гнуття волокнистих МКМ в умовах складного навантаження. Особливості гнуття поперечною силою. Гнуття в еластичне середовище. Технологічні підкладки. Технологічні констру-	10	6	2	-	2

1	2	3	4	5	6
кційні шари. Гнуття із стиском.					
<b>Тема 5.3</b> Особливості гнуття МКМ з термо-часовим впливом на заготовку.	2,5	2	-	-	0,5
<i>Разом за розділом 5</i>	<i>19,5</i>	<i>12</i>	<i>4</i>		<i>3,5</i>
<b>Розділ 6. Технологічні методи забезпечення точності та якості деталей з металічних та металополімерних (МПКМ) композитів</b>					
<b>Тема 6.1</b> Технологічні методи забезпечення точності та якості деталей з шаруватих металевих КМ. Основні впливові фактори. Оптимізація розкрою листового металу.	2,5	2	-	-	0,5
<b>Тема 6.2</b> Технологічні методи забезпечення точності та якості деталей з шаруватих МКМ та МПКМ. Склад операцій виготовлення типових деталей. Попереднє розтягування листів. Особливості процесів гнуття. Особливості формоутворення деталей (оболонки) подвійної кривизни	4,5	2	2	-	0,5
<b>Тема 6.3</b> Особливості реалізації процесів виготовлення конструкцій з волокнистих МКМ.	2,5	2	-	-	0,5
<b>Тема 6.4</b> Техніко-економічна оцінка реалізації властивостей МКМ в елементах конструкцій ЛА	2,5	2	2	-	0,5
<b>Модульна контрольна робота за розділами 4-6</b>	3	1			2
<i>Разом за розділом 6</i>	<i>17</i>	<i>9</i>	<i>4</i>		<i>4</i>
<b>Екзамен</b>	36				36
<b>Всього годин</b>	<b>180</b>	<b>72</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>90</b>

### Практичні заняття

Метою практичних занять є набуття умінь і навичок оцінювати технологічність виробів з КМ та приймати оптимізовані конструкторсько-технологічні рішення, проектувати технологічні процеси виготовлення елементів конструкцій виробів наукоємного машинобудування методами обробки тиском і **досвід** розрахунку параметрів технологічного процесу.

№ з/п	Тема практичного заняття та перелік основних питань
1	Класифікація КМ. Термінологія та основні поняття. Фізико-механічні, експлуатаційні та технологічні властивості деформуємих КМ та їх структурних компонент. Розрахунок механічних властивостей КМ по структурі та властивостям компонент.
2	Загальні підходи до теоретичного аналізу процесів пластичного деформування МКМ (структурний і феноменологічний). Метод розрахунку МКМ в представленні шарово-неоднорідного тіла.
3	Метод експериментально-аналітичної побудови кривих деформування МКМ при випробуванні на згин.
4	Розрахунок кривих деформування волокнистих композитів по властивостям їх матриці. Побудова кривих деформування для матриць МКМ ( зворотне рішення)
5	Кінематичні закономірності Згину шаруватих композитів. Розрахунок технологічних параметрів процесу згину. Напружено-деформований стан шарів.
6	Вплив структурних параметрів волокнистих МКМ на величину мінімального радіусу згину та шляхи оптимізації структури КМ.
7	Гнуття волокнистих МКМ в умовах складного навантаження (Гнуття в еластичне середовище. Технологічні підкладки. Технологічні конструкційні шари. Гнуття із стиском)
8	Забезпечення точності та якості деталей з шаруватих МКМ та МПКМ.
9	Техніко-економічна оцінка реалізації властивостей МКМ в елементах конструкцій ЛА.

### **Контрольна робота**

Модульна контрольна робота проводиться з метою виявлення знань студентів з основних розділів курсу.

Модульна контрольна робота поділена на дві частини, №1 – за розділами 1 – 3; №2 – за розділами 4 – 6. Основні цілі контрольної роботи – контроль за поточним засвоєнням знань, атестація студентів та інше. Результати контрольних робіт враховуються в РСО.

#### **6. Самостійна робота студента**

Самостійна робота передбачена за всіма темами плану курсу і складається з опрацювання матеріалів лекцій, підготовки до модульних контрольних робіт, іспиту тощо.

### **Політика та контроль**

#### **7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

Політика щодо дедлайнів та перескладання: - у відповідності до загальноуніверситетських вимог, окремі елементи не встановлюються. Перескладання іспиту відбувається із дозволу кафедри/деканату за наявності поважних причин (наприклад: лікарняний).

Політика щодо академічної доброчесності: - у відповідності до загальноуніверситетських вимог, окремі елементи не встановлюються. Списування, запозичення, шахрайство під час оцінювання тощо - не допускаються.

Політика щодо відвідування: - відвідування практичних занять та присутність на іспиті є обов'язковим компонентом для оцінювання, під час практичних занять проводяться експрес-опитування та модульні контрольні роботи (обов'язкові складові РСО), а також за навчальну активність слухача нараховуються додаткові бали (додатково до РСО). За об'єктивних причин (наприклад, хвороба, міжнародне стажування та/або інші форс-мажорні ситуації тощо) навчання може відбуватись в on-line формі у відповідності до загальноуніверситетських вимог. Також застосовуються елементи змішаного навчання.



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

Поточний контроль: *МКР*

Календарний контроль: *за результатами МКР*

Семестровий контроль: *екзамен*

Умови допуску до семестрового контролю: *семестровий рейтинг 35 балів та більше.*

### Система рейтингових балів та критерії оцінювання

#### Модульний контроль (МКР)

Ваговий бал модульної контрольної роботи – 20. По 10 балів за кожну з її половин.

Контрольна робота не зараховується, якщо підсумковий результат менше 12 балів

#### Практичні (семінарські заняття)

- виконані усі вимоги до робіт – 35...40 балів;
- виконані майже усі вимоги до робіт або є суттєві недоліки – 30...34 балів;
- є недоліки щодо виконання вимог до робіт та помилки – 24...29 балів;
- менше 60% виконаних робіт - 0 балів.

#### Заохочувальні бали

Участь у олімпіадах з дисципліни, участь у конкурсах робіт, підготовка рефератів та оглядів робіт, присутність на всіх лекціях – до 4 балів.

Сума заохочувальних балів не має перевищувати 6 (10% RC).

Максимальна загальна сума балів складає 100. Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка за практичні заняття (не менше 36 балів)

Шкала PCO кредитного модуля, семестрова атестація з якого передбачена у вигляді екзамену, формується як сума вагових балів контрольних заходів, проведених протягом семестру RC (стартовий рейтинг) та вагового балу з екзамену RE

$$R=RC+ RE, \text{ де } RC=60\%R, \text{ RE}=40\%R$$

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$RC = 10+10+40= 60 \text{ балів}$$

Критерії екзаменаційного оцінювання:

38 – 40 балів – повна відповідь на завдання білету;

34 – 38 балів – окремі незначні помилки у відповідях, які не впливають на розкриття суті питання;

30 – 33 балів – одне з питань білета не розкрито і додаткові питання не можуть вивести студента на правильну відповідь;

26 – 29 балів – одне з питань білета розкрито повністю, з інших питань є суттєві зауваження;

24 – 25 балів – з питань білету студент демонструє розуміння але не розкриває суті питань;

0 балів – відповідь відсутня або студент виказує нерозуміння питання під час відповіді.

Сума стартових балів і балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
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 обов'язкових питань, які виносяться на семестровий контроль:

1. Порівняльна характеристика конструкційних матеріалів.
2. Визначення композиційних матеріалів. Основні ознаки композиційних матеріалів.
3. Класифікація композиційних матеріалів.
4. Місце та роль композиційних матеріалів в конструкційних матеріалах. Діаграма співвідношень  $\frac{\sigma_B}{\rho}$  і  $\frac{E}{\rho}$ .
5. Властивості і ефективність використання шаруватих металевих композиційних матеріалів (ШМКМ).
6. Властивості, особливості конструкцій і ефективність використання шаруватих металополімерних композиційних матеріалів (ШМКМ).
7. Властивості, особливості конструкцій і ефективність використання волокнистих металевих композиційних матеріалів (ВМКМ).
8. Основні напрямки розвитку технологій пластичного формоутворення деталей з металевих композиційних матеріалів (МКМ).
9. Процеси виготовлення напівфабрикатів шаруватих металевих композиційних матеріалів (ШМКМ). Штамповка вибухом.
10. Процеси виготовлення напівфабрикатів шаруватих металевих композиційних матеріалів (ШМКМ). Особливості процесів прокатки.
11. Умови, які необхідні для з'єднання різнорідних матеріалів при виготовленні напівфабрикатів шаруватих металевих композиційних матеріалів (ШМКМ).
12. Основні теорії утворення з'єднань різнорідних металів.
13. Процеси виготовлення листових шаруватих металополімерних композиційних матеріалів (МПКМ).
14. Способи утворення натягу армованого компоненту в листовому шаруватому металополімерному композиційному матеріалі (МПКМ). Розрахунок залишкових напружень при попередньому розтягуванні армованого компоненту.
15. Способи утворення натягу армованого компоненту в шаруватому металополімерному композиційному матеріалі (МПКМ). Розрахунок залишкових напружень при розтягуванні листа МПКМ.
16. Процеси виготовлення волокнистих металевих композиційних матеріалів (ВМКМ). Два основних метода. Фактори, які визначають застосування методів. Основні переваги та недоліки цих методів.
17. Характеристика методів рідиннофазного поєднання компонент при виготовленні композиційних матеріалів. Схема безперервного просочування пучка волокон.
18. Методи захисту компонент від окиснення. Схема просочування компонент в інертному середовищі.
19. Методи попередньої обробки волокон бора. Схема нанесення покриття нітриду на поверхню волокна бора.
20. Характеристика методів твердофазного поєднання компонент при виготовленні композиційних матеріалів.

21. Структурна схема і характеристика операцій виготовлення листових напівфабрикатів волокнистих композиційних матеріалів.
22. Особливості виготовлення моно шарів системи  $Al-B$  і пресування листових напівфабрикатів волокнистих металевих композиційних матеріалів ВМКМ.
23. Особливості процесів виготовлення профільних і трубчатих напівфабрикатів волокнистих металевих композиційних матеріалів (ВМКМ) системи  $Al-B$ .
24. Умови, які необхідні для забезпечення міцності волокнистих металевих композиційних матеріалів ВМКМ. Оцінка міцності з'єднання волокна і матриці. Особливості формування міцності з'єднання композиційного матеріалу системи  $Al-B$ .
25. Міцність композиційного матеріалу, який армований волокнами. Виведення формули.
26. Границі об'ємного вмісту волокон. Верхній, мінімальний, критичний об'ємний вміст волокон.
27. Мінімальний і критичний об'ємний вміст волокон. Графічна інтерпретація об'ємного вмісту волокон.
28. Розподіл напружень в дискретних волокнах. Критична довжина волокна. Виведення формули, яка визначає критичну довжину волокна.
29. Механізми руйнування волокнистих композиційних матеріалів.
30. Механічні властивості волокнистих металевих композиційних матеріалів в залежності від орієнтації волокон.
31. Основи моделювання процесів деформування композиційних матеріалів. Феноменологічний підхід.
32. Основи моделювання процесів деформування композиційних матеріалів. Структурний підхід.
33. Основи моделювання процесів деформування композиційних матеріалів. Комбінований підхід.
34. Структура розрахунку деформацій композиційного матеріалу в шаруватому неоднорідному тілі.
35. Експериментальні методи визначення деформаційних властивостей металевих композиційних матеріалів МКМ.
36. Експериментальний аналітичний метод побудови діаграми деформування металевих композиційних матеріалів МКМ за результатами випробувань на згин.
37. Побудова кривих деформування для композиційних матеріалів за властивостями матриці.
38. Експериментальний аналітичний метод побудови кривих деформування для матеріалу матриці волокнистих металевих композиційних матеріалів ВМКМ.
39. Побудова поля швидкостей переміщення матеріальних часток для чистого гнuttя широкої листової заготовки з гомогенного металу. Швидкості деформацій.
40. Визначення компонент тензора напружень в заготовці для чистого циліндричного гнuttя гомогенного металу.
41. Умови сумісності деформацій різнорідних компонент при формоутворенні на прикладі гнuttя двохшарового металу.
42. Побудова поля швидкостей переміщення матеріальних часток металу для двохшарової заготовки.

43. Врахування фізичної неоднорідності при деформуванні композиційного матеріалу на прикладі моделі гнуття двохшарової заготовки шаруватого металевого композиційного матеріалу (ШМКМ).
44. Визначення компонент тензора напружень для чистого циліндричного гнуття біметалу.
45. Визначення радіусу нейтральної поверхні для гнуття біметалу. Коефіцієнти зміни товщини шарів в шаруватому металевому композиційному матеріалі.
46. Визначення залишкових напружень для біметалічних матеріалів після згину.
47. Визначення мінімального радіусу згину для біметалевих матеріалів.
48. Особливості гнуття металополімерних композиційних матеріалів.
49. Особливості гнуття волокнистих композиційних матеріалів. Радіус нейтральної поверхні.
50. Згин волокнистих композиційних матеріалів в еластичне середовище. Радіус нейтральної поверхні.
51. Гнуття волокнистих металевих композиційних матеріалів з технологічними підкладками.
52. Гнуття волокнистих металевих композиційних матеріалів з конструкційними або технологічними шарами гомогенного матеріалу.
53. Гнуття волокнистих металевих композиційних матеріалів зі стиском.
54. Особливості гнуття з нагрівом.
55. Основні напрямки забезпечення пластичності листових напівфабрикатів волокнистих металевих композиційних матеріалів.

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Склав** д.т.н., професор кафедри ТВЛА Вячеслав Тітов

**Ухвалено** кафедрою ТВЛА (протокол № 23 від 28.06.2023 р.)

**Погоджено** Методичною комісією ММІ (протокол № 9 від 30.06.2023 р.)