

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічного завдання
з навчальної дисципліни «Основи формування структури та
властивостей порошкових і композиційних матеріалів»
для студентів спеціальності
132 – Матеріалознавство
Освітня програма «Композиційні та порошкові матеріали,
покриття»
денної та заочної форми навчання

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічного завдання з навчальної дисципліни «Основи формування структури та властивостей порошкових і композиційних матеріалів» для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство, освітньої програми «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» денної та заочної форми навчання / Укл.: О.А. Мітяєв, В.О. Савченко. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 23 с.

Укладач: О.А. Мітяєв, професор, д.т.н.
В.О. Савченко, доцент, к.т.н.

Рецензент: В.М. Плєскач, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: О. Петрашова, ст.лаб.

Рекомендовано до видання
НМК ФБАД, протокол № 1
від 30 08 2024 р.

Затверджено на засіданні
кафедри КМХТ, протокол
№ 1 від 06.08.2024 р.

ЗМІСТ

1. Загальні методичні відомості	4
2. Вивчення структури та розрахунки механічних властивостей волокнистих композитів.....	5
Література.....	23

1. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВІДОМОСТІ

Розрахунково-графічне завдання з навчальної дисципліни «Основи формування структури та властивостей порошкових і композиційних матеріалів» призначено для закріплення знань студентів спеціальності 132 Матеріалознавство, освітньої програми «Композиційні та порошкові матеріали, покриття. Воно сприяє засвоєнню лекційного і лабораторного матеріалу та слугує сполучною ланкою між теоретичною підготовкою майбутнього фахівця та його практичною діяльністю.

Під час виконання розрахунково-графічного завдання студенти знайомляться з технологічними особливостями устрою волокнистих композиційних матеріалів; з чинниками, що впливають на їх властивості та отримують необхідні знання з техніко-економічного обґрунтування оптимальної технології виготовлення композиційних матеріалів.

2. ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРИ ТА РОЗРАХУНКИ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОЛОКНИСТИХ КОМПОЗИТІВ

Мета роботи

Вивчити структуру та вплив матриці і наповнювачів на механічні властивості композиційних матеріалів. Освоїти методи розрахунку границі міцності та модуля нормальної пружності композитів.

Загальні відомості

Класифікація композиційних матеріалів. Композиційними називають складні матеріали, до складу яких входять нерозчинні або малорозчинні один в одному компоненти, які сильно відрізняються за властивостями, розділені в матеріалі яскраво виявленою межею.

Принцип створення композиційних матеріалів (КМ) перейнятий у природи. Прикладом природних композиційних матеріалів можуть служити стовбури і стебла рослин, кістки людини і тварин. В дереві волокна целюлози сполучені пластичним лігніном, в кістках тонкі міцні нитки фосфатних солей – пластичним колагеном. До природних композиційних матеріалів можна віднести і сплави в литому стані (пластична матриця і зміцнювальна фаза, яка різними способами орієнтована в матриці).

Властивості композиційних матеріалів залежать від фізико-механічних властивостей компонентів і міцності зв'язку між ними. Відмінною рисою композиційних матеріалів є те, що в них виявляються кращі властивості компонентів, а не їх недоліки.

Композиційні матеріали за питомими міцністю і жорсткістю, міцністю при високій температурі, стійкістю опору руйнуванню і іншими властивостями значно перевершують всі відомі конструкційні сплави. Рівень заданого комплексу властивостей проектується заздалегідь і реалізується в процесі виготовлення матеріалу. При цьому матеріалу за можливістю надають форму, яка максимально наближається до форми готових деталей і навіть окремих вузлів конструкції.

Основою композиційних матеріалів (матрицею) служать метали або сплави (композиційні матеріали на металевій основі), а також

полімери, вуглецеві і керамічні матеріали (композиційні матеріали на неметалічній основі).

Матриця зв'язує композицію, надає їй форму. Від властивостей матриці в значній мірі залежать технологічні режими отримання композиційних матеріалів і такі важливі експлуатаційні характеристики, як робоча температура, опір руйнуванню втомленості, вплив навколишнього середовища, щільність і питома міцність. Створені композиційні матеріали з комбінованими матрицями, які складаються з двох або більше змінних шарів різного складу або шарів, які періодично повторюються.

Зміцнювальні матеріали повинні мати високі міцнісні властивості. Зі збільшенням механічних властивостей наповнювачів підвищуються відповідні властивості композиційного матеріалу, хоча вони і не досягають характеристик наповнювачів. Наповнювачі мають армувальні компоненти, які вводять в матрицю для зміни не тільки міцності, але і інших властивостей.

Властивості композиційного матеріалу залежать також від форми чи геометрії, розміру, кількості і характеру розподілу наповнювачів.

Волокнисті композиційні матеріали. У волокнистих композиційних матеріалах зміцнювачами служать волокна або ниткоподібні кристали чистих елементів і тугоплавких сполук (В, С, Al_2O_3 , SiC і ін.), а також дріт з металів і сплавів (Мо, W, Ве, високоміцна сталь і ін.). Для армування композиційних матеріалів використовують безперервні і дискретні волокна діаметром від часток до сотень мікрон. Теоретичні розрахунки і експерименти показують, що чим тонше і довше волокно, а точніше, чим більше відношення довжини до діаметру, тим вище ступінь зміцнення (σ_B^{KM}/σ_B^B) композиційного матеріалу. Як матрицю композиційних матеріалів використовують метали: Al, Mg, Ti, жароміцний Ni і сплави на їх основі; для неметалічних – полімерні, вуглецеві, керамічні матеріали.

Властивості волокнистих композиційних матеріалів в значній мірі залежать від схеми армування. Через значну розбіжність у властивостях волокон і матриці при одноосьовому армуванні композиційним матеріалам властива анізотропія властивостей.

При навантаженні розтяганням механічні властивості (σ_B і E) композиційних матеріалів досягають найбільших значень у напрямі розташування волокон, якнайменших – в поперечному напрямі.

Наприклад, композиційні матеріали з матрицею з технічного алюмінію АД1, укріплені волокнами бору, у напрямі волокон, мають $\sigma_b = 1000...1200$ МПа, а в поперечному всього 60...90 МПа. Об'ємна частина зміцнювача коливається в широких межах від декількох одиниць до 80...90%. При цьому композиційні матеріали з орієнтованими безперервними волокнами містять їх, як правило, в кількості 60...80%. Вміст хаотично розташованих дискретних волокон і ниткоподібних кристалів обмежується 20...30%, оскільки розбіжність в їх довжині і діаметрі створює технологічні труднощі в отриманні щільно пакованих матеріалів.

Низькі значення міцності і жорсткості композиційних матеріалів в напрямі, перпендикулярному розташуванню волокон, при розтягуванні, стисненні і зсуві, визначаються властивостями матриці. Велику роль відіграє матриця в опорі композиційних матеріалів руйнуванню втомленості, яке починається з матриці. Гетерогенна структура, поверхні розділення між волокном і матрицею ускладнюють процес розповсюдження тріщини в напрямі, перпендикулярному осі волокон. У зв'язку з цим композиційні матеріали характеризуються високими значеннями границі витривалості. За границею витривалості композиційні матеріали на алюмінієвій основі перевершують кращі алюмінієві сплави в 3...4 рази.

Міцність композиційних матеріалів в значній мірі залежить від міцності зчеплення волокон з матрицею. Для їх якісного з'єднання необхідно в першу чергу забезпечувати хороший контакт по всій поверхні з'єднань. Для металевих композиційних матеріалів міцний зв'язок між волокном і матрицею здійснюється завдяки їх взаємодії і утворенню дуже тонкого шару (1...2 мкм) інтерметалідних фаз. Якщо між волокнами і матрицею немає взаємодії, то на волокна наносять спеціальні покриття для його забезпечення, але прошарки фази, що утворюється при цьому, повинні бути дуже тонкими. Зв'язок між компонентами в композиційних матеріалах на неметалічній основі здійснюється за допомогою адгезії.

Композиційні матеріали на неметалічній основі мають хорошу технологічність, відрізняються низькою щільністю, високою питомою міцністю і жорсткістю, високою корозійною стійкістю, антифрикційними властивостями.

Застосовують композиції з полімерною матрицею: епоксидною, фенолоформальдегідною, поліамідною. Як зміцнювачі цих матриць

використовують високоміцні і високомодульні вуглецеві і борні, скляні і органічні волокна у вигляді ниток, джгутів, стрічок, нетканих матеріалів.

Композиційні матеріали на металевій основі. Перевагою композиційних матеріалів на металевій основі є вищі значення характеристик, які значно залежать від властивостей матриці. Найперспективнішими матеріалами для матриць металевих композиційних матеріалів є метали, які мають невелику щільність (Al, Mg, Ti) і сплави на їх основі.

Матеріали з Al матрицею армують сталевим дротом (КАС), борним волокном (ВКА) і вуглецевим волокном (ВКУ). Для матриці використовують технічний алюміній (АД1), сплави АМг6, В95, Д20.

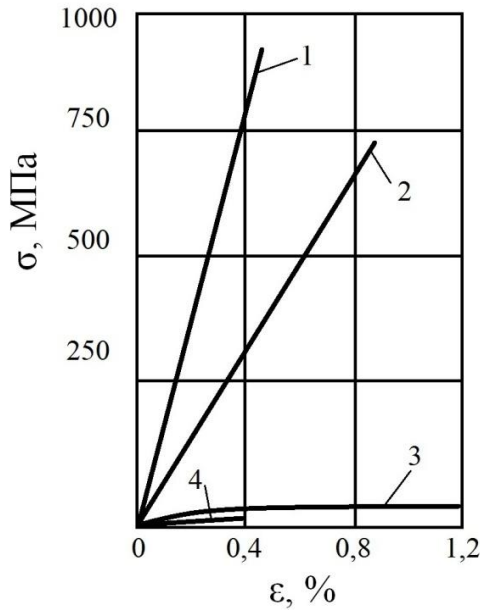
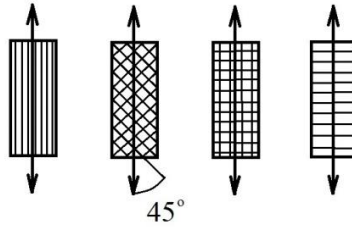
Матеріали з магнієвою матрицею (ВКМ) характеризуються меншою щільністю ($1800...2200 \text{ кг/м}^3$), ніж з алюмінієвою, при такій же високій міцності ($1000...1200 \text{ МПа}$). Сплави магнію (МА2), армовані борним волокном (50%), піддаються деформуванню і мають високу питому міцність.

Використовують матеріали на титановій (ВКТ) і нікелевій матриці (ВКН).

Композиційні матеріали застосовують в авіації, ракетній і космічній техніці для виготовлення закрилків літаків, стабілізаторів, лопатей гвинтів і контейнерів гвинтокрилів, корпусів і камер згоряння реактивних двигунів.

Використовування композиційних матеріалів в конструкціях літаків зменшило їх масу на 30...40%, збільшило корисне навантаження без зниження швидкості і дальності польоту.

У волокнистих композитах основне навантаження витримує зміцнювальний компонент – волокно, а частину навантаження – матриця. При цьому найбільш високі показники модуля пружності та міцності мають композити, в котрих напрям безперервних волокон співпадає з вектором розтягувального навантаження (рис. 2.1), при орієнтації волокон під кутом 45° до вектора розтягувальних зусиль ці показники знижуються у 2,5 рази, при взаємно перпендикулярному і поперечному армуванні ефект зміцнення волокон гранично низький.



1 – поздовжнім; 2 – під кутом 45°; 3 – взаємно перпендикулярним;
4 – поперечним

Рисунок 2.1 – Залежність між напругою і деформацією при розтягуванні епоксидного карбопластика з різним напрямком укладання волокон (Ю.М. Лахтін).

Схема деформації композиту – поліефірної матриці з повздовжніми волокнами наведена на рисунку 2.2. На ньому позначено три зони деформації ε . У першій зоні (I) матриця, волокно і композит в цілому деформуються пружньо, але напруги в матриці 3 приблизно у

10 разів менші, ніж у волокнах 1, які несуть основне навантаження. У другій зоні (II) починається пластичне деформування матриці (залежність $\sigma = f(\varepsilon)$ перестав бути лінійною), однак волокна деформуються пружно. В третій зоні (III) починається руйнування (розрив) окремих волокон; навантаження на волокна, які залишилися зростають, при цьому напруження, яке витримує композит (крива 2), починає знижуватися і відбувається його руйнування.

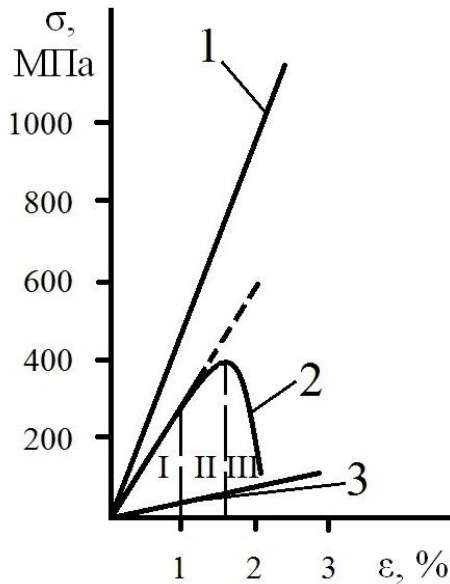


Рисунок 2.2 – Діаграма $\sigma = f(\varepsilon)$ для: 1- скловолокна; 2 – КМ; 3 - поліетіленової матриці (Т. Фудзії, М. Дзако).

У зв'язку з тим, що волокна в композиті міцно зв'язані з матрицею і деформуються разом із нею, має місце рівняння деформацій:

$$\varepsilon_M = \varepsilon_B = \varepsilon_{KM}, \quad (2.1)$$

де ε_M – ступінь деформації матриці;

ε_B – ступінь деформації волокна;

ε_{KM} – ступінь деформації композиційного матеріалу.

Відповідно, зовнішнє навантаження, що діє на композит в напрямі вісі волокон $P_{\text{КМ}}$ буде дорівнювати сумі навантажень, які приходяться на волокна $P_{\text{В}}$ і на матрицю $P_{\text{М}}$:

$$P_{\text{КМ}} = P_{\text{В}} + P_{\text{М}}, \text{ МН} \quad (2.2)$$

Показники міцності композиційного матеріалу відповідають правилу адитивності та дорівнюють:

$$\sigma_{\text{В}}^{\text{КМ}} = \sigma_{\text{В}}^{\text{М}} \cdot V_{\text{М}} + \sigma_{\text{В}}^{\text{В}} \cdot V_{\text{В}}, \text{ ГПа} \quad (2.3)$$

де $V_{\text{М}}$ – об’ємна частина матриці, в долях одиниці;

$V_{\text{В}}$ – об’ємна частина волокон, в долях одиниці.

Відповідно до рівняння (2.3), модуль нормальної пружності композиційного матеріалу:

$$E_{\text{КМ}} = E_{\text{М}} \cdot V_{\text{М}} + E_{\text{В}} \cdot V_{\text{В}}, \text{ ГПа} \quad (2.4)$$

Густина композитного матеріалу розраховується за правилом адитивності:

$$\rho_{\text{КМ}} = \rho_{\text{В}} \cdot V_{\text{В}} + \rho_{\text{М}} \cdot V_{\text{М}}, \text{ Т/М}^3 \quad (2.5)$$

де $\rho_{\text{В}}$ – густина матеріалу волокон;

$\rho_{\text{М}}$ – густина матеріалу матриці.

Рівняння (2.3), (2.4) і (2.5) дозволяють проектувати устрій та розраховувати границю міцності, модуль нормальної пружності та густину волокнистих композиційних матеріалів, виходячи із властивостей матриці та волокон і співвідношення між їхніми питомими об’ємами. При цьому необхідно враховувати, що максимально допустима об’ємна доля волокон не повинна перевищувати 80 %, тому що при більш високому їх вмісті виникають проблеми на межі розділу «волокно-матриця», що знижує механічні властивості композиційного матеріалу.

Обладнання, інструменти, матеріали

1. Оптичний мікроскоп.
2. Зразки волокнистих композиційних матеріалів.
3. Фотографічні зображення структур композиційних матеріалів.
4. Калькулятори.

Завдання до розрахунково-графічної роботи

Індивідуальні завдання складаються з питань, які у повному обсязі не розглядаються в процесі читання лекцій та проведення лабораторних робіт, але становлять складову частину дисципліни «Основи формування структури та властивостей порошкових і композиційних матеріалів».

Розрахунково-графічне завдання оформлюється відповідно до вимог ЄСКД, ЄСТД, а також ДСТУ 3008-95. Пояснювальна записка до розрахунково-графічного завдання становить поєднання теоретичної та розрахункової частин, які об'єднуються загальними висновками, і оформлюється студентом на аркушах формату А4. захист розрахунково-графічного завдання проводиться у встановлений керівником термін. Завдання до розрахунково-графічної роботи надані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Варіанти розрахунково-графічного завдання

№ вар.	Матеріал матриці	Матеріал для армування		
		волокно	дріт	ниткоподібні кристали
1	Al-сплав 2024 (без т.о.) $\rho = 2,77 \text{ т/м}^3$; $\sigma_B = 0,190 \text{ ГПа}$; $E = 70 \text{ ГПа}$.	борне	сталевий	оксиду алюмінію
2		вуглецеве	титановий	карбїду кремнію
3		карбїд кремнієве	вольфрамовий	нітриду кремнію
4	Al-сплав 384 (литий) $\rho = 2,70 \text{ т/м}^3$; $\sigma_B = 0,320 \text{ ГПа}$; $E = 70 \text{ ГПа}$.	борне	сталевий	оксиду алюмінію
5		вуглецеве	титановий	карбїду кремнію
6		карбїд кремнієве	вольфрамовий	нітриду кремнію
7	Al-сплав 6061 $\rho = 2,70 \text{ т/м}^3$; $\sigma_B = 0,130 \text{ ГПа}$; $E = 65,37 \text{ ГПа}$.	борне	сталевий	оксиду алюмінію
8		вуглецеве	титановий	карбїду кремнію
9		карбїд кремнієве	вольфрамовий	нітриду кремнію

Порядок виконання завдання

1. Ознайомитись із зовнішнім виглядом та устроєм композитів.
2. Вивчити структуру волокнистих композитів на оптичному мікроскопі та фотознімках.
3. Уважно ознайомитись з літературними даними, які наведено у таблицях 2.2-2.5.

Таблиця 2.2 – Властивості волокон, дроту і ниткоподібних кристалів для армування композиційних матеріалів [8].

Матеріал	t, °C	ρ, т/м ³	σ _в	E	σ _в /(ρg)	E/(ρg)·10 ⁻³
			ГПа		кМ	
Волокно:						
борне	2040	2,63	2,45-3,43	372,0-411,0	95-133	14,4-15,9
вуглецеве	3000	1,70	1,96-2,96	196,0-296,0	117-176	11,7-17,4
карбїду кремнію	2827	3,21	1,96-3,92	451,0	62-124	14,3
оксиду алюмінію	2054	3,96	2,06-2,55	490,0	52-65	12,6
оксиду цирконію	2677	6,27	2,35-2,65	461,0	39-43	7,4
Дріт:						
берилієвий	1284	1,84	0,98-1,25	284,0	55-65	15,7
вольфрамовий	3400	1,93	4,11	392,0	21	2,0
сталевий	1300	7,80	3,53-3,92	196,0	45-51	2,5
титановий	1668	4,50	1,47-1,96	117,9	33-41	2,6
Ниткоподібні кристали:						
оксиду алюмінію	2054	3,96	27,4	490,0	710	12,6
нітриду алюмінію	2400	3,30	14,7	372,0	455	11,5
карбїду кремнію	2650	3,21	36,2	569,0	1150	18,0
нітриду кремнію	1900	3,18	14,7	485,0	472	15,6

Таблиця 2.3 – Властивості волокон і матричних алюмінієвих сплавів [9].

Матеріал	ρ , г/м ³	σ_B	$E \cdot 10^{-3}$
		ГПа	
Монокристалічні волокна кінцевої довжини («вуса»)			
Al ₂ O ₃	3,96	4,1-24,1	0,41-1,03
SiC	3,17	13,8-41,5	0,48-1,03
Si ₃ N ₄	3,16	4,8-13,8	0,28-0,38
Безперервні волокна			
S-скло	2,50	4,5	0,09
SiO ₂	2,19	5,9	0,07
B	2,63	3,1	0,40
Борсік	2,70	2,8	0,40
SiC	3,35	2,8	0,45
C	1,90	2,1	0,34
Be	1,83	1,3	0,24
Сталь	7,70	4,1	0,19
W	19,4	4,1	0,41
Матричні алюмінієві сплави			
2024 * ¹	2,77	0,19	0,07
2024 * ²	2,77	0,48	0,07
6061 * ¹	2,70	0,13	0,07
A384 (литий)	2,70	0,32	0,07
6061 * ²	2,70	0,31	0,07

Примітки:

*1 - Сплав не піддавався термічній обробці.

*2 - Сплав піддавався термічній обробці.

Таблиця 2.4 – Механічні властивості армованих вздовж однієї вісі композиційних матеріалів з алюмінієвої матрицею [10].

Композиційний матеріал	Наповнювач		ρ , т/м ³	σ_B (ρg), кМ	E, ГПа	$E/(\rho g) \cdot 10^{-3}$, кМ	σ_B , МПа (20 °С)	σ_{-1} , МПа (на базі 10^7 циклів)
	Матеріал	Кількість, %						
ВКА-1	Борне волокно	50	2,65	45	240	9	1200	600
ВКУ-1	Вуглецеве волокно	30-40	2,2-2,3	42	270	12	900-1000	200
КАС-1	Стальний дріт	40	4,8	33	120	2	1600	350

Таблиця 2.5 – Механічні властивості композиційного матеріалу алюмінієвий сплав 6061 – берилієвий дріт [8].

Об'ємна частка волокна, %	σ_B	$\sigma_{шц}$	E	δ , %
	ГПа			
0	0,27	0,18	65,37	5,3
35	0,54	0,29	150,9	6,7
43	0,60	0,31	165,6	9,2
50	0,66-0,69	0,31	186,2-196,0	3-7,6

4. Для кожного варіанту завдання, з урахуванням властивостей матриці відповідно до завдання (див. табл. 2.1) та даних таблиць 2.2-2.5 для волокон (ρ_B, σ_B^B, E_B), визначити $\sigma_B^{KM}, E_{KM}, \sigma_B^{KM}/\rho_{KM}g$ і $E_{KM}/\rho_{KM}g$ конкретного композиційного матеріалу зі збільшенням в ньому армувального матеріалу від 0 до 50%. Результати розрахунків занести до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Вплив об'ємного вмісту армувального матеріалу на властивості композиційного матеріалу з алюмінієвою матрицею

Властивості композиційного матеріалу	Вміст армувального матеріалу, об. %					
	0	10	20	30	40	50
	ВОЛОКНО					
σ_B^{KM} , МПа						
E_{KM} , ГПа						
ρ_{KM} , Т/М ³						
$\sigma_B^{KM} / \rho_{KM} g$, КМ						
$E_{KM} / \rho_{KM} g$, КМ						
	дріт					
σ_B^{KM} , МПа						
E_{KM} , ГПа						
ρ_{KM} , Т/М ³						
$\sigma_B^{KM} / \rho_{KM} g$, КМ						
$E_{KM} / \rho_{KM} g$, КМ						
	ниткоподібні кристали					
σ_B^{KM} , МПа						
E_{KM} , ГПа						
ρ_{KM} , Т/М ³						
$\sigma_B^{KM} / \rho_{KM} g$, КМ						
$E_{KM} / \rho_{KM} g$, КМ						

5. Порівняти характер отриманих розрахункових результатів з літературними даними (див. табл. 2.2-2.5).

6. За даними таблиці 2.6 побудувати графіки залежностей «властивості композиційного матеріалу – вид і вміст армувального матеріалу».

7. Детально ознайомитись з даними таблиць 2.7-2.9 та зробити висновки щодо властивостей композиційних матеріалів залежно від напрямку зусилля розтягування.

Таблиця 2.7 – Механічні властивості композиційного матеріалу «алюмінієвий сплав 6061 – Ве» в напрямку під кутом до вісі укладання волокон [8].

Об'ємна частка волокна, %	Кут укладання волокон, °	σ_b	$\sigma_{щ}$	E	δ , %
		ГПа			
35	30	0,33	0,16	148,0	2,1
35	45	0,27	0,13	122,5	1,7
35	60	0,26	0,13	116,6	0,5
35	90	0,26	0,18	123,5	0,3
43	45	0,30	0,09	130,3	0,6
43	90	0,26	0,11	142,1	0,2

Таблиця 2.8 – Властивості при розтягненні композиційних матеріалів з металевою матрицею, отриманою фірмою TRW [8].

Діаметр волокон, мкм	Об'ємна частка волокон %	Матриця (тип волокон)	Стан матеріалу	В повздовжньому напрямку			В поперечному напрямку		
				σ_B	$E \cdot 10^{-3}$	$\delta, \%$	σ_B	$E \cdot 10^{-3}$	$\delta, \%$
				ГПа			ГПа		
100	40	Алюмінієвий сплав 6061 (бор)	A* ¹	1,20	0,2	0,7	0,11	0,11	0,3
	40	—//—	Б* ²	1,3	-	-	0,17	-	-
	50	—//—	А	1,47	0,23	0,7	0,11	0,14	0,3
	50	—//—	Б	1,51	-	-	0,15	-	-
	60	—//—	А	1,78	0,26	0,7	0,11	0,16	0,3
	60	—//—	Б	1,72	-	-	0,15	-	-
	50	Алюмінієвий сплав 7075 (бор)	А	1,36	0,23	0,6	0,10	-	-
50	—//—	Б	1,54	0,22	0,7	0,23	-	-	
140	40	Алюмінієвий сплав 6061 (бор)	А	1,28	-	-	0,16	0,11	0,4
	40	—//—	Б	1,39	-	-	0,23	0,12	0,5
	50	—//—	А	-	-	-	0,15	0,11	0,4
	50	—//—	Б	-	-	-	0,30	0,14	0,6
	60	—//—	А	1,79	-	-	0,19	0,16	0,3
	60	—//—	Б	1,75	-	-	0,32	0,16	0,4
200	50	Алюмінієвий сплав 6061 (бор)	А	1,54	0,23	0,8	0,13	0,14	0,7
	50	—//—	Б	1,63	0,23	0,8	0,25	0,14	0,2
106	30	Титановий сплав Ti+6Al+4V (борсик)	А	1,06	0,19	0,6	-	-	-
	40	—//—	А	1,10	-	-	-	-	-
	50	—//—	А	1,13	0,26	0,5	0,27	0,20	0,4
	60	—//—	А	1,17	-	-	-	-	-

145	30	Титановий сплав Ti+6Al+4V (борсик)	A	1,21	0,20	0,7	0,58	0,18	2,7
	50	—//—	A	1,34	0,26	0,6	0,45	0,21	0,8

Примітки:

*1 А – матеріал не піддавався термічній обробці.

*2 Б – матеріал піддавався термічній обробці.

Таблиця 2.9 – Властивості композиційних матеріалів з матрицею зі сплаву Ti+6Al+4V, армованого берилієвим дротом, при розтягненні при кімнатній температурі [9].

Метод отримання матеріалів	Берилієвий дріт			Композиційні матеріали			
	Склад	Діаметр, мм	σ_B , ГПа	σ_B	$\sigma_{0,2}$	$E \cdot 10^{-3}$	Об'ємний вміст, %
				ГПа			
Гаряче вакуумне пресування: дроту і листа з канавками	Метал хімічної чистоти	1,5	0,64	0,70 *1	0,62 *1	0,19 *1	50
—//—	—//—	1,5	0,64	0,41 *2	-	0,13 *1	50
дроту і фольги	—//—	1,5	0,64	0,79 *1	0,57 *1	0,21 *1	50
—//—	Метал з додаванням 2% BeO	0,5	0,96	0,92 *1	0,60 *1	0,18 *1	43
—//—	—//—	0,5	0,96	0,35 *2	-	-	43
Спільна екструзія і прокатка	—//—	9,5	0,60	0,80 *1	0,50 *1	0,17 *1	38
—//—	—//—	9,5	0,60	0,75 *2	-	0,17 *2	38

Спільна екструзія	—//—	9,5	0,60	0,75 ^{*1}	0,45 ^{*1}	0,18 ^{*1}	40
—//—	—//—	9,5	0,60	0,52 ^{*2}	-	-	40
—//—	—//—	9,5	0,60	0,62 ^{*2}	-	0,13 ^{*3}	40

Примітки:

*1 Властивості вздовж вісі волокон.

*2 Властивості в поперечному напрямку.

*3 Властивості вздовж вісі волокон при температурі 315 °С.

8. За даними таблиці 2.10 побудувати графіки залежностей «властивості композиційного матеріалу – температура» для різного вмісту армувальних волокон. Зробити висновки.

Таблиця 2.10 – Властивості композиційного матеріалу «алюмінієвий сплав X7002-Be» при різних температурах [8].

Об'ємна частка волокна, %	σ_b , ГПа					E , ГПа				
	при температурі, °С									
	20	120	200	250	300	20	120	200	250	300
0	0,35	0,34	0,25	-	0,13	68,6	68,6	63,4	56,4	-
10	0,41	-	-	-	-	89,6	88,2	86,2	77,4	59,8
22	0,47	0,41	0,33	0,29	0,22	118,6	117,6	114,7	109,8	-
40	0,55	0,50	0,41	0,38	0,33	172,5	-	-	-	-

Зміст звіту

1. Записати вихідні дані для персонального варіанту розрахунково-графічного завдання.

2. Послідовно провести та викласти основні етапи розрахунків та занести їх до таблиці 2.6.

3. Побудувати графіки залежностей: «властивості композиційного матеріалу – вид і вміст армувального матеріалу», «властивості композиційного матеріалу – температура».

4. Навести висновки щодо впливу кількості волокон та їх розподілення по відношенню до напрямку навантаження на механічні властивості композиційних матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Композитні та порошкові матеріали: навч. посіб. / П.П.Савчук, В.П. Кашицький, М.Д. Мельничук, О.Л. Садова; за заг. ред. П.П. Савчука. – Луцьк: ФОП Теліцин О.В. - 2017. – 368 с.
2. Копань В. Композиційні матеріали: навч. посіб. ВНЗ /В.Копань; К.: Пульсари, 2004. – 193 с. 8.
3. Нові матеріали та композити: навчальний посібник / Ю.А.Буренніков, І.О. Сивак, С.І. Сухоруков – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 158с.
4. Солнцев Ю.П. Спеціальні конструкційні матеріали: Підручник / Ю.П. Солнцев, С.Б. Беліков, І.П. Волчок, С.П. Шейко. Під наук. редакцією І.П. Волчка. – Запоріжжя: Валпіс-Поліграф, 2010. – 536 с.
5. Волчок І.П., Плескач В.М., Шестаков І.А. Сучасні виробничі технології у машинобудуванні та металургії: Навч. посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, Дике Поле, 2006. – 360 с.
6. Robert F.Mehl. Atlas of Microstructures of Industrial Alloys. – USA.- 1972 – 351p.
7. *Huppman W. J., Dalal K. Metallographie Atlas of Powder Metallurgy. Verlag Schmid GmbH, Freiburg i. Br. – 1986*
8. Schumann H. Metallographie. - Leipzig: Dt. Verl. Für Grundstoffind., 1990. – 764 p
9. ATLAS OF CAST METAL-MATRIX COMPOSITE STRUCTURES / Jerzy Sobczak, Natalia Sobczak, Rajiv Asthana, Andrzej Wojciechowski, Krystyna Pietrzak, Dariusz Rudnik. – Poland- 2007. – 148p.