

Лекція 2 СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ КАРБОНІЗОВАНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

1 Антифрикційні вуглеграфітові матеріали

Антифрикційні вуглеграфітові матеріали класифікуються за технологічними ознаками на дві групи.

До першої групи відносяться матеріали, при виробництві яких в якості звязуючого використовується кам'яновугільний пек. Перша група має позначення АТ (антифрикційний обпалений) і АГ (антифрикційний графітований).

До другої групи відносяться матеріали на основі звязуючих, які є штучними смолами. Матеріали цієї групи маркуються або АФГ (антифрикційний графітопласт) або АМС (матеріали на основі елементоорганічних термореактивних смол і різних добавок).

Матеріали першої групи досить пористі. Пористість матеріалів марки АТ досягає 16 - 20%, марки АГ - 12-17%.

Пористу структуру цих матеріалів заповнюють методом просочення або смолами, або металевими сплавами. Просочення смолами забезпечує підвищення механічної міцності, зниження газо- і водопроникності.

Просочення металевими сплавами дозволяє їх використання в умовах відсутності мастила в різних середовищах - воді, рідкому паливі, фреоні і так далі. Як металеві сплави зазвичай використовуються баббіти, бронзи.

Матеріали цієї групи мають деформацію руйнування 1-2%, коефіцієнт тертя 0,05-0,10. Характеристики матеріалів цієї групи приведені в таблиці 7.13 – 7.16.

Таблиця 7.13 - Властивості обпалених і графітованих антифрикційних матеріалів

Марка	Щільність, г/см ³	Межа міцності, кгс/см ²		Модуль пружності при стискуванні, 10 ⁵ кгс/см ²	Коефіцієнт теплопровідності (20°С), ккал/м·год·°С	Коротка технологія
		При стискуван ні	При вигині			
АО-1500	1,65-1,70	1500-1800	600-800	1,6	20	Пресування під тиском 1500кгс/см ²
АО-600	1,60-1,65	1100-1500	500-700	1,4	20	Пресування під тиском 600кгс/см ²
АО-1500-СО5	2,70-3,00	2600-2800	1000-1200	1,7	30	Просочення сплавом свинцю (95%) і олова (5%)
АО-1500-Б83	2,60-2,90	2500-2700	900-1000	1,7	30	Просочення бабітом марки Б83
АГ-1500	1,70-1,80	800-1000	400-500	1,3	50	Пресування під тиском 1500кгс/см ²
АГ-600	1,65-1,75	600-800	350-400	1,0	50	Пресування під тиском 600кгс/см ²
АГ-1500-СО5	2,50-3,10	1500-1600	600-750	1,35	70	Просочення сплавом свинцю (95%) і олова (5%)
АГ-1500-Б83	2,40-2,80	1400-1500	500-600	1,35	70	Просочення бабітом марки Б83
АГ-1500-БрС30	2,20-2,50	1500-1600	600-700	1,32	65	Просочення свинцевою бронзою
ЭГ-О-Б83	2,80-3,20	800-900	220-260	0,6	70	Просочення бабітом марки Б83

Таблиця 7.14 - Властивості графітофторопластових антифрикційних матеріалів

Показники	7В-2А	АФГМ	АФГМ-80ВС
Щільність, г/см ³	1,9-2,0	2,1-2,3	2,05-2,15
Водопоглинання, %	0-0,1	0-0,02	0-0,05
Межа міцності при стискуванні, кгс/см ²	350-580	150-260	110-190
Межа міцності при вигині, кгс/см ²	200-300	100-150	-
Твердість, кгс/см ²	8,5-12,9	6,7-14,3	6,0-9,5
Коефіцієнт теплопровідності (20°С), ккал/м·ч·°С	7-15	1,0-1,5	0,5-1,0
Коефіцієнт термічного розширення 10 ⁻⁶ /К	1,5-2,5	4,0-7,0	8,0-13,0
Модуль пружності при стискуванні, 10 ⁵ кгс/см ²	0,09-0,12	0,07-0,10	0,06-0,09
Допустима робоча температура, °С	250	180	200
Гнучкість	Погана	Хороша	Дуже хороша

Таблиця 7.15 - Властивості графітофторопластових антифрикційних матеріалів

Показники	АМС-1	АМС-3
Щільність, г/см ³	1,76-1,80	1,78-1,80
Межа міцності при стискуванні при 20°С, кгс/см ²	1500-1600	1000-1100
Межа міцності при стискуванні при 200°С, кгс/см ²	300-400	260-320
Водопоглинання, вес. %	0,1-0,2	0,01
Коефіцієнт теплопровідності (20°С), ккал/м·ч·°С	3-5	10-15
Коефіцієнт термічного розширення, 10 ⁻⁶ /К	3-5	3-5
Допустима робоча температура, °С більш 1000годин	180-200	180-200
Допустима робоча температура, °С більш 100годин	270-350	270-350
Коефіцієнт тертя	0,05-0,20	0,09-0,25

Таблиця 7.16 - Властивості графітофторопластових антифрикційних матеріалів

Показники	НИГРАН	НИГРАН-В	ПРОПАГ	АГПФ-300
Щільність, г/см ³	1,65-1,70	1,80-1,85	1,90-1,95	1,90-1,93
Межа міцності при стискуванні, кгс/см ²	900-1200	1400-1600	1200	800
Межа міцності при вигині, кгс/см ²	300-400	500-600	350	250
Газопроникність, см ² /сек	0,01-5·10 ⁻³	5·10 ⁻⁵	1·10 ⁻⁵	1·10 ⁻⁵
Коефіцієнт термічного розширення, 10 ⁻⁶ /К	4-5	4-5	3,5-4,5	3,5-4,5
Коефіцієнт теплопровідності (20°С), ккал/м·год·°С	10-15	10-15	50	50
Максимальна робоча температура, °С	-	300	200	300

2 Фрикційні вуглецеві матеріали

До фрикційних матеріалів пред'являються специфічні вимоги, обумовлені умовами гальмування.

Вузли гальмування компенсують усю кінетичну енергію машин і механізмів. Накопичена кінетична енергія, особливо тяжконагружених автомобілів, авіалайнерів, швидкісних залізничних потягів і так далі, витрачається в зоні тертя на процес руйнування фрикційних матеріалів і на нагрів.

Теплова енергія, що виділяється при гальмуванні, забезпечує різке підвищення температури в зоні тертя. Підвищення температури знижує прочностні і трібологічні характеристики фрикційних матеріалів. Тепло, що у зв'язку з цим виділяється, необхідно відвести із зони тертя. Швидкість відведення тепла пропорційно коефіцієнтам теплопровідності матеріалів у вузлах гальмування.

Руйнування фрикційних матеріалів в зоні тертя характеризується утворенням нових поверхонь. Збільшення долі теплової енергії, що

витрачається на руйнування, пов'язане із застосуванням матеріалів, що мають високі значення поверхневої енергії.

Найбільш тепло- і зносостійкими фрикційними матеріалами є композиційні матеріали на основі термостійких смол із застосуванням графіту, різних волокон (базальтових вуглецевих), керамічних наповнювачів типу оксидів, карбідів, силіцидів.

Якнайповніше відповідають встановленим вимогам вуглецеві композити на основі вуглецевих тканин, високомодульних волокон з пековими або комбінованими матрицями. Такі композити мають стабільні характеристики в різних умовах експлуатації.

Властивості фрикційних матеріалів нового покоління приведені в таблиці 7.17

Таблиця 7.17 – Фізико-механічні характеристики вуглецевих фрикційних композитів

Марка	Термар-ФММ	Термар-ДФ	Термар-АДФ
Щільність, г/см ³	1,70-1,75	1,80-1,85	1,80-1,90
Межа міцності, МПа			
- стискування	100-120	120-150	150-200
- вигин	140-160	80-85	130-150
- зрушення	5-10	9-10	15-20
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·°С			
-паралельно осі пресування	15-20	23-25	30-40
-перпендикулярно осі пресування	35-40	50-100	50-60
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 1/°С			
20-200°С		0,5-1,0	0,1
200-400°С		0,8-1,3	0,3
400-600°С		1,1-1,5	0,7
Коефіцієнт тертя	0,35-0,40	1,5-2,0	0,25-0,30
Лінійний знос, мкм/гальмування	0,25-0,50	0,28-0,35	0,50-1,00

Зміна характеристик, приведених в таблиці 7.17 досягається зміною схеми армування композиційного матеріалу, зміною типу вуглецевого наповнювача, матричного матеріалу і технологією отримання.

Досить повно умовам, що накладаються на фрикційні матеріали вузлів гальмування високоенергетичних машин, задовольняють вуглець-алюмінієві композити із вмістом вуглецевих волокон до 20%.

3 Тріботехнічні характеристики вуглець-алюмінієвих композитів

Вуглець-алюмінієві композити мають високу теплопровідність, низьку щільність, високу міцність і зносостійкість. Такий набір характеристик обумовлює застосування цих композитів як фрикційні елементи вузлів тертя високоенергетичних пристроїв.

Отримання вищезгаданих матеріалів можливе як методом рідкофазного поєднання алюмінієвої матриці і вуглецевого волокнистого наповнювача, так і шляхом гарячого пресування вуглецевих волокон спільно з алюмінієвим порошком.

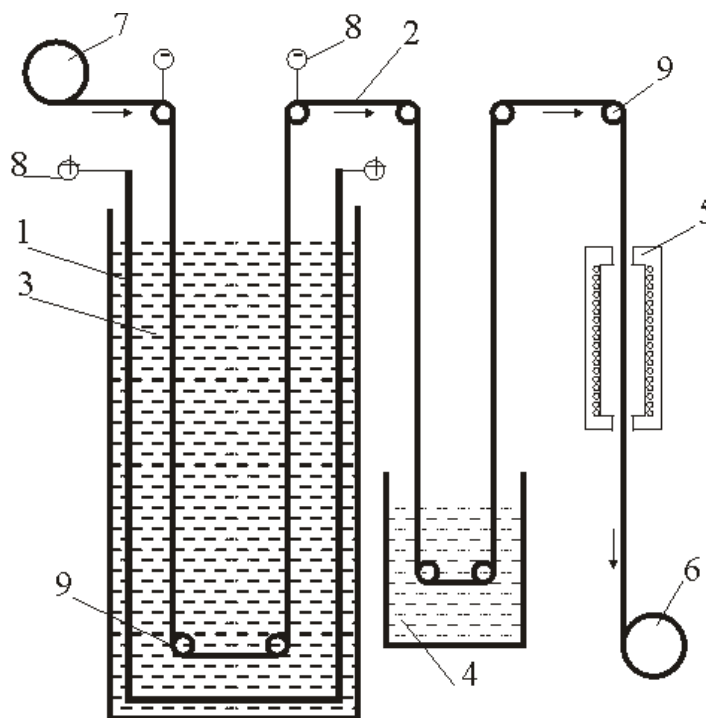
При рідкофазному поєднанні розплаву алюмінію і вуглецевих волокон відбувається хімічна взаємодія, яка при температурі вище 873К призводить до утворення карбїду алюмінію, що знижує механічні характеристики вуглецевих волокон і міцність адгезійних зв'язків на межі "волокно-матриця".

Для запобігання хімічній взаємодії здійснюють нанесення на вуглецеві волокна високотемпературних захисних покриттів на основі міді, нікелю, хрому та ін.

Застосуванням захисних покриттів, прискорюючих змочування волокнистого наповнювача розплавом матричного матеріалу, також досягається підвищення експлуатаційних характеристик цих композитів.

Оцінка можливості безперервного нанесення електролітичних захисних покриттів реалізується експериментальним шляхом. Експериментальні дослідження процесів електролітичного обміднення, хромування і нікелювання проводили на вуглецевих волокнах типу УКН- 5000, приведених у вигляді джгута, що складається з комплексу елементарних волокон.

Для реалізації електролітичного нанесення захисних покриттів розроблена установка, приведена на рис. 7.5. Привід, на змонтованій установці, забезпечує можливість зміни в широкому діапазоні швидкості переміщення вуглецевих волокон, що дозволяє варіювати тривалість нанесення захисних покриттів.



1 - анод; 2 - вуглецеве волокно; 3 - електроліт; 4 - ванна відмивання волокон; 5 - трубчаста піч для сушки волокон; 6 - привід протягання волокна; 7 - бобіна з волокном; 8 - токопідводи; 9 - направляючі ролики

Рисунок 7.5 - Установка для нанесення електролітичних захисних покриттів на вуглецеві волокна

Склади електролітів для обміднення, хромування і нікелювання вуглецевих волокон приведені в таблиці 7.18.

Таблиця 7.18 - Склад електролітів для електролітичного нанесення покриттів на вуглецеві волокна (г/л)

Вид покриття	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	H_2SO_4	HCl	CrO_3	$\text{KF} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	NiSO_4	MgSO_4 ,	KCl
Мідне	200	60	50					
Хромове				400	12			
Нікелеве						70	45	5

Процеси нанесення захисних покриттів на вуглецевих волокнах реалізовані при температурі 20 - 30°C. Параметри процесів електролізу і отриманих покриттів представлені в таблиці 7.19.

Таблиця 7.19 - Параметри електролітичних процесів нанесення покриттів на вуглецеві волокна

Катодний струм, А/дм ²	Напруга, В	Тривалість, с	Тип покриття	Покриття	
				Товщина, 10 ³ , мкм	Коефіцієнт однорідності, k ₀
1	2	3	4	5	6
0,30	2,1	60	мідь	0,011	0,60
0,30	2,1	120	мідь	0,023	0,60
0,30	2,1	180	мідь	0,025	0,50
0,15	0,6	60	мідь	0,004	0,90
0,15	0,6	120	мідь	0,012	0,90
0,15	0,6	180	мідь	0,015	0,80
1,27	10	30	хром	0,002	0,70
1,27	10	60	хром	0,003	0,65
1,27	10	120	хром	0,007	0,60
1,27	10	180	хром	0,010	0,55
1,27	10	240	хром	0,012	0,50
0,58	6	30	хром	0,001	0,95
0,58	6	120	хром	0,004	0,85
0,58	6	180	хром	0,005	0,80

Продовження таблиці 7.19

1	2	3	4	5	6
0,58	6	240	хром	0,006	0,70
0,58	6	300	хром	0,008	0,65
0,123	6	360	нікель	0,200	0,85
0,123	6	600	нікель	0,300	0,75
0,25	10	300	нікель	0,250	0,80
0,25	10	180	нікель	0,470	0,85
0,25	10	120	нікель	0,210	0,98
0,50	18	90	нікель	0,200	0,75

З аналізу даних, приведених в таблиці 7.19 витікає, що якнайповніше вимогам по захисту вуглецевих волокон задовольняють нікелеві покриття, отримані при величині катодного струму $0,25 \text{ А/дм}^2$, напрузі електролізу 10 В і тривалість процесу 120 с .

Оцінка якості захисних покриттів проводиться шляхом визначення розривного навантаження вуглецевих волокон з покриттям і без нього. Розривне навантаження вуглецевих волокон визначається на машині МР- 30. Базова довжина волокон складає $130 - 150 \text{ мм}$, швидкість вантаження - 30 мм/хв . Як приклад приведені криві розподілу розривного навантаження вуглецевих волокон з нікелевим покриттям (рис. 7.6).



1 – без покриття; 2 – з нікелевим покриттям

Рисунок 7.6 - Розподіл розривного навантаження вуглецевих волокон

Оцінка математичного очікування розподілу розривного навантаження для волокон без покриття складає $35,3 \text{ Н}$, волокон з покриттям - $44,7 \text{ Н}$. Оцінка дисперсії розподілу складає відповідно до $35,3$ і $16,6$. Нікелеве покриття забезпечує збільшення середнього значення розривного навантаження волокон практично в два рази.

Для гарячого пресування вуглець-алюмінієвих композитів на основі алюмінієвого порошку ПА- 0 і алюмінієвої пудри ПАП найбільш підходить вуглецеве волокно з нікелевим покриттям. Це покриття має найбільшу однорідність і хорошу проникність. Характеристики матричних компонентів вказаних композитів приведені в табл. 7.20.

Таблиця 7.20 - Хімічний (%) і гранулометричний склад (мкм) матричних матеріалів вуглець-алюмінієвих композитів

Найменування	Al	Fe	Si	Cu	Mn	Волога	Гранулометричний
--------------	----	----	----	----	----	--------	------------------

							склад
ПА-0	98,88	0,50	0,40	0,02	-	0,20	200...250
ПАП	98,99	0,35	0,40	0,05	0,01	0,20	1,0... 30,0

Пресування вуглець - алюмінієвих композитів реалізується в закритій прес-формі при температурі 450 °С і питомому тиску 60 МПа за класичною технологією порошкової металургії. Склад отриманого композиту і його характеристики приведені в таблиці. 7.21.

Таблиця 7.21 - Залежність властивостей пресувань вуглець - алюмінієвих композитів від їх складу

Склад вуглець - алюмінієвих композитів, %			Щільність пресування, г/см ³	Твердість пресування, Н/мм ²	Коефіцієнт тертя, k _{тр}
Углеродное волокно	ПА-0	ПАП			
10	45	45	2,18	570	0,82
15	42	43	2,10	500	0,71
30	40	30	2,07	310	0,49
40	40	20	2,06	240	0,39
60	28	12	1,46	270	0,15

Щільність пресувань вуглець - алюмінієвих композитів визначали методом гідростатичного зважування за стандартною технологією. Твердість (по Брюнелю) визначали на твердомірі типу ТШ-2М з використанням сталеві кульки діаметром 6мм при величині навантаження 1840 Н. Час додатка навантаження - 30с.

На твердість пресування істотний вплив робить вміст вуглецевих волокон. Із збільшенням змісту вуглецевих волокон до 40 - 50% твердість пресування знижується на 60%. При подальшому збільшенні вмісту вуглецевих волокон до 60% твердість пресування зростає на 16% відносно її мінімального значення.

Коефіцієнти тертя визначалися на машині тертя СМТ- 1 по системі "диск-колодка". Диск виконували з сірого чавуну діаметром 60мм, зразок вуглець - алюмінієвого композиту - у вигляді колодки з розмірами 16x11x10мм. Сторона 16x10мм задалегідь притиралася по робочій поверхні

диска. Питомий тиск складав 16кг/см^2 , швидкість відносного ковзання - $3,0\text{м/с}$. Температура в процесі дослідження складала $100 \pm 10^\circ\text{C}$.

З аналізу цих таблиць витікає, що коефіцієнти тертя вуглець - алюмінієвих композитів змінюються в широких межах. Залежно від змісту вуглецевих волокон ці композити можуть застосовуватися як фрикційні, так і антифрикційних матеріалів.