

MATRIZES TRADICIONAIS E MATRIZES ALTERNATIVAS: OS MATERIAIS COMPÓSITOS

ROSANE APARECIDA GOMES BATISTTELE
ADILSON RENOFIO
5ª aula
Parte 1

O que é um material compósito?

Material composto por dois ou mais materiais (matriz e reforço(s), que:

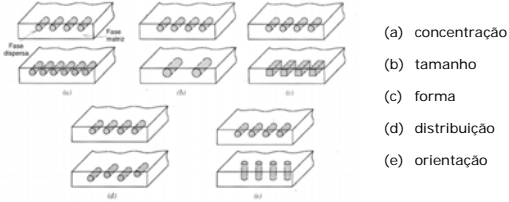
- não sejam miscíveis;
- compatíveis quimicamente;
- propriedades mecânicas complementares;
- propriedades finais do compósito função (mais ou menos linear) das propriedades dos constituintes.

Definição e contexto

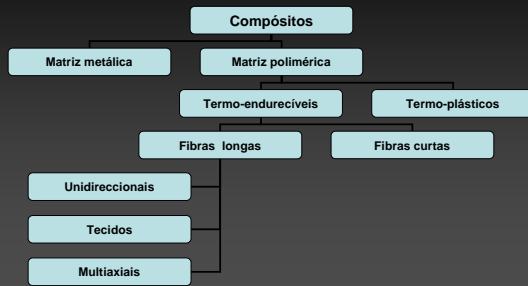
- Materiais com combinações incomuns que não podem ser atendidas pelas ligas metálicas, cerâmicas e polímeros convencionais. Exemplo: resistência mecânica x tenacidade.
- *exibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que constituem o material.*
- *natural*
 - Madeira: fibra de celulose resistentes e flexíveis envolvidas por uma matriz mais rígida chamada lignina
 - Ossos: proteína forte mas mole (colágeno) + mineral duro frágil (apatita)
- *Sintéticos*
- **Definição:** material multifásico feito artificialmente. As fases devem ser quimicamente diferentes e devem estar separadas por uma interface distinta.

Definição e contexto

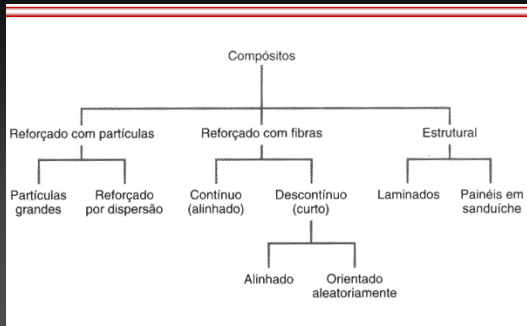
- **Fases:**
 - **matriz**, que é contínua e envolve outra fase, a **fase dispersa**
- **Propriedades:**
 - quantidade relativa das fases constituintes
 - geometria da fase dispersa
 - forma, tamanho, distribuição e orientação das partículas



Definição e contexto



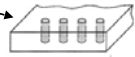
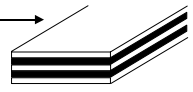
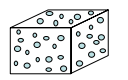
Classificação

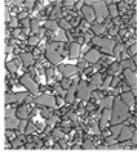


Classificação

- **Fibrosos**
 - fibras contínuas ou descontinuas, ou *wiskers*, colocados em uma matriz. Exemplo: madeiras, ossos, polímeros reforçados com fibras de vidro ou de carbono e metais reforçados com fibras de boro ou SIC.
 - **Laminados**
 - camadas alternadas de materiais diferentes como metais, vidros, tecidos ou papéis impregnados com polímeros
 - **Particulados**
 - os materiais são equiaxiais; podem ter forma esférica. São compostos com uma matriz metálica ou polimérica
-
- **CMP** - compósitos de matriz polimérica
 - **CMC** - compósitos de matriz cerâmica
 - **CMM** - compósitos de matriz metálica

Classificação

- (a) fibrosos 
- (b) laminados 
- (c) particulados 

▪ CMM - WC imerso em uma matriz de Co 

Tipos de materiais compósitos

COMPÓSITOS DE PARTÍCULAS	COMPÓSITOS DE FIBRA	COMPÓSITOS LAMINARES	COMPÓSITOS NATURAIS
- Concreto - Asfalto -Fibro-cimento	- Fibras de carbono, Kevlar, vidro, etc. - Matriz de epoxy, poliéster, PEEK, etc.	- Contraplacado - Laminado de fibras e resina - Sanduiche	- Madeira

Compósitos particulados

Partículas grandes

- a fase particulada é mais dura e mais rígida do que a matriz
- a matriz transfere parte da tensão aplicada às partículas
- Exemplos:
 - **WC+Co**: ferramentas de corte para aços endurecidos: ambas as fases são refratárias = suporta temperaturas elevadas
 - **negro-fumo**: partículas pequenas e esféricas de carbono adicionadas à borracha vulcanizada. Melhora a resistência à tração, a tenacidade, a resistência à abrasão.
 - **Concreto**: agregado de partículas ligadas umas às outras através de um meio de ligação, o cimento. **Portland** = areia, brita e cimento.

Compósitos particulados

Partículas pequenas

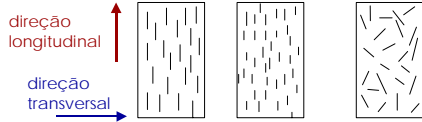
- as partículas pequenas dificultam o movimento de defeitos no material, a deformação plástica é restringida e a resistência à tração e a dureza são melhorados
- Exemplos:
 - Metais ou ligas metálicas endurecidas por meio da dispersão uniforme de uma porcentagem volumétrica de partículas finas de um material inerte e muito duro
 - ThO_2 + ligas de Ni = aumenta a resistência a altas temperaturas

Compósitos fibrosos

- São os mais importantes do ponto de vista tecnológico
- Objetivos
 - alta rigidez e/ou resistência em relação ao seu peso
 - **Resistência específica** = limite de resistência à tração / densidade relativa
 - **Módulo específico** = módulo de elasticidade / densidade relativa
- **Comprimento da fibra (L)**
 - existe um valor crítico (L_c) o qual permite uma melhora efetiva da propriedade mecânica do material = diâmetro da fibra e da ligação entre a fibra e a matriz.
 - fibra de vidro ou carbono $L_c \sim 1\text{mm}$
 - se $L \gg L_c$: fibras contínuas
 - se $L < L_c$: fibras descontínuas ou curtas (pequeno reforço!)

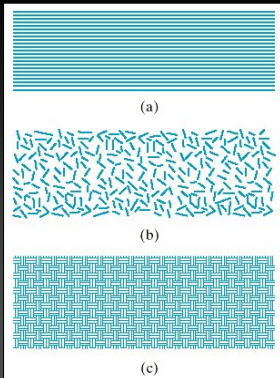
Compósitos fibrosos

- **Orientação e Concentração da fibra**
- tem uma influência significativa sobre as propriedades dos compósitos reforçados com fibras



- alinhamento paralelo ao eixo longitudinal das fibras
 - propriedades anisotrópicas
 - resistência e reforço máximo na direção do alinhamento (longitudinal) e inexistente na direção perpendicular (transversal)
- alinhamento aleatório
 - utilizado quando a direção das tensões são multidirecionais

Arranjos típicos das fibras em cada camada de compósito:



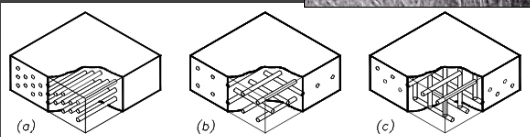
a) Fibras unidirecionais, contínuas;

b) Fibras descontínuas com orientação aleatória;

c) Fibras unidirecionais tecidas ortogonalmente.

Arranjo típico em compósitos laminares:

- a) Compósitos unidirecionais
- b) Compósitos tipo 0/90
- c) Compósitos tipo + β / - β





The glass fiber reinforcement in a fiberglass composite is clearly seen in a scanning electron microscope image of a fracture surface. (Courtesy of Owens-Corning Fiberglass Corporation)

Classificação das fibras

- **Uísqueres (*whysker*)**
 - monocristais muito finos que possuem uma razão comprimento-diâmetro extremamente grande.
 - elevado grau de perfeição cristalina e virtualmente isentos de defeitos = resistência excepcionalmente elevadas.
 - são os materiais mais resistentes que se conhecem

- Não são amplamente utilizados
 - são extremamente caros
 - praticamente impraticável de serem incorporados em uma matriz

- Grafita, Carbetto de Silício (SiC), Nitreto de Silício (SiN), Óxido de Alumínio (Al_2O_3).

Classificação das fibras

- **Fibra de Vidro**
 - $SiO_2 + CaO + Al_2O_3 + B_2O_3 + MgO$
 - fibras de diâmetro 3 a $20\mu m$
 - fácil fabricação e alta resistência
 - econômico e versátil
 - compósito útil para aplicação em ambientes corrosivos.
 - **Limitações:**
 - não são muito rígidos (não podem ser utilizados em peças de aviões e pontes)
 - temperatura de serviço entre $200^\circ C$ e $300^\circ C$ (fibras com alta concentração de sílica e em polímeros de alta temperatura)
 - **Aplicações:**
 - carcaças de meios de transporte automotivo de marítimo
 - tubulações de plásticos
 - recipientes de armazenamento

Composição com matrizes poliméricas (CPM)

- Fibras
 - materiais policristalinos ou amorfos
 - diâmetros pequenos
 - polímeros ou cerâmicas
- aramidas poliméricas, vidro, carbono, boro, óxido de alumínio, carbetto de silício.
- Arames
 - diâmetros grandes
 - aço, molibdênio, tungstênio
 - reforço radial de aço nos pneus de automóveis, carcaças de motores a jato, mangueiras de alta pressão.

Composição com matrizes poliméricas (CPM)

- Fibra de Carbono
 - materiais mais resistentes dentro todos os materiais fibrosos de reforço.
 - grande resistência mesmo a temperatura elevadas
 - não são afetadas pela umidade nem por ácidos, solventes ou bases.
 - múltiplas características físicas e mecânicas
 - custo relativamente baixo e alto custo-benefício
 - diâmetro das fibras: 4 a 10µm
 - *Aplicações:*
 - equipamentos esportivos e de recreação
 - motores a jato
 - componentes estruturais de aeronaves (asas, fuselagem, estabilizados, pá do leme).

Composição com matrizes poliméricas (CPM)

- Fibra de Aramida
 - grupo químico fenila (C + H) + N + O + H
 - materiais de alta resistência a tração, mas relativamente fracos quando submetidos a compressão.
 - nomes comerciais = Kevlar 29, 49 e 129 (comportamentos mecânicos) e Nomex
 - estáveis a temperaturas elevadas
 - faixa de temperatura que se mantém as propriedades mecânicas = -200°C a 200°C.
 - suscetíveis à degradação por ácidos e bases mas relativamente inertes a solventes.
 - diâmetro das fibras: 4 a 10µm
 - *Aplicações:*
 - coletes a prova de bala, artigos esportivos, pneus, cordas, carcaças de mísseis, substituto do amianto em freios automotivos, revestimento de embreagens, etc.

Matrizes metálicas (CMM)

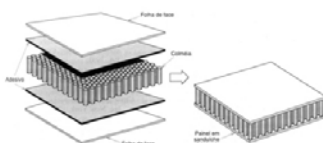
- Podem ser utilizados a temperaturas de serviço mais elevadas do que seus metais-bases análogos.
- Melhora da resistência à abrasão e à fluência; condutividade térmica, estabilidade dimensional.
- Vantagens em relação aos CMP
 - temperaturas operacionais maiores
 - não são inflamáveis
 - resistência contra a degradação a fluidos orgânicos
- Desvantagens em relação aos CMP
 - custo muito maior
- *Aplicações:*
 - componentes de motores de automóveis = liga de alumínio reforçada com fibra de alumina + fibra de carbono.
 - fibras de boro em uma liga de alumínio = reforço de ônibus espacial
 - fibras de grafita em uma liga de alumínio = telescópio Hubble

Matrizes cerâmicas (CMC)

- a inclusão de partículas, fibras ou uisqueres melhora:
 - a resistência à fratura
 - a resistência à choques térmicos
 - a fluência a alta temperatura
- *Aplicações:*
 - ferramentas de corte para usinagem de ligas metálicas duras.

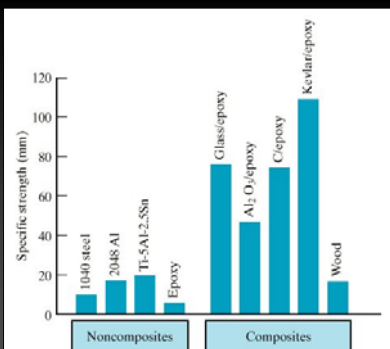
Compositos estruturais

- materiais homogêneos + materiais compósitos
- resultado depende também do projeto geométrico e não só dos materiais constituintes.
- Painéis em Sanduíche
 - folhas externas resistentes (ligas alumínio, plásticos reforçados com fibras, titânio, aço, madeira compensada)
 - recheio no meio = material menos denso (polímeros em espuma, borrachas sintéticas, cimentos inorgânicos, etc)
 - resiste a deformações perpendiculares ao plano da face.
 - rigidez contra o cisalhamento
 - colméia
- *Aplicações:*
 - telhados, pisos, paredes de prédios, aeronaves = asas, fuselagem, revestimentos do leme.



Propriedades mecânicas de fibras

Material Type	Tensile Str. (MPa)	Tensile Modulus (GPa)	Typical Density (g/cc)	Specific Modulus
Carbon HS	3500	160 - 270	18	90 - 150
Carbon IM	5300	270 - 325	18	150 - 180
Carbon HM	3500	325 - 440	18	180 - 240
Carbon UHM	2000	440+	20	200+
Aramid LM	3600	60	145	40
Aramid HM	3100	120	145	80
Aramid UHM	3400	180	147	120
Glass - E glass	2400	69	25	27
Glass - S2 glass	3450	86	25	34
Glass - quartz	3700	69	22	31
Aluminium	460	72	28	26
Titanium	9300	110	45	24
Steel (bulk)	620	207	78	26
Steel (stainless)	1450	197	79	25
Steel (extruded)	2410	207	78	26



A bar graph plot of the data of Table 14.13 illustrates the substantial increase in specific strength possible with composites.

Previsão das propriedades:

Propriedades previsíveis:

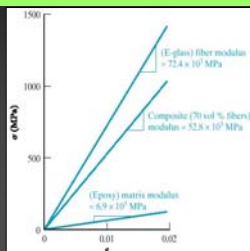
- Densidade
- Módulo de elasticidade
- Condutividade térmica e elétrica

$$\rho_{COMP.} = V_f \rho_f + V_m \rho_m$$

$$E_L = V_f E_f + V_m E_m$$

$$\frac{1}{E_T} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m}$$

A resistência mecânica é fortemente dependente da ligação entre fibra e matriz, sendo por isso, difícil de prever teoricamente!



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A.C. Harper, **Fundamentals of Plastics and Elastomers**, In: Handbook of Plastics and Elastomers, A.C. Harper, Ed., McGraw-Hill, N. York, 1975.
2. P. Ehrburger & J.B. Donnet, **Phil. Trans. Royal Soc. London**, **A294** (1980) 495.
3. F. W. Billmeyer, Jr., **Textbook of Polymer Science**, Wiley-Interscience Pub., N. York, 1984.
4. M. Narkis, Y. Talmor & M. Silverstein, **Polymer**, **26** (1985) 1359.
5. E.B. Mano, **Polímeros como Materiais de Engenharia**, Ed. Edgard Blücher, S. Paulo, 1991.
6. T. A. Oswald & G. Menges, **Materials Science of Polymers for Engineers**, Hanser Pub., Ohio, 1995.
7. V. Premnath et al, **Biomaterials**, **18** (1996) 727.
8. K.K. Chawla, **Composite Materials - Science and Engineering**, Springer-Verlag, N. York, 1998.
9. E.B. Mano & L.C. Mendes, **Introdução à Polímeros**, Ed. Edgard Blücher Ltda, S. Paulo, 1999.
10. M. Jacoby, **Chem & Engng News**, Feb 05, 2001, 30
11. Swamy, R.N (Editor) (1984) - "New reinforced concretes". Surrey University Press, London
12. Bentur A., e Mindess, S. (1990) - "Fibre reinforced cementitious composites". Elsevier Applied Science, England
13. Hull, D., Clyne, T. W. - "Uma introdução aos materiais compósitos", 2ª edição
14. Callister, Jr. , W. D. -"Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução" 5ª edição, editora LTC.
15. Sebastião V. Canevarolo Jr **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. Artlier-ABPol. 1ª reimpressão. São Carlos, 2004.
