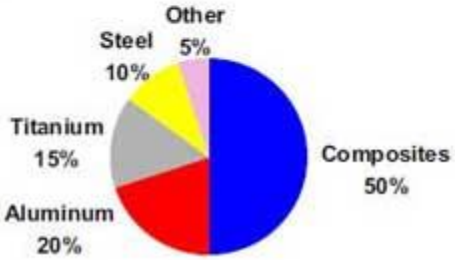
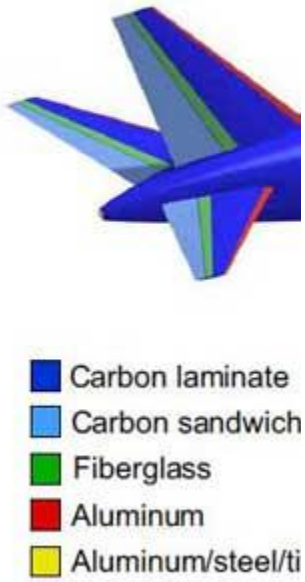
Kompozit Malzemeler

Kompozit Malzemeler

Carbon laminate
Carbon sandwich
Fiberglass
Aluminum
Aluminum/steel/titanium pylons



Kompozit Malzemeler



Kompozit Malzemeler

Kompozit Malzemeler

Tanım:

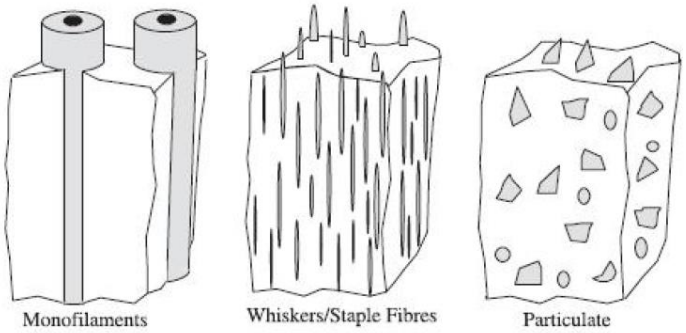
En az 2 farklı malzemenin birbiri içerisinde fiziksel olarak karıştırılmasıyla elde edilen yeni malzemelere **kompozit malzemeler** denir.

Fiziksel karışım!

Kompozit malzemeler alaşım değildir. Bileşenler arasında atom alışverişi bulunmamaktadır. Yani, kimyasal olarak birbirlerini etkilemezler. Eğer bileşenler birbiri içerisinde çözünüyor ise bu malzemelere alaşım denir.

En az 2 farklı malzeme!

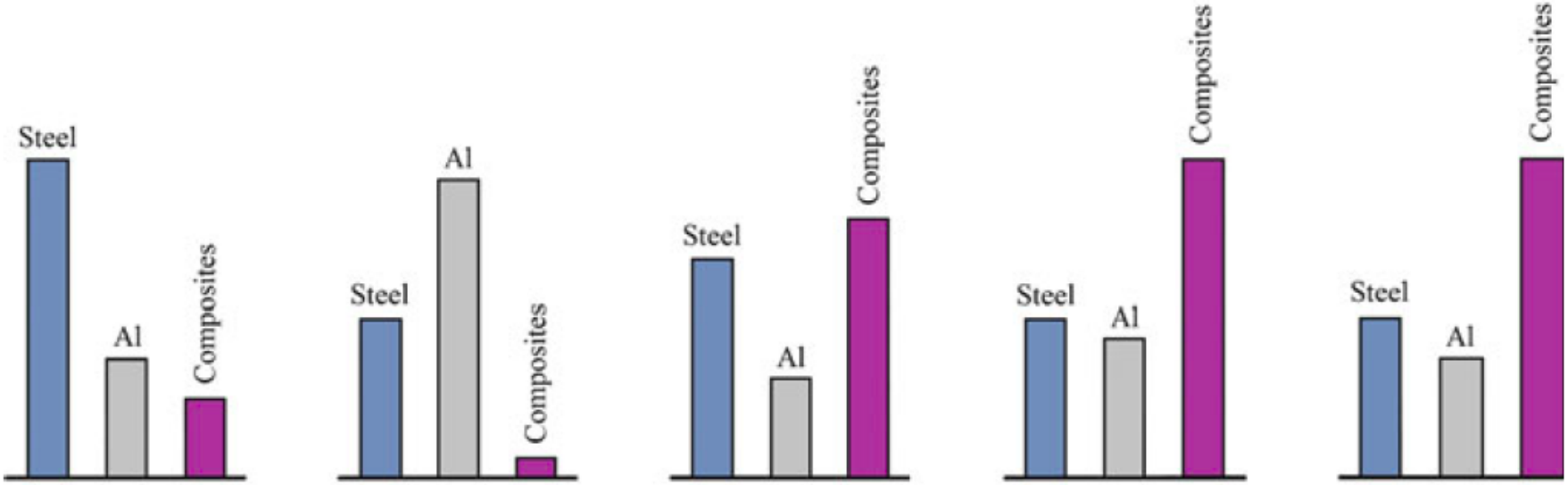
Kompozit malzemeler genel olarak ‘matris’ adı verilen bir ana bileşen ve ‘takviye elemanı’ adı verilen bir başka bileşenden oluşur.



Kompozit Malzemeler

Amaç:

Tek bir malzeme ile elde edilemeyen mekanik (dayanım, tokluk v.b.) ve/veya fiziksel (elektrik iletkenliği, termal iletkenlik v.b.) özelliklerin geliştirilmesi ve biraraya getirilmesidir.



Ağırlık (yoğunluk) | **Termal genleşme** | **Sertlik** | **Dayanım** | **Kırılma direnci**

Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme kriterleri:

1- Çeşitli yöntemlerle üretilmiş (doğal olarak var olan ağaç, kemik gibi kompozit yapılar hariç)

2- 2 veya daha fazla fiziksel ve/veya kimyasal olarak birbirinden farklı, istenildiği gibi düzenlenmiş veya dağıtılmış (disperse), fazdan oluşan

3- Özellikleri bileşenlerinin herhangi biri tarafından elde edilemeyen

Örneğin;
Polimerler iyi işlenilebilirlikleri ve düşük maliyetleri ile öne çıkan malzemelerdir. Ancak elastisite modülleri yalnızca birkaç GPa ve dayanımları da genel olarak 50MPa'ın altında olduğu için yapı malzemesi olarak kullanılamazlar.

Cam fiberler: Elastisite modulü ~ 70 GPa, dayanım ~ 3000 MPa.

Kompozit malzeme (hacimce %50 / %50):
Elastisite modulü ~ 30 GPa, dayanım ~ 1000 MPa.

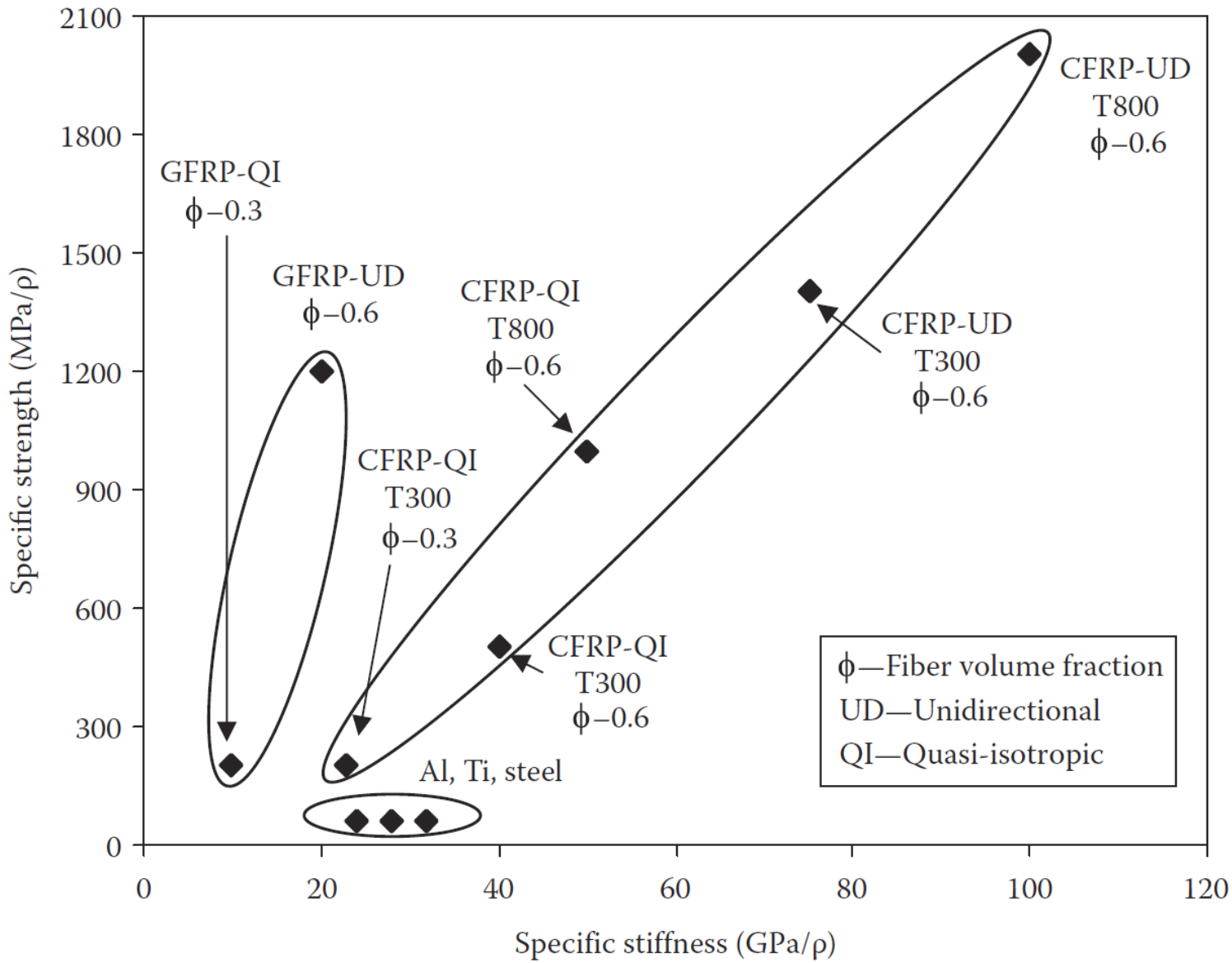
Kompozit Malzemeler

Matris	Takviye elemanı
Kompozit parçaya şeklini verir	Kompozite dayanım, rijitlik ve diğer mekanik özellikleri verir
Takviye elemanlarını çevresel etkilerden korur	Termal genleşme katsayısı, iletkenlik ve termal taşınım gibi diğer bütün özellikleri belirlemede baskın rol oynar
Takviye elemanlarına yük aktarır	
Tokluk gibi hem matris malzemesine hem de takviye elemanına bağlı özelliklere katkı sunar.	

Kompozit Malzemeler

Avantajlar	Dezavantajlar
Hafif	Malzeme maliyeti
Yüksek spesifik sertlik	Belirlenmiş dizayn kurallarının eksikliği
Yüksek spesifik dayanım	Metal ve kompozit tasarımları nadiren değiştirilebilir
İstenilen özellikler (anizotropik)	Uzun geliştirme süreleri
Karmaşık (net) şekillerde üretilebilme kolaylığı	Birleştirici, vida/civata v.b., varlığı/maliyeti
Parçalı üretim ile sistem maliyetinin düşürülmesi	Düşük süneklik
Kolay bağlanabilirlik	Solvent/nem etkisi
İyi kırılma direnci	Kullanılabildiği sıcaklık limitleri
Düşük termal genleşme	Darbelere karşı hassasiyet
Düşük elektrik iletkenliği	Gizli hasarlar (iç çatlak v.b.)

Kompozit Malzemeler



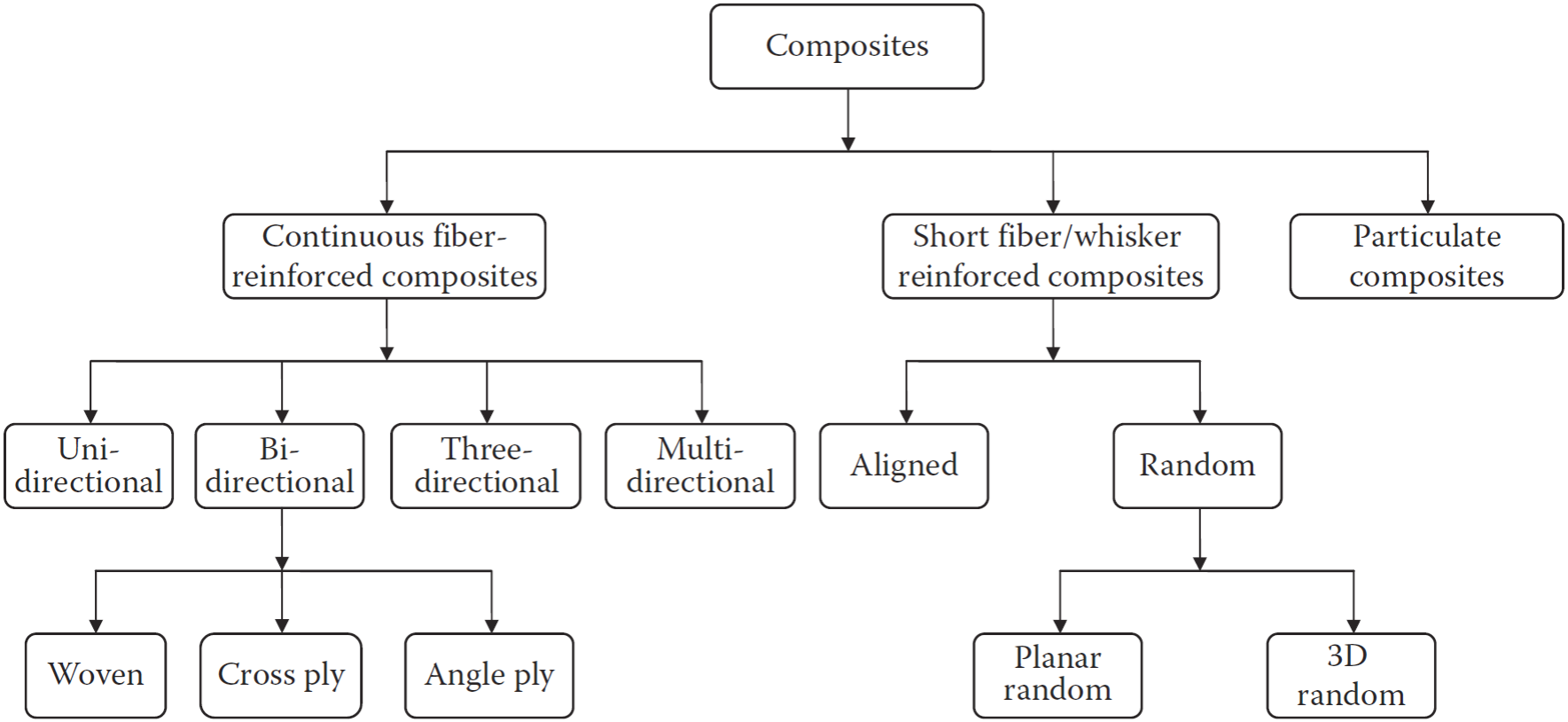
Kompozit Malzemelerin Tarihi

Kompozit malzemeler doğada milyonlarca yıldır var olsa da insan yapımı kompozitlerin tarihi yalnızca 2000 yıl öncesine kadar gitmektedir.

- Eski Mısır'da kil ile samanın karıştırılması ile kerpiç yapımı
- Moğollar tarafından kompozit yaylar: 5 parça ağacın hayvanlardan elde edilen toynak ve kemiklerle birleştirilmesi (üretimi 1 yıl sürüyor).
- Japon samurayların lamine çelikler kullanarak kılıç yapması
- 1937 yılında fiber camın ticari olarak üretimi ile cam fiber takviyeli polimer kompozitlerin geliştirilmesi (modern kompozitlerin başlangıcı)
- 2. Dünya savaşı yıllarında yapılan gelişimler sayesinde 1946 yılında ilk kompozit bot üretimi
- 1961 yılında ilk karbon fiber üretimi ve karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin geliştirilmesi
- 1965 yılında bor fiberlerin ve 1971 yılında aramid (kevlar) fiberlerin geliştirilmesi
- 1970'li yıllardan itibaren metal matrisli ve seramik matrisli kompozitlerin geliştirilmesi ile kompozit endüstrisi olgunluğa ulaştı.

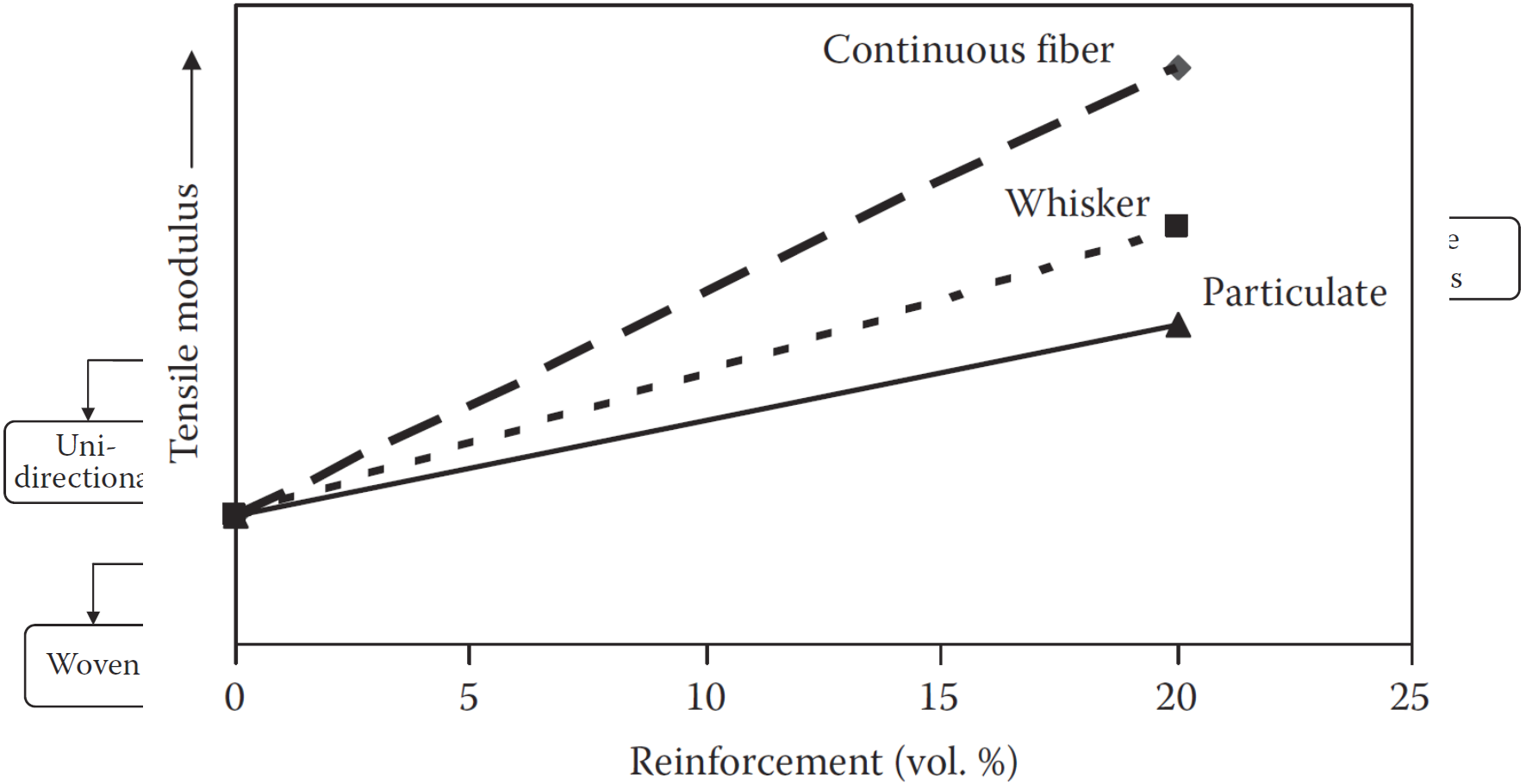
Kompozit Malzemelerin Sınıflarndırılması

Takviye elemanına göre sınıflandırma



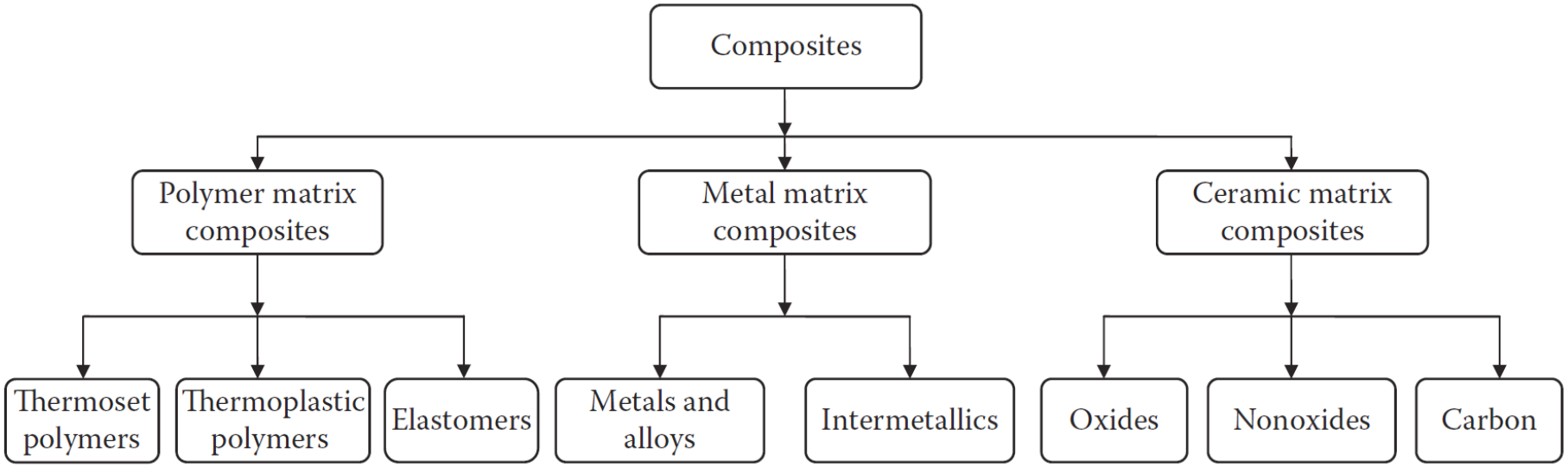
Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Takviye elemanına göre sınıflandırma



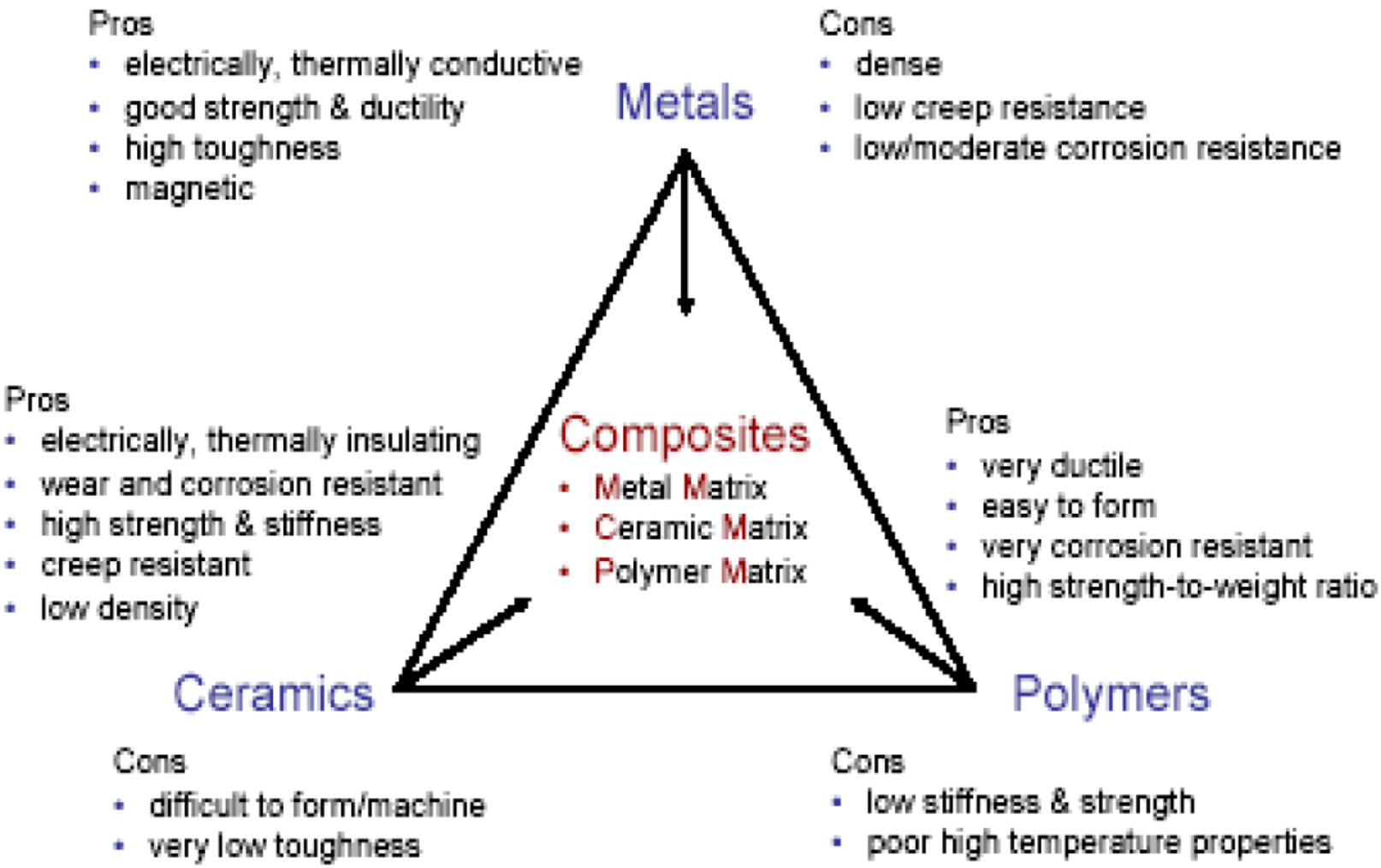
Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Matris malzemesine göre sınıflandırma



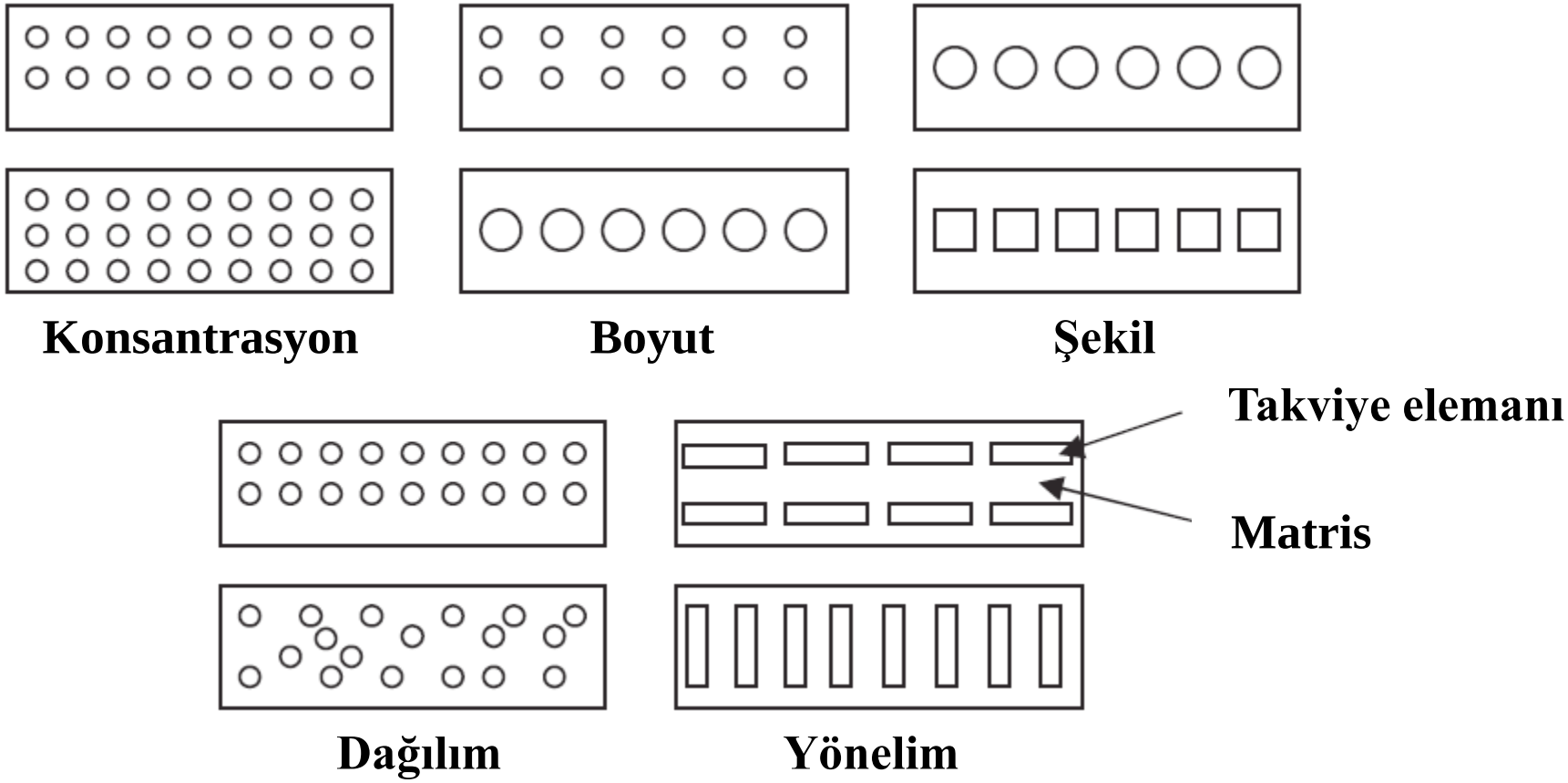
Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Matris malzemesine göre sınıflandırma



Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemelerin özellikleri kompozit bişelenlerinin özelliklerine ve bu bileşenlerin bağıl bileşimine, boyutuna, şekline, dağılımına ve yönelimine bağlıdır.



Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzeme bileşenlerinin bağıl bileşimi ağırlıkça oran ya da hacimce oran şeklinde verilmektedir. Ağırlıkça oran genel olarak üretim aşamasında kullanılırken, hacimce oran kompozit malzemelerin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Bu iki değer birbirleri ile yoğunluk değeri göz önünde bulundurularak ilişkilendirilir.

Takviye elemanı için: $$W_f = \frac{w_f}{w_c} = \frac{\rho_f}{\rho_c} V_f$$

W: ağırlık, V: hacim,
f: takviye elemanı
c: kompozit
m: matris

Matris için: $$W_m = \frac{w_m}{w_c} = \frac{\rho_m}{\rho_c} V_m$$

Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemelerin yoğunluğu, hacimce oran veya ağırlıkça oran bilindiği koşullarda hesaplanabilir.

$$\rho_c = \rho_f V_f + \rho_m V_m$$

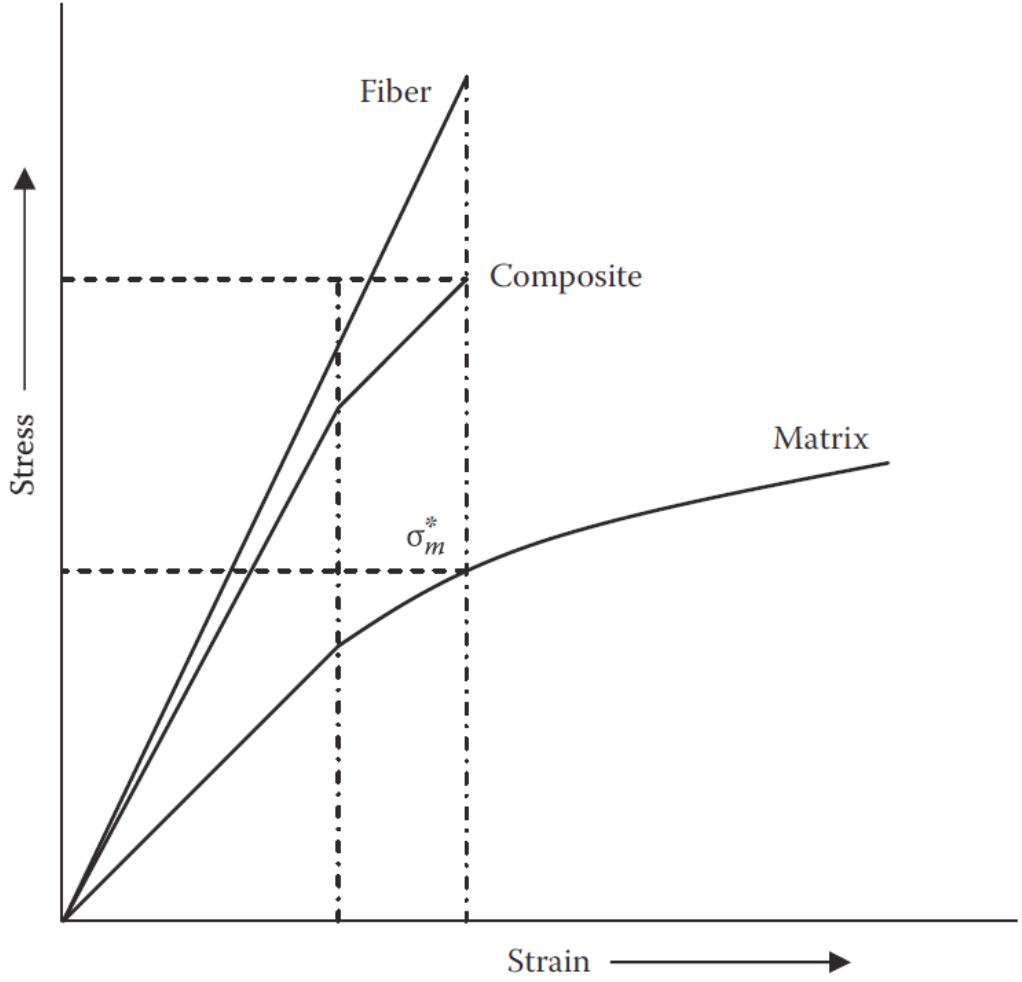
$$\frac{1}{\rho_c} = \frac{W_f}{\rho_f} + \frac{W_m}{\rho_m}$$

Hacimce oran baz alınarak yazılan yoğunluk denklemi, belli durumlarda kompozit malzemelerin bütün özellikleri (sertlik, elastisite modülü, v.b.) için yazılabilir.

Karışımlar kuralı $$X_c = X_f V_f + X_m V_m$$

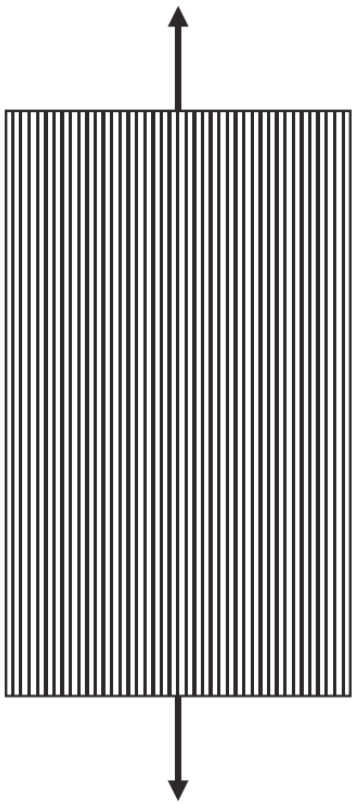
Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Fiber Takviyeli Kompozitler



Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Fiber Takviyeli Kompozitler: Paralel yük altında



$$F_c = F_f + F_m$$

$$\sigma = {}^{F}/_{A} \longrightarrow F = \sigma A$$

$$\sigma_c A_c = \sigma_f A_f + \sigma_m A_m$$

$$\sigma_c = \sigma_f \frac{A_f}{A_c} + \sigma_m \frac{A_m}{A_c}$$

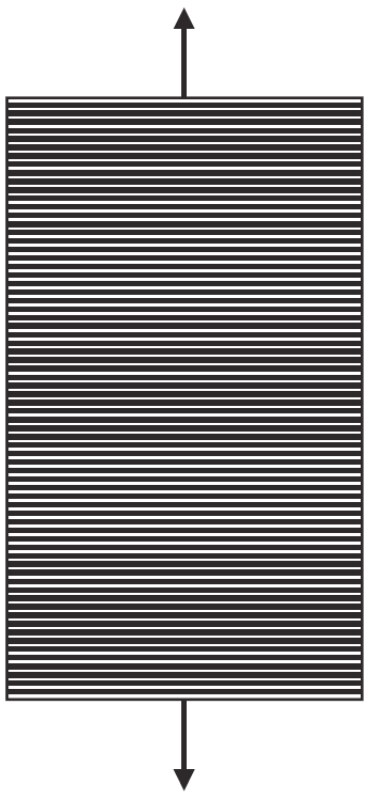
$$\varepsilon_c = \varepsilon_f = \varepsilon_m \qquad E = {}^{\sigma}/_{\varepsilon}$$

$$\frac{\sigma_c}{\varepsilon_c} = \frac{\sigma_f}{\varepsilon_f} V_f + \frac{\sigma_m}{\varepsilon_m} V_m$$

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m$$

Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Fiber Takviyeli Kompozitler: Dikey yük altında



$$\sigma_c = \sigma_f = \sigma_m$$ Eş-gerilme durumu

$$\mathrm{d}_c = \mathrm{d}_f + \mathrm{d}_m$$

$$d_c = \varepsilon_c t_c$$

$$d_f = \varepsilon_f t_f \quad d_m = \varepsilon_m t_m$$

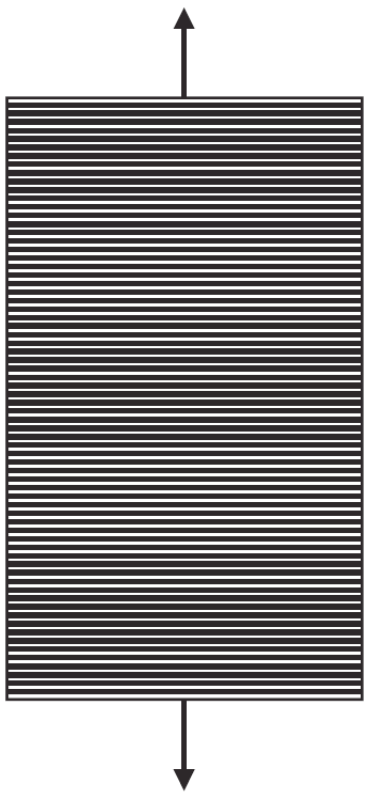
$$\varepsilon_c t_c = \varepsilon_f t_f + \varepsilon_m t_m$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_f \frac{t_f}{t_c} + \varepsilon_m \frac{t_m}{t_c}$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_f V_f + \varepsilon_m V_m$$

Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Fiber Takviyeli Kompozitler: Dikey yük altında



$$\varepsilon_c = \varepsilon_f V_f + \varepsilon_m V_m$$

$$\varepsilon = {}^{\sigma}/_{E}$$

$$\frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{\sigma_f}{E_f} V_f + \frac{\sigma_m}{E_m} V_m$$

$$\sigma_c = \sigma_f = \sigma_m$$

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

$$E_c = \frac{E_f E_m}{V_f E_m + V_m E_f} = \frac{E_f E_m}{V_f E_m + (1 - V_f) E_f}$$

Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Örnek: Hacimce %30 sürekli karbon fiber takviyeli epoksi kompozit geliştirilmek isteniyor. Bu kompozitin paralel ve dikey yükler altında elastisite modülünü, yoğunluğunu ve paralel yük altında spesifik elastisite modülünü hesaplayınız. (25 puan)

Karbon fiber: Elastisite modülü = E_f = 380 GPa, Yoğunluk = ρ_f = 1.86 g/cm^3,
Epoksi: Elastisite modülü = E_m = 3 GPa, Yoğunluk = ρ_m = 1.2 g/cm^3

Paralel yük altında elastisite modülü için formül: $E_c = E_f V_f + E_m V_m$

Ec=380GPa.0.3+ 3GPa.0.7
E_c= 114 + 2.1 = **116.1 GPa**

Dikey yük altında elastisite modülü için formül: $E_c = \frac{E_f E_m}{V_f E_m + V_m E_f}$

Ec=380GPa.3GPa0.3.3GPa+0.7.380GPa
E_c= 1140/266.9 = **4.271 GPa**

Yoğunluk için formül: $\rho_c = \rho_f V_f + \rho_m V_m$

ρ_c*=1.86g/cm^3.0.3+ 1.20g/cm^3.0.7*
ρ_c = 0.558 + 0.84 = **1.398 g/cm^3**

Spesifik elastisite modülü= E_c / ρ_c
Paralel yük altında Ec = 116.1 GPa, ρ_c = 1.398 g/cm^3
Spesifik elastisite modülü = 116.1GPa/1.398 g/cm^3 = **83.047 GPa/(g/cm^3)**

Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Örnek: Aynı malzemeleri kullanarak yapılacak bir kompozitin paralel yük altında spesifik elastisite modülünün en az 70 GPa/(g/cm^3) olması için gereken minimum fiber oranını hesaplayınız.

$$\mathbf{70\ GPa/(g/cm^3)} \geq E_c / \rho_c$$

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m$$

$$\rho_c = \rho_f V_f + \rho_m V_m$$

70 GPa/(g/cm^3) ≥ (380GPa.Vf +3GPa.(1-Vf)) / (1.86g/cm^3.Vf + 1.2g/cm^3.(1-Vf))

$70 = (380V_f + 3 - 3V_f) / (1.86V_f + 1.2 – 1.2V_f)$

$130.2V_f + 84 - 84V_f = 380V_f + 3 - 3V_f$

$81 = 330.8V_f$

$V_f = 0.2448$

Yani fiber oranı en az %24.48 olmalıdır.

Kompozit Malzemelerin Özellikleri

ÖRNEK: a. Oda sıcaklığında fiberlere paralel yönde elastisite modülü 100 GPa olması istenen sürekli karbon fiber takviyeli epoksi kompozit geliştirilmek isteniyor. Bu kompozitin fiber oranını hesaplayınız.

b. Aynı kompozitin yoğunluğunu ve fiberlere paralel yönde spesifik elastisite modülünü hesaplayınız.

c. Karbon fiber takviyeli epoksi kompozitlerin 60 ^{o}C servis sıcaklığında oda sıcaklıklarındaki mekanik özelliklerinin %50'sini kaybettiğini göz önünde bulundurarak, bu servis sıcaklığında fiberlere paralel yönde elastisite modülünün 80 GPa olması için kullanılması gereken fiber oranını hesaplayınız.

Karbon fiber: Elastisite modülü = 380 GPa, Yoğunluk = 1.86 g/cm^3,
Epoksi: Elastisite modülü = 3 GPa, Yoğunluk = 1.2 g/cm^3

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m$$

$$\rho_c = \rho_f V_f + \rho_m V_m$$

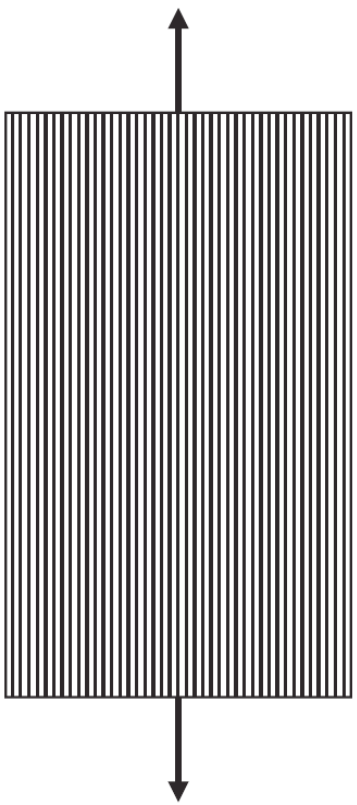
Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Fiber Takviyeli Kompozitler: Paralel çekme dayanımları

Yük altında fiberler koptuktan hemen sonra kompozit malzeme de kopar. Yalnızca fiber oranı belirli bir miktarın üzerindeyse kompozitin dayanımı matrisin dayanımından fazla olmaktadır ve bu miktara kritik fiber oranı denilmektedir.

$$\sigma_c^u = \sigma_f^u V_f + \sigma_m^*(1 - V_f)$$

σ_c^u : kompozitin nihai dayanımı,
σ_m^* : fiberin koptuğu andaki gerinime karşılık gelen matris gerilmesi



$$\sigma_c^u = \sigma_f^u V_f + \sigma_m^*(1 - V_f) \geq \sigma_m^u$$

$$V_f = V_{crit} = \frac{\sigma_m^u - \sigma_m^*}{\sigma_f^u - \sigma_m^*}$$

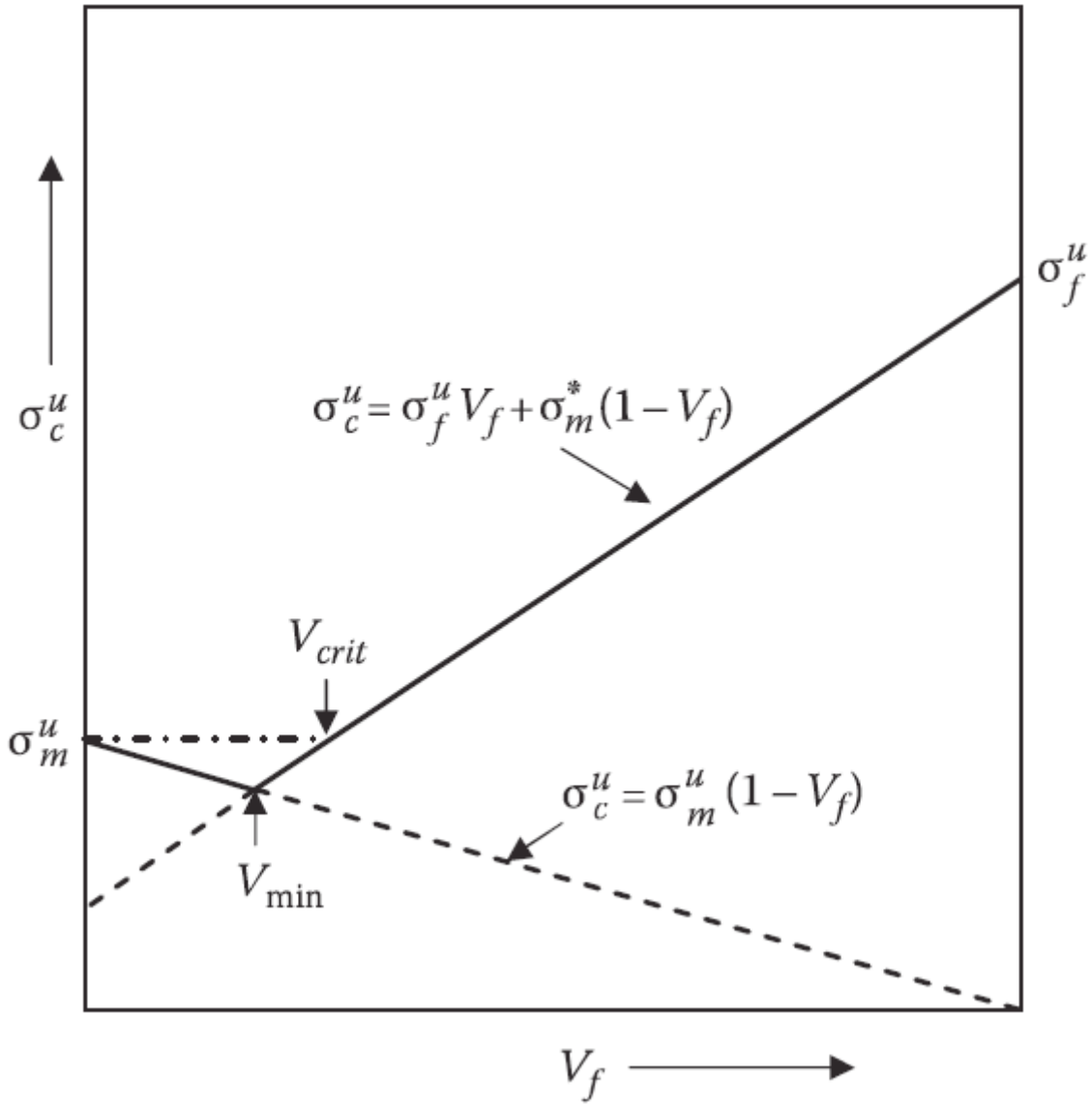
$$V_f < V_{min} \Rightarrow \sigma_c^u = \sigma_m^u(1 - V_f)$$

$$\sigma_c^u = \sigma_f^u V_f + \sigma_m^*(1 - V_f) \geq \sigma_m^u(1 - V_f)$$

$$V_f = V_{min} = \frac{\sigma_m^u - \sigma_m^*}{\sigma_f^u + \sigma_m^u - \sigma_m^*}$$

Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Fiber Takviyeli Kompozitler: Paralel çekme dayanımları



Kaynaklar:

1- M. Balasubramanian, Composite Materials and Processing, CRC Press, 2013.
2- A. Brent Strong, Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods and Applications, SME, 2008.
3- F.L. Matthews, R.D. Rawlings, Composite Materials: Engineering and Science, CRC Woodhead Publishing, 1999.
4- Prof. Dr. Mehmet Zor Kompozit Malzemeler Ders Notları