7

KOMPOZİTTEN VERİM ALMA SINIRLARI

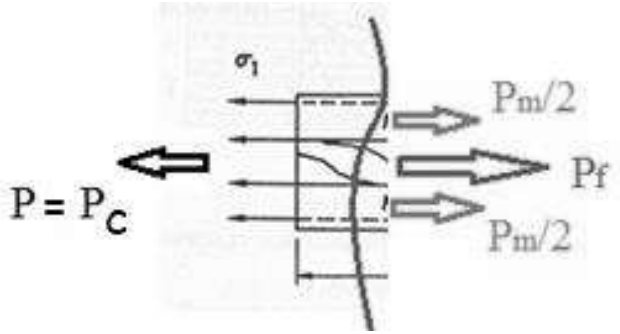
Matris malzemeden daha dayanaksız bir kompozit tabaka üretmenin hiçbir anlamı yoktur. Böyle bir problem fiber oranının belirli sınır değerlerin altında kalması durumlarında ortaya çıkar. Fiberler matristen daha mukavimdir ancak belli bir sınırın altında kalınca kompozitin mukavemetini daha da düşürür. Sağlıklı ve verimli bir üretim için bu alt sınır değerleri bilmemiz ve bu sınırların üstünde imalat yapmamız gerekir.

Bu Bölümde Amacımız: Kompozitlerde dayanım açısından verim alabilmek için fiber ve matris hacimsel konsantrasyonlarının alt sınır değerlerini teorik olarak belirlemektir.

7.1 Kompozit yapıda yük dağılım oranı hesabı:

Soru: Fiberler kompozitin tüm yükünün ne kadarını taşır? $\frac{P_f}{P_c}=?$

1 yönünde çekmeye maruz bir levha için;



$$\varepsilon_f=\varepsilon_m=\varepsilon_c$$

$$P = P_c = P_f + P_m$$

$$\frac{P_f}{P_c} = \frac{P_f}{P_f + P_m} = \frac{\sigma_f . A_f}{\sigma_f . A_f + \sigma_m . A_m} = \frac{(E_f . \varepsilon_f) . A_f}{(E_f . \varepsilon_f) . A_f + (E_m . \varepsilon_m) . A_m} = \frac{E_f . A_f}{E_f . A_f + E_m . A_m} = \frac{\frac{E_f . A_f}{A}}{\frac{E_f . A_f}{A} + \frac{E_m . A_m}{A}}$$

$$\boxed{\frac{P_f}{P_c} = \frac{E_f . V_f}{E_f . V_f + E_m . V_m}}$$

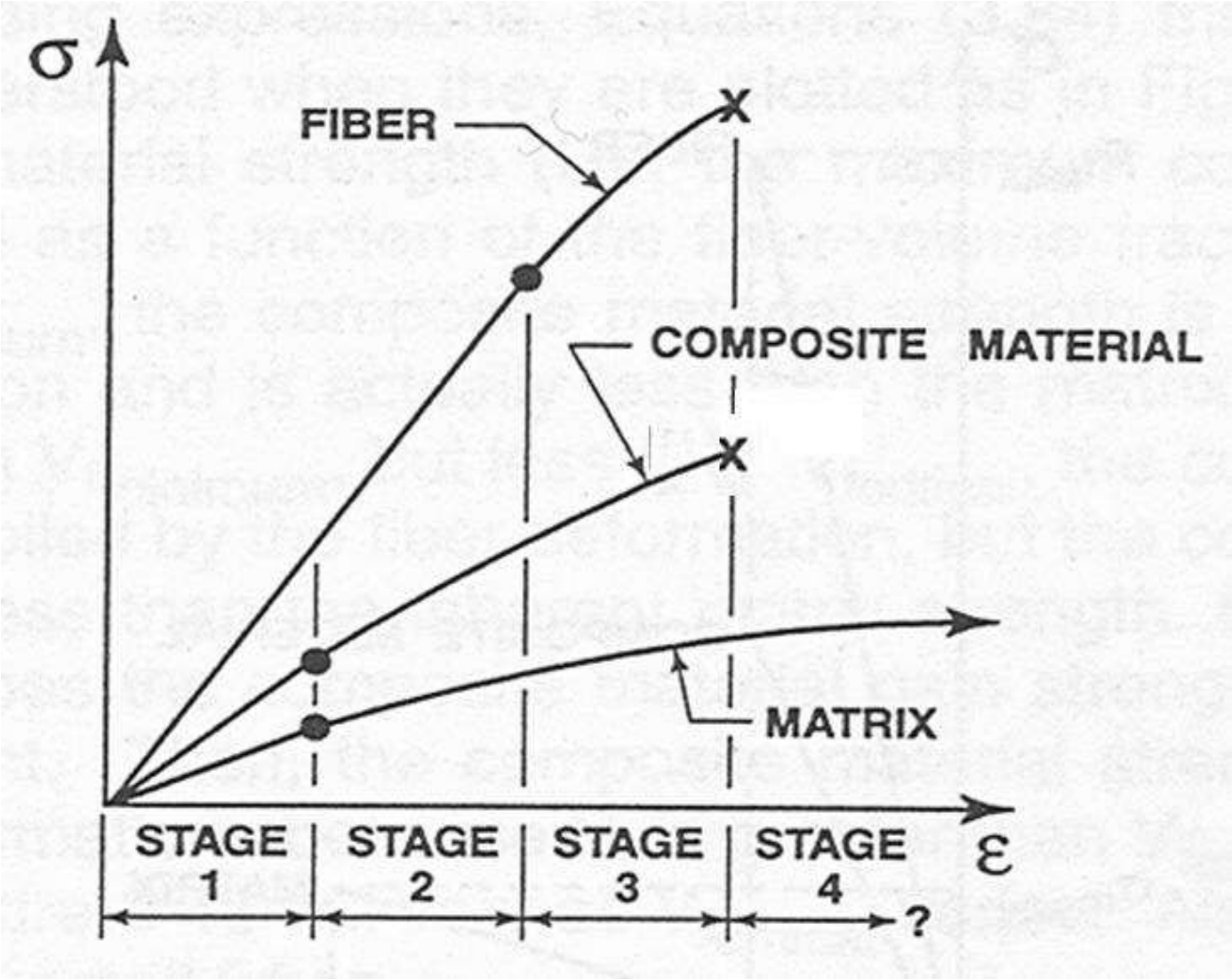
7.2.1 Kompozit Yapının Deformasyon Aşamaları

The Deformation Stages of Composite Structure

- Tek yönlü takviye edilmiş kompozit malzemeler, matris ve liflerin tokluğuna (dövülebilirliğine) veya kırılganlığına bağlı olarak yükün artmasıyla birlikte dört aşamada deforme olurlar. (The unidirectional fiber reinforced composites deform in four stage, according to the brittleness and ductulity of fibers and matrix)
- Elyaf ve matris elastik şekil değiştirirler. (Matrix and fibers change their shape elastically)
- Elyaf elastik şekil değiştirmeye devam ederken, matris plastik şekil değiştirir. (while the fibers deform ation is elastically, matrix deformation is plastically)
- Hem elyaf hem de matris plastik şekil değiştirirler. (The both deformations of fibers and matrix are plastically)
- Elyafın kırılmasına müteakiben, matris kırılmasa bile kompozitin de kırıldığı kabul edilir.
- (After cracking the fibers, it is assumed that the composite also crack, even if the matrix does not crack)
- Bu adımlardan bazıları kompozit bileşenlerinin yapılarına (gevreklik-süneklik) bağlı olarak oluşmayabilir. (Some of these stage may not be appear acoording to the brittleness and ductulity of fibers and matrix)

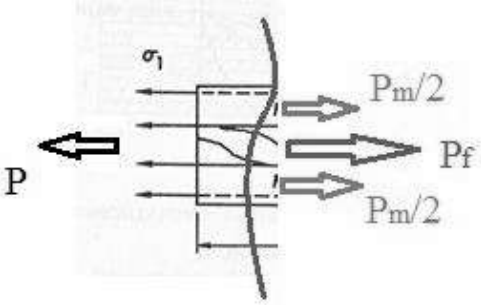
7.2.1 Kompozit Yapının Deformasyon Aşamaları -devam

The Deformation Stages of Composite Structure



7.2.2 Kompozit Yapıdaki Gerilmeler

Stresses at the Composite Structure

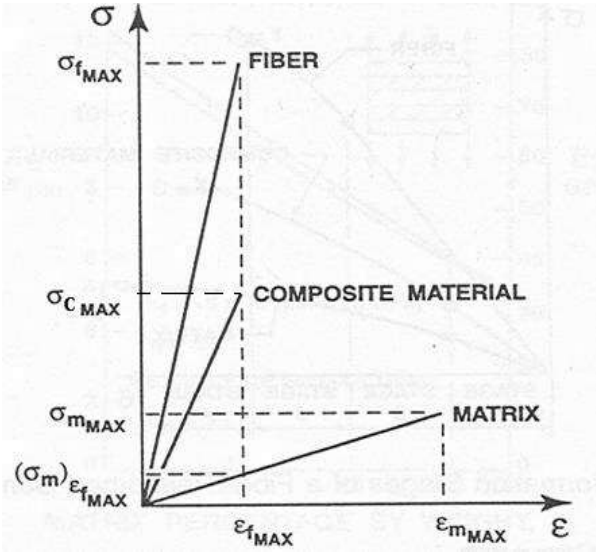


Herhangi bir anda kompozitteki gerilme (σ_1) :

The stress on composite at any time (before cracking)

$$P = P_f + P_m \rightarrow \sigma_1 A = \sigma_f A_f + \sigma_m A_m$$

$$\sigma_1 = \sigma_f \frac{A_f}{A} + \sigma_m \frac{A_m}{A} \rightarrow \sigma_1 = V_f \sigma_f + V_m \sigma_m$$



Fiberin kopma mukavemeti: $\sigma_{f_{\max}} = \varepsilon_{f_{\max}} E_f$

Tensile strength of the fiber

Fiberler kırılırken matristeki gerilme: $\left(\sigma_m\right)_{\varepsilon_{f_{\max}}} = \varepsilon_{f_{\max}} E_m$

The stress on matris when the fibers is cracking.

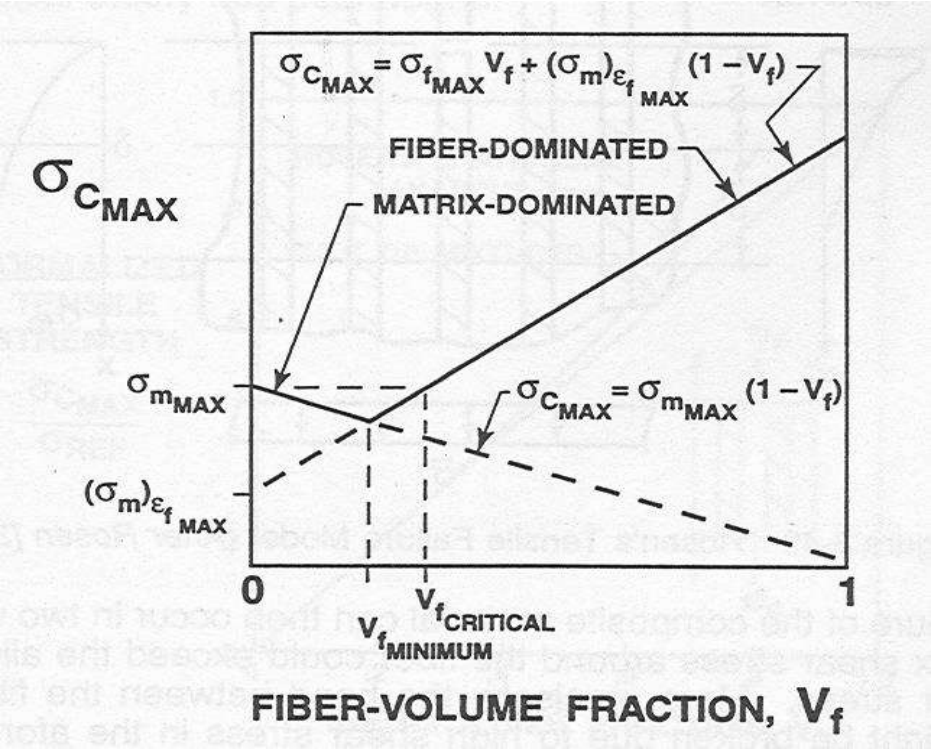
Fiberler kırılırken kopmpozitteki gerilme: (Kompozitin mukavemeti)

$$\sigma_{C_{\max}} = V_f \sigma_{f_{\max}} + V_m \left(\sigma_m\right)_{\varepsilon_{f_{\max}}}$$

The stress of the composite at the cracking time of the fibers : (is the strength of the composite)

7.3 Minimum Elyaf Hacim Oranı($V_{f\,\min}$)

Minimum Fiber Volume Fraction



- Elyaf takviyeli kompozitlerde takviye etkisinin gerçekleşmesi ve fiberlerin yük taşıyabilmesi için aşılması gereken minimum bir elyaf hacim oranı vardır. (There is a minimum value of fiber volume fraction, upper than which the loading of fibers and reinforcing effects come to true.)

- Bu oranın altında, fiberler yüklemeden sonra hemen kopar ve yükü sadece matris taşır. (Below this minimum value, after the beginning of the loading, fibers break and loads are carried by only matrix.)

- Dolayısıyla böyle bir takviyenin hiçbir yararı olmayacağı gibi kuvveti taşıyacak olan matris kesitini azalttığından mukavemetin düşmesine neden olur.

- Malzeme dayanımının en düşük olduğu noktadaki elyaf hacim oranı $V_{f\text{-}min}$ ile gösterilir. Şimdi bu oranı teorik olarak bulmaya çalışacağız. (Now, We are going to obtain $V_{f\text{-}min}$ theoritically .)

Herhangi bir anda kompozitteki gerilme: $\sigma_1 = V_f\sigma_f + V_m\sigma_m$

The stress on composite at any time (before cracking)

(yükü matris ve lifler taşırken)

Bu durumda kompozitin mukavemeti: $\left(\sigma_C\right)_{\max} = V_f\left(\sigma_f\right)_{\max} + (1-V_f)\left(\sigma_m\right)_{\varepsilon_{f\max}}$

In this case, the strength of composite

(fiberlerin koptuğu anda kompozitteki gerilme) the stress on the composite at the time of fibers cracking

Lifler hemen koparsa, bundan sonra herhangi bir anda kompozitteki gerilme:

After the cracking of the fiber at the start of the loading, the stress on the composite

$\sigma_1 = V_m\sigma_m = (1-V_f).\sigma_m$ (Tüm yükü matris taşır. Kopmuş lifler yük taşımaz.)

Bu durumda kompozitin mukavemeti:

In this case, the strength of composite

$\left(\sigma_C\right)_{\max} = (1-V_f)\left(\sigma_m\right)_{\max}$

Kompozit mukavemeti $\left(\sigma_C\right)_{\max}$ her iki hal için eşitlenirse,

Yükü liflerin taşıdığı veya taşımadığı sınır durum elde edilir:

$$\left(\sigma_C\right)_{\max} = (1-V_f)\left(\sigma_m\right)_{\max} = V_f\left(\sigma_f\right)_{\max} + (1-V_f)\left(\sigma_m\right)_{\varepsilon_{f\max}}$$

$$V_f = V_{f\min} = \frac{\left(\sigma_m\right)_{\max} - \left(\sigma_m\right)_{\varepsilon_{f\max}}}{\left(\sigma_f\right)_{\max} + \left(\sigma_m\right)_{\max} - \left(\sigma_m\right)_{\varepsilon_{f\max}}}$$

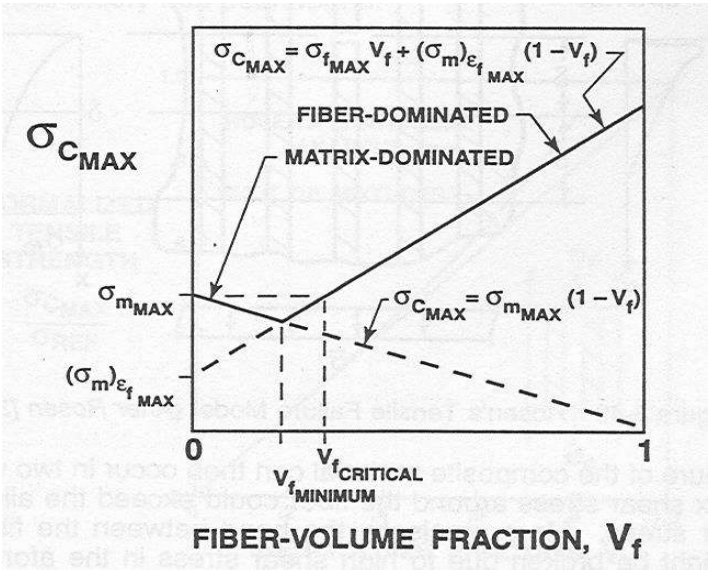
$$V_{f\min} = \frac{E_m\varepsilon_{m\max} - E_m\varepsilon_{f\max}}{E_f\varepsilon_{f\max} + E_m\varepsilon_{m\max} - E_m\varepsilon_{f\max}}$$

7.4 Kritik Elyaf Hacim Oranı ($V_{f\,cr}$)

Critical Fiber Volume Fraction

Fiberlerin matris içine yerleştirilmesindeki en önemli amaç, matristen daha güçlü bir yapı elde etmektir.

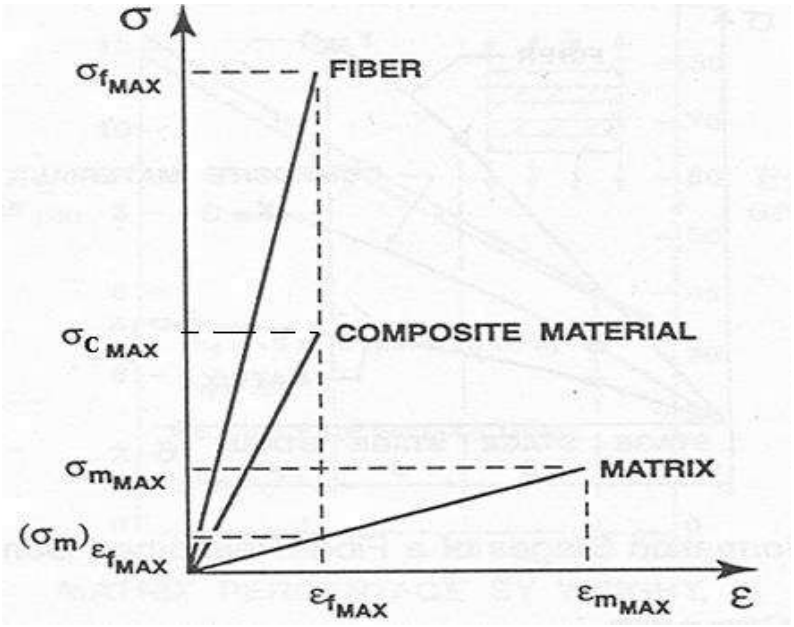
(The most important purpose of placing the fiber into the matrix is to obtain a stronger structure than matrix.)



Bir başka ifadeyle, kompozit malzemeden verim alınabilmesi için, kompozitin mukavemeti matrisin mukavemetinden daha yüksek olmalıdır. (Another words, in order to obtain efficiensy from composite, the composite strength must be higher than the matrix strength)

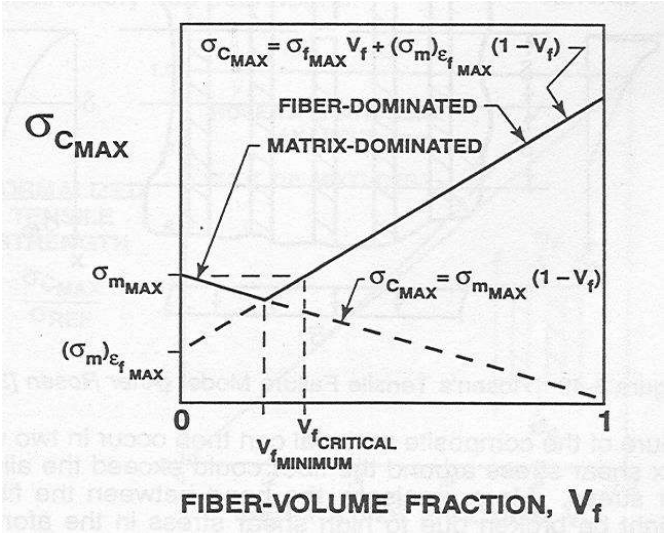
Dolayısıyla İyi bir kompozit yapıda önce elyaflar sonra matris kopmalıdır. (So, at the well composite structure fibers are broken before the matrix)

Elyaflar koptuğu zaman kompozitin de hasara uğradığı kabul edilir. (When the fibers crack, it is assumed that composites also crack)



Bu sebeple Kompozit malzemenin mukavemeti, **elyafın mukavemetine** göre hesaplanır. (The strength of the composites is calculated according to the fiber strength).

Kompozit mukavemetinin, matris mukavemetinden büyük olması için ise elyaf hacim oranının belirli bir kritik değeri geçmesi gerekir. (In order that the strength of the composite is higher than the strength of the matrix, the fiber volume firaction must to exceed a critical value)



Bu kritik değer (Kritik Lif Hacim Oranı- V_{fcr}), sınır durumda, yani kompozit mukavemeti ile matris mukavemeti eşitlenerek bulunabilir. (This critical value of the fiber volume fraction can be found by equating the composite strength to the matrix strength.)

Genellikle elyaf malzemeleri, matris malzemelerine göre daha kırılgan yapıya sahiptirler.

(Generally, the fiber materials are more brittle than matrix materials.)

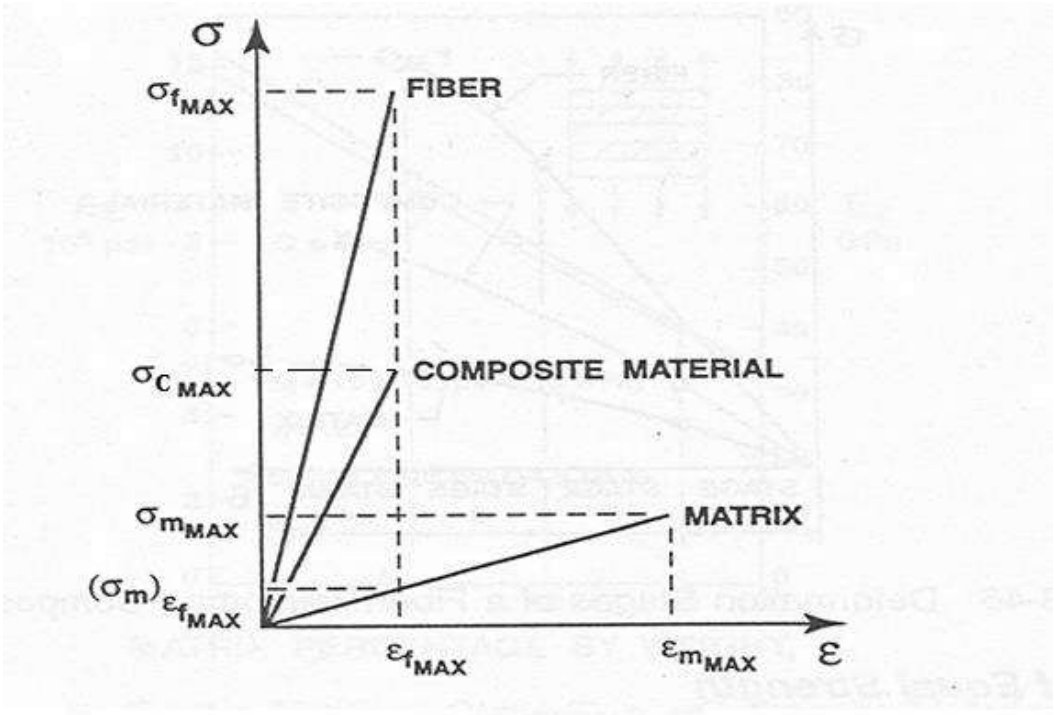


Figure 3-47
Schematic Stress-Strain Curves for Fibers and Matrix

$$\sigma_{C_{\max}} = V_f \sigma_{f_{\max}} + V_m \left(\sigma_m\right)_{\varepsilon_{f_{\max}}}$$

$$\sigma_{C_{\max}} = V_f \varepsilon_{f_{\max}} E_f + V_m \varepsilon_{f_{\max}} E_m$$

$$\sigma_{C_{\max}} = \varepsilon_{f_{\max}} \left(V_f E_f + V_m E_m\right)$$

$$E_1 = V_f E_f + V_m E_m$$

$$\sigma_{C_{\max}} = \varepsilon_{f_{\max}} E_1$$

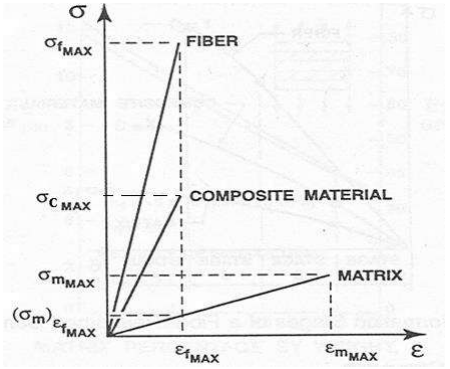
$$\sigma_{C_{\max}} = \varepsilon_{f_{\max}} \left[V_f E_f + (1 - V_f) E_m\right]$$

$$V_f \to V_{f\,cr}\ iken$$

$$\sigma_{C_{\max}} = \left(\sigma_m\right)_{\max}\ olur.$$

$$V_{f\,cr}\sigma_{f_{\max}} + (1 - V_{f\,cr})\left(\sigma_m\right)_{\varepsilon_{f_{\max}}} = \left(\sigma_m\right)_{\max}$$

$$V_{f\,cr} = \frac{\left(\sigma_m\right)_{\max} - \left(\sigma_m\right)_{\varepsilon_{f_{\max}}}}{\left(\sigma_f\right)_{\max} - \left(\sigma_m\right)_{\varepsilon_{f_{\max}}}}$$



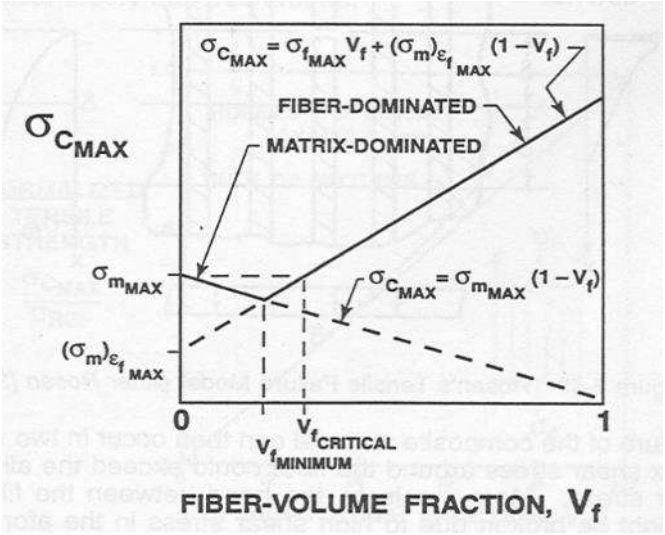
$$V_{f\,cr} = \frac{E_m \varepsilon_{m_{\max}} - E_m \varepsilon_{f_{\max}}}{E_f \varepsilon_{f_{\max}} - E_m \varepsilon_{f_{\max}}}$$

Bu denkleme göre, **liflerin kompozit mukavemetine katkısının olabilmesi için lif oranının bu kritik değerden fazla olması gerekir.** Aksi halde liflerin bir katkısı olmadığı gibi zararı bile olabilir. (According to this equation, if the fiber volume fraction is higher than the critical value, fibers can contribute to the composite strength.)

Yeterince elyaf kullanılmaması durumunda, küçük yüklemelerde dahi aşırı uzamalar meydana gelir ve lifler kırılır. Matris malzemesinin mukavemeti düşük olduğundan yük taşıma kapasitesi düşüktür.

7.5 Minimum ve Kritik Elyaf Hacim Oranlarının Karşılaştırılması

Minimum and Critical Fiber Volume Fractions



Hatırlatma:

Minimum fiber hacim oranı:

$$V_{f\,\min} = \frac{E_m \varepsilon_{m\max} - E_m \varepsilon_{f_{\max}}}{E_f \varepsilon_{f_{\max}} + E_m \varepsilon_{m\max} - E_m \varepsilon_{f\,\max}}$$

Kritik fiber hacim oranı:

$$V_{f\,cr} = \frac{E_m \varepsilon_{m_{\max}} - E_m \varepsilon_{f_{\max}}}{E_f \varepsilon_{f_{\max}} - E_m \varepsilon_{f_{\max}}}$$

$V_{f\,cr}$: Liflerin yük taşıma sınırını gösterir. Bu değerin altındaki oranlarda lifler hemen kırılır ve tüm yükü matris taşır. Lifler kesiti daralttığı için kompozite faydadan çok zarar verir. (It is the boundary value of the loading of the fibers. Below this, after the beginning of the loading, fibers break)

$V_{f\ min}$: Kompozitten verim alma sınırını gösterir. Bu değerin üstündeki fiber oranlarında, kompozitin mukavemeti matristen büy üktür. (It is shown the boundary of the composite efficiency. Above this value, the composite strength is higher than the matrix strength)

Böylece takviye işleminden verim alınmış ve matris malzeme güçlendirilmiş anlamına gelir. Denklemlere de dikkat edilirse,

$V_{f\,cr} > V_{f\,min}$ dir. O halde bir kompozit üretilirken $V_{fr} > V_{fcr}$ olmasına dikkat edilmelidir.

it should be provided for composite productions.

Örnek 7.1

- Fiberglass/epoksi kullanılarak üretilen bir kompozit malzemenin:

  a) Kritik fiber hacim oranını, $V_{f\,crt} = ?$

  b) Minimum fiber hacim oranını, $V_{f\,\min} = ?$

  c) %30 fiber oranı için kompozitin mukavemetini hesaplayınız. $\sigma_{C_{\max}} = ?$

  E_m=8 GPa, E_f=74 GPa

  ε_m=0.05=$\varepsilon_{m\max}$ ε_f=0.04 = $\varepsilon_{f\max}$