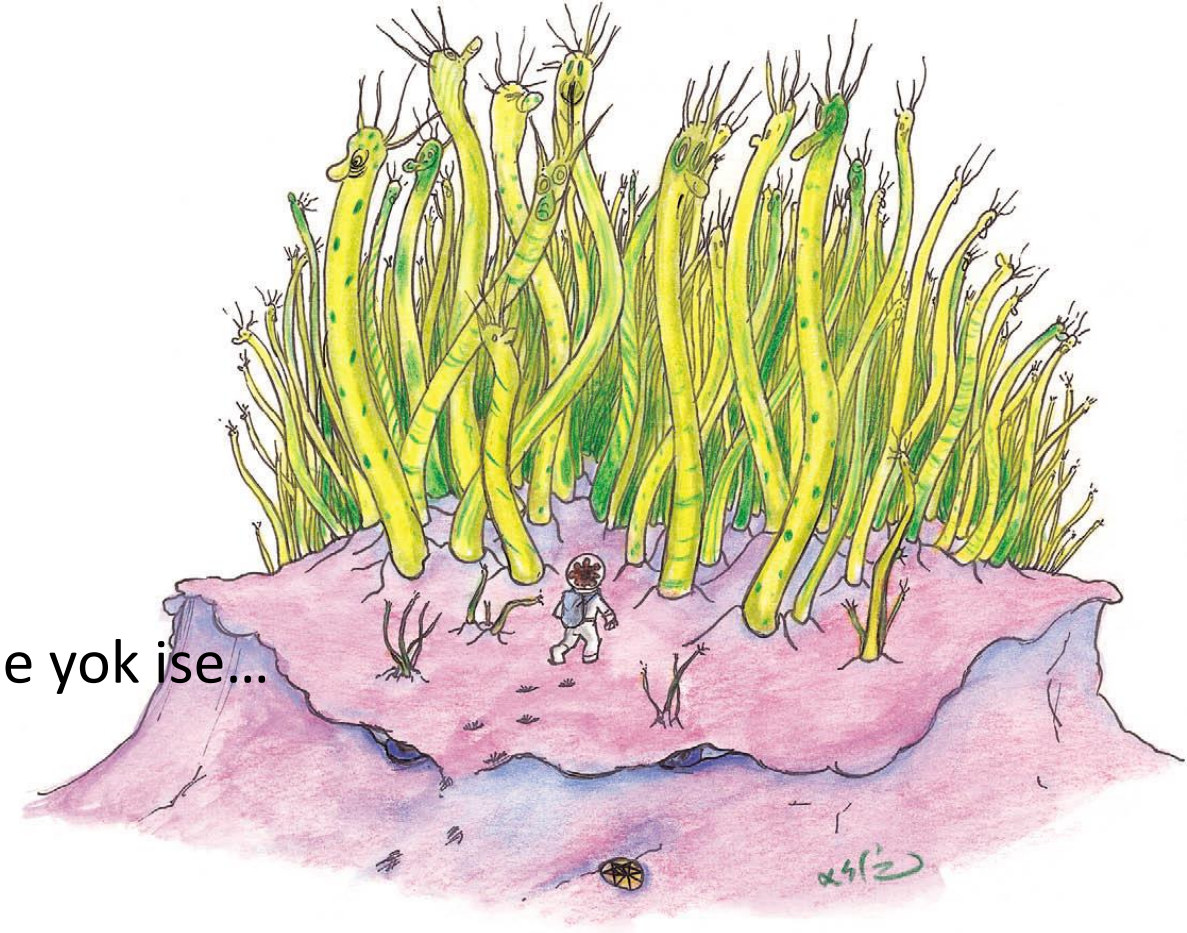
Kompozit Malzemeler

Burası uzayda başka bir dünya ise…

Ve orada siz ikinizden (elyaf ve matris) başka kimse yok ise…



İlişki (Arayüzey) durumu: Belirsiz…

Elyaf ve matris arasındaki bir aşkın hikayesi…

İçerik

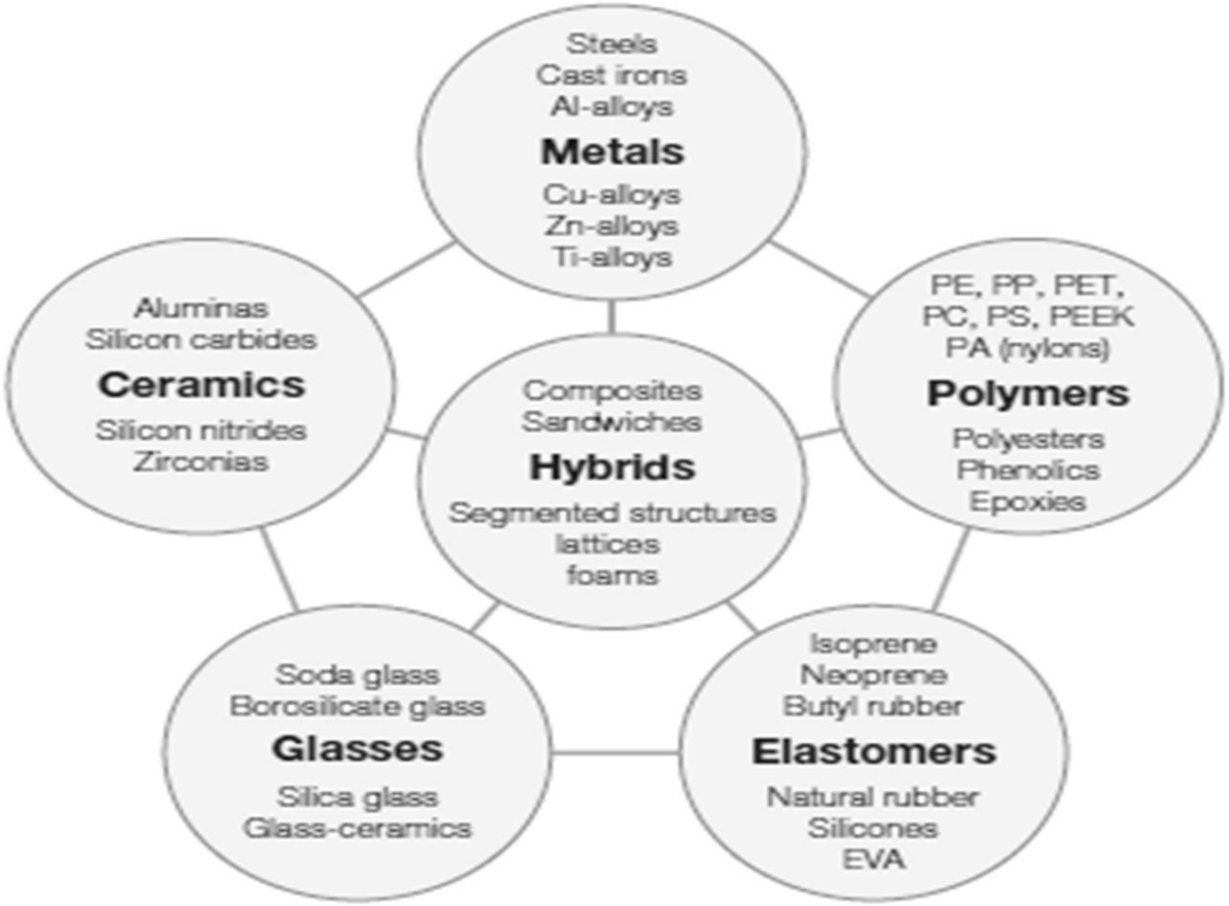
- Giriş (Tanım, Sınıflandırma, Uygulama)
- Ham maddeler (Takviye Elemanı, Bağlayıcı, Ara Yüzey)
- Kompozit Malzeme Üretim Teknikleri
- Kompozit Malzeme Tasarım Parametreleri ve Genel Özellikleri
- Kompozit Malzemelerin Mikromekanik Davranışı
- İleri Kompozit Malzemeler

Giriş

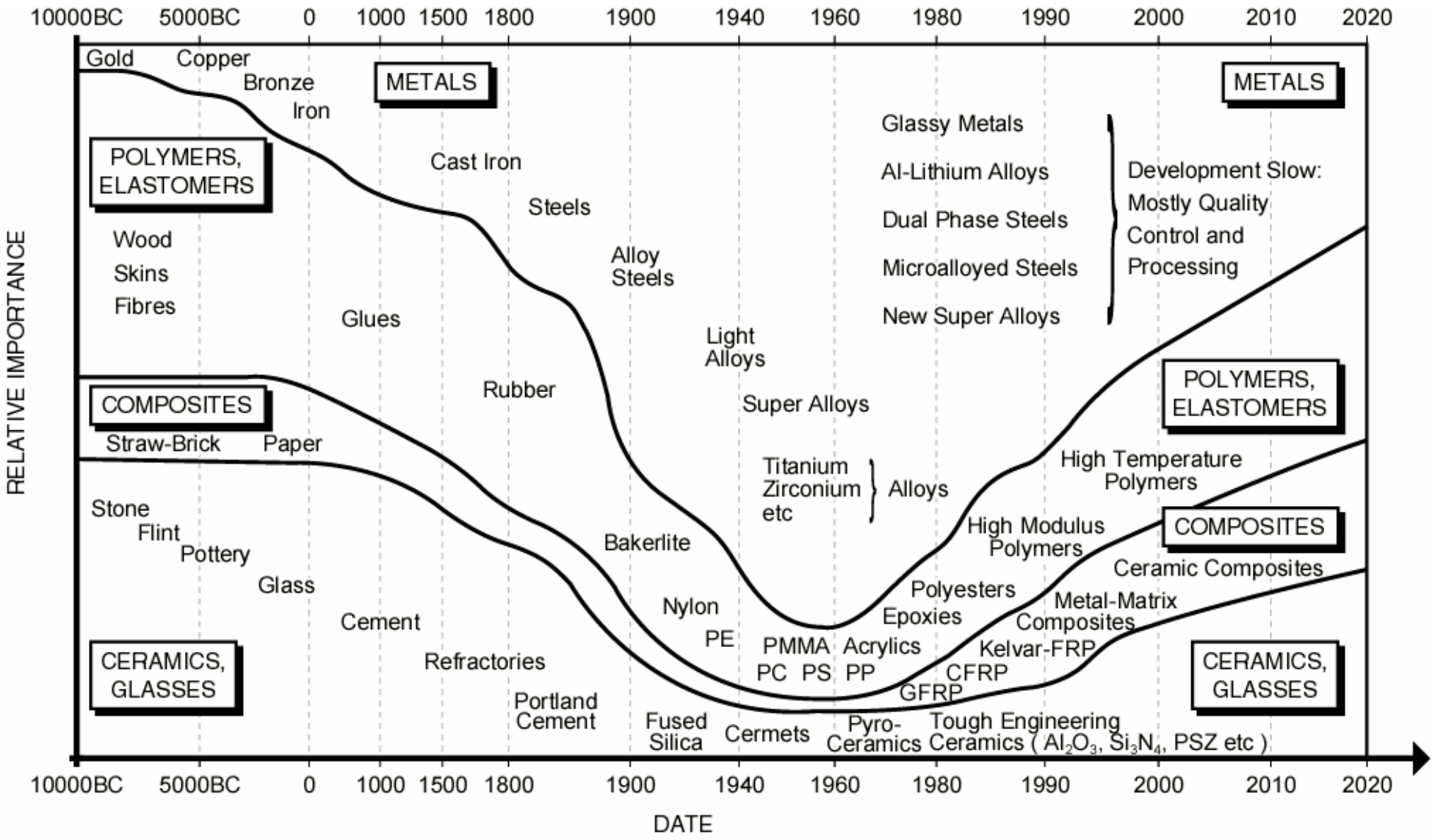
- Geleneksel Mühendislik Malzemeleri ve Kompozitler
- Kompozit Malzeme Nedir
- Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması
- Takviye elemanı ve Bağlayıcıların Görevleri
- Kompozitlerin Önemli Özellikleri
- Genel Proses Özellikleri
- Kompozit Pazarı ve Engelleri
- Sorular

Geleneksel Mühendislik Malzemeleri

- Metaller
- Plastikler
- Seramikler
- Kompozitler



Malzemelerin Tarihi Gelişimi ve Nispi Önem Düzeyi



Kompozit tarihi gelişimi

1938 natural fibres + polymers:

-- flax asbestos glass

-- phenolic resins

1950 -- fibre geometry and orientation

-- delta-wing for aircraft, made of asbestos / phenolics; competitive with metals (Al)

-- new, high-stiffness, lightweight fibres are needed

1955 search for such fibres:

whiskers (ceramics, inorganics)

special glass fibres

carbon fibres

1958 metallic composites

-- SiO_2 / Al (Rolls Royce, England)

filament winding:

-- motor cases for missile systems,

made of glass fibre / plastics (USA)

1960 principles of fibre reinforcement

1962 fibres in metals:

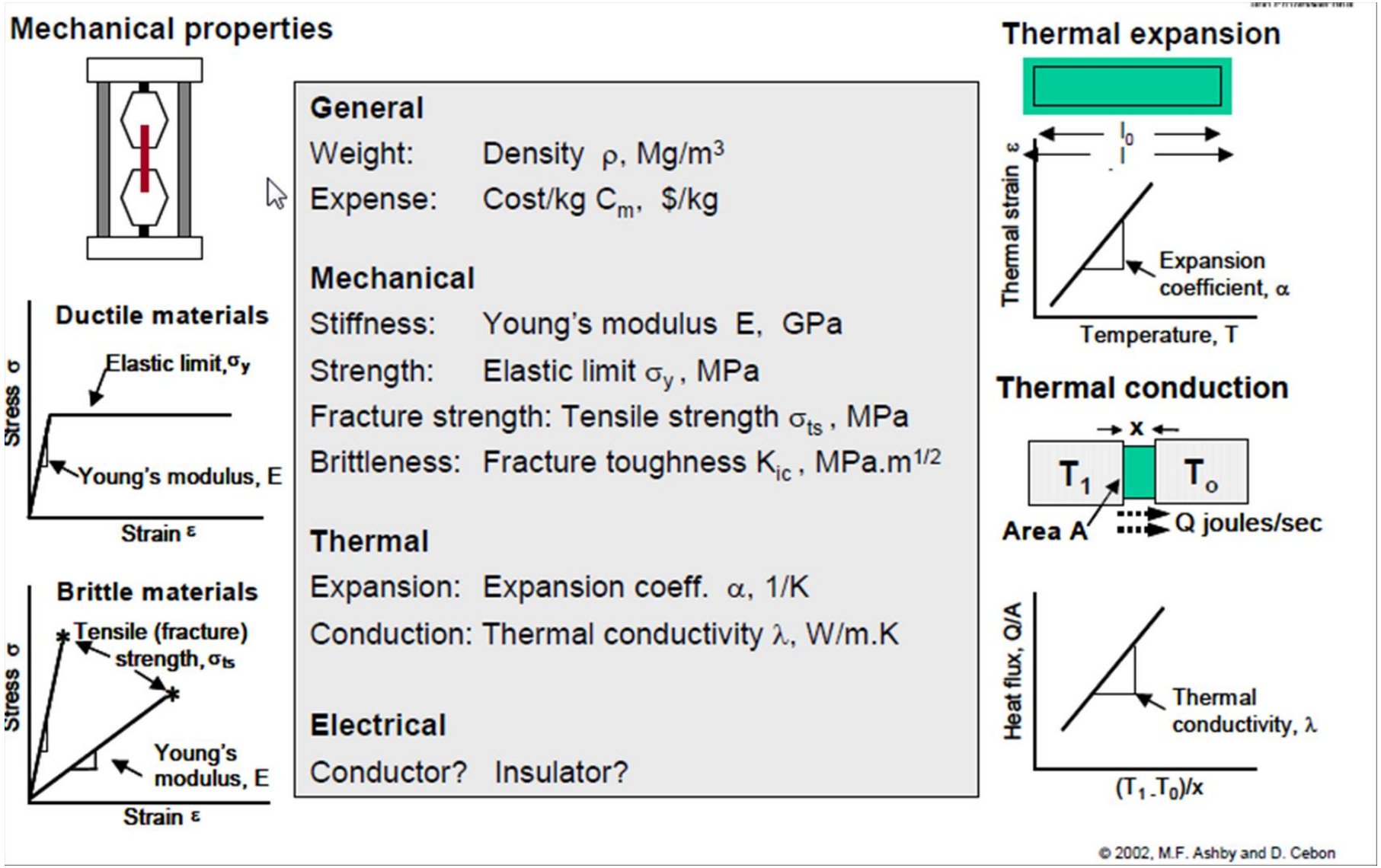
-- high yield stress, by blocking of dislocations

-- crack tolerance, by weak interfaces

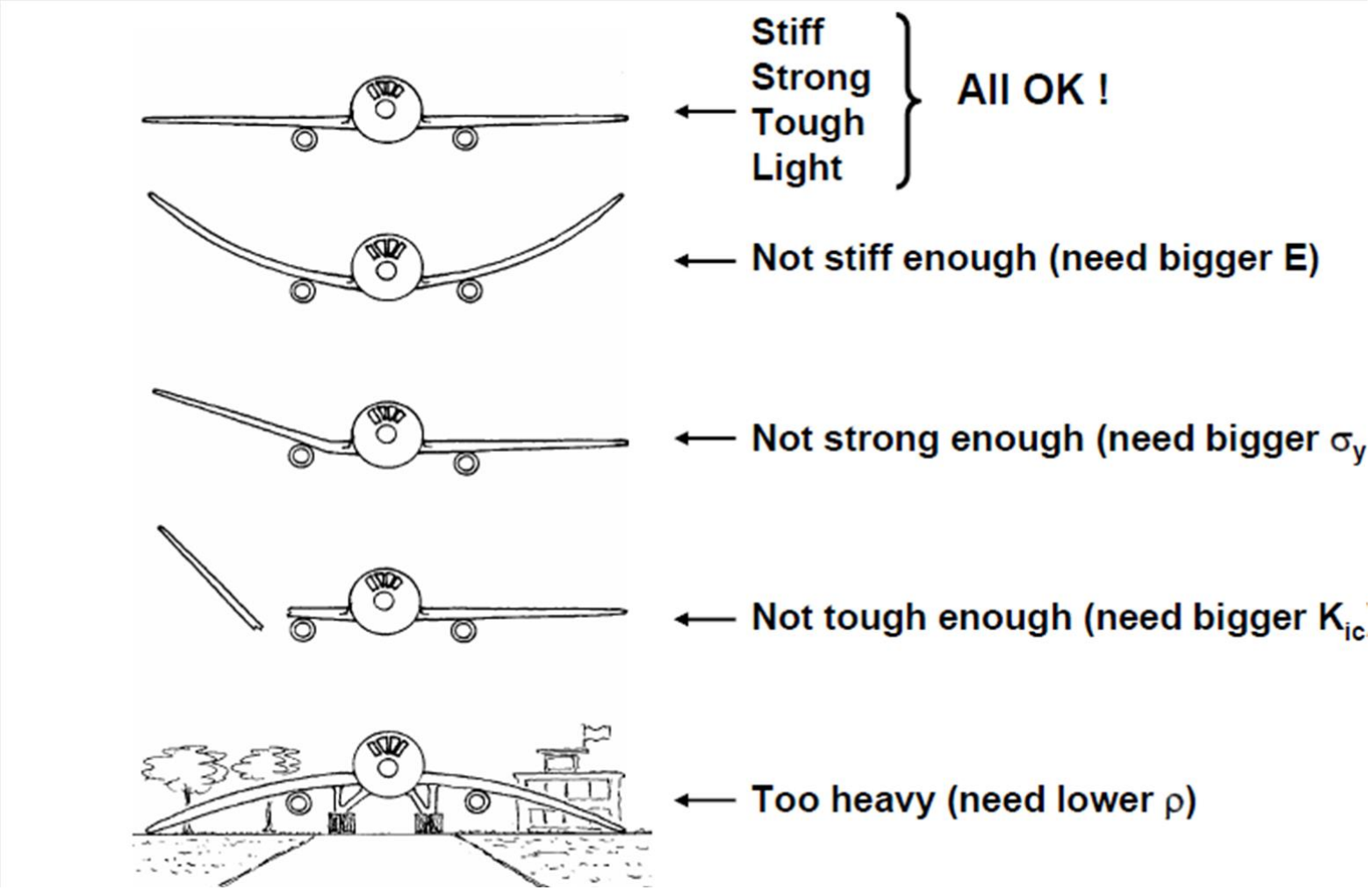
1965 fibre pull-out mechanism:

-- quasi-ductile behaviour

Genel Malzeme Özellikleri



Tasarımda Malzeme Özelliklerinin Önemi

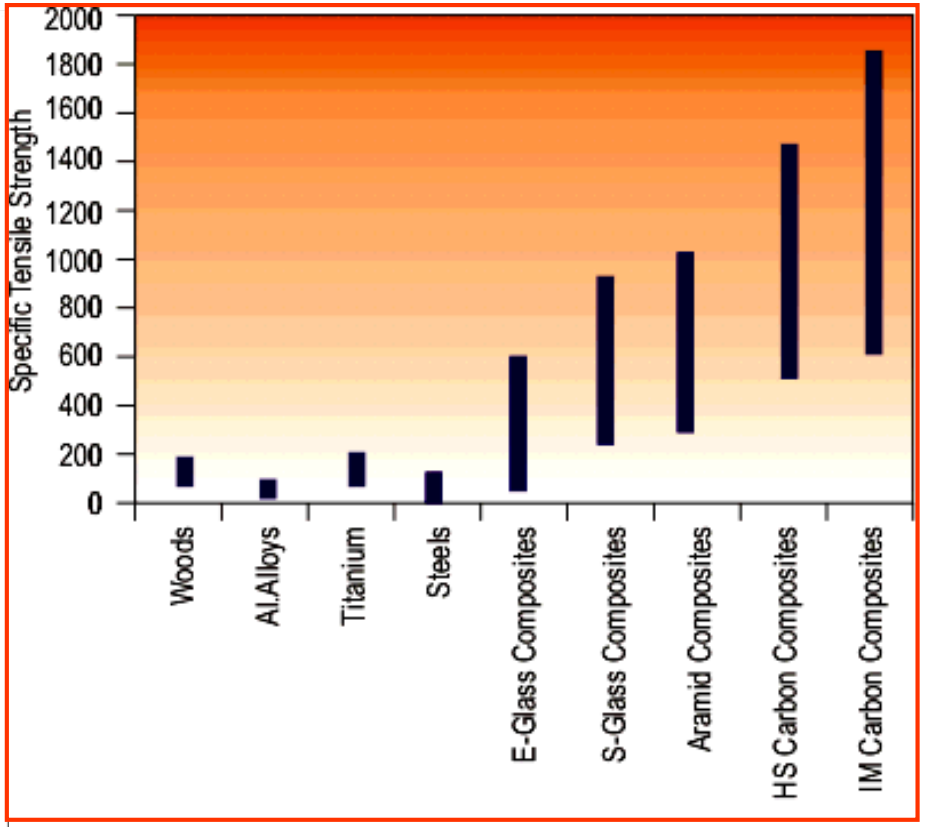


https://www.youtube.com/watch?v=N-tQNXgwGaU

Mühendislik Malzeme Özellikleri

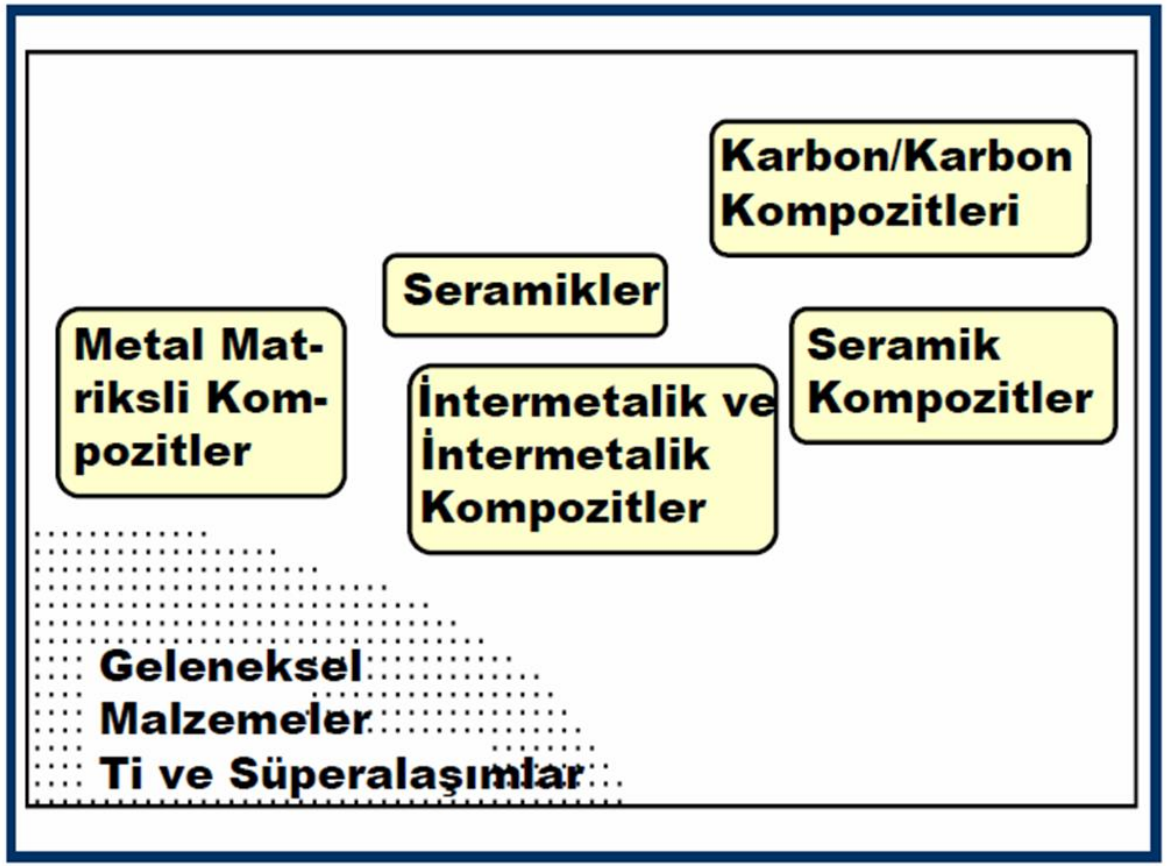
Typical Properties of Some Engineering Materials

Material	Density (ρ) (g/cc)	Tensile Modulus (E) (GPa)	Tensile Strength (σ) (GPa)	Specific Modulus (E/ρ)	Specific Strength (σ/ρ)	Max. Service Temp. (°C)
Metals						
Cast iron, grade 20	7.0	100	0.14	14.3	0.02	230–300
Steel, AISI 1045 hot rolled	7.8	205	0.57	26.3	0.073	500–650
Aluminum 2024-T4	2.7	73	0.45	27.0	0.17	150–250
Aluminum 6061-T6	2.7	69	0.27	25.5	0.10	150–250
Plastics						
Nylon 6/6	1.15	2.9	0.082	2.52	0.071	75–100
Polypropylene	0.9	1.4	0.033	1.55	0.037	50–80
Epoxy	1.25	3.5	0.069	2.8	0.055	80–215
Phenolic	1.35	3.0	0.006	2.22	0.004	70–120
Ceramics						
Alumina	3.8	350	0.17	92.1	0.045	1425–1540
MgO	3.6	205	0.06	56.9	0.017	900–1000
Short fiber composites						
Glass-filled epoxy (35%)	1.90	25	0.30	8.26	0.16	80–200
Glass-filled polyester (35%)	2.00	15.7	0.13	7.25	0.065	80–125
Glass-filled nylon (35%)	1.62	14.5	0.20	8.95	0.12	75–110
Glass-filled nylon (60%)	1.95	21.8	0.29	11.18	0.149	75–110
Unidirectional composites						
S-glass/epoxy (45%)	1.81	39.5	0.87	21.8	0.48	80–215
Carbon/epoxy (61%)	1.59	142	1.73	89.3	1.08	80–215
Kevlar/epoxy (53%)	1.35	63.6	1.1	47.1	0.81	80–215



Kompozit Malzemelerin Önemi ve Genel Kullanım Alanları

Kompozit performansı için en önemli anahtar parametreler;
Mukavemet/ağırlık oranı veya spesifik mukavemet



Şekil. Çeşitli motor malzemelerinin çalışma sıcaklılığı ve mukavemet/ağırlık oranına göre performans haritaları.

- Bir malzeme ne kadar dayanıklı (rijit, mukavemetli) olabilir ?
- Değilse Neden?
- Malzemelerde zayıflık nedeni?
- Bu unsurlar nasıl azaltılmalı veya kontrol edilmelidir?
- Güçlü malzeme için en iyi strateji nedir?

Mukavemetli Malzeme

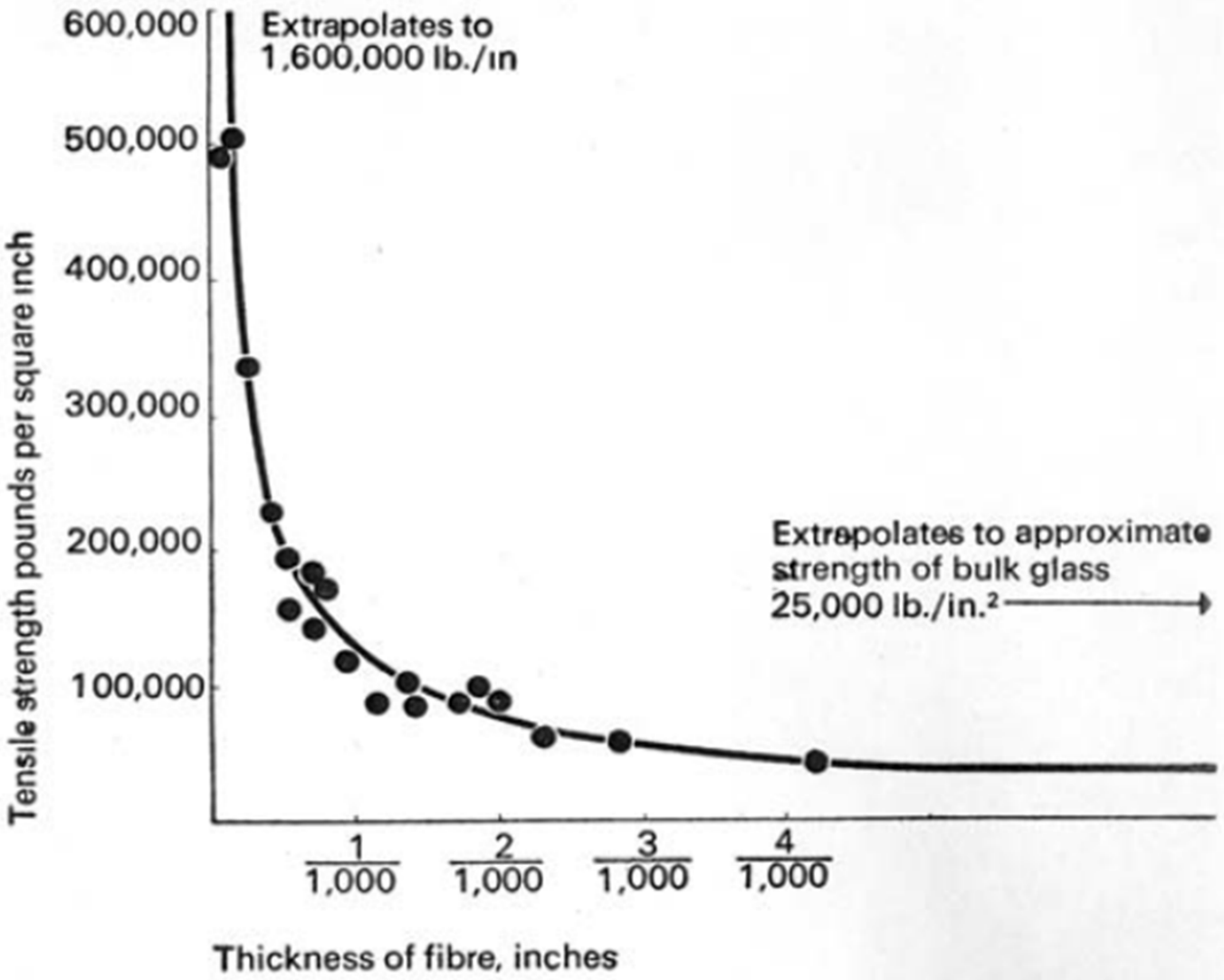
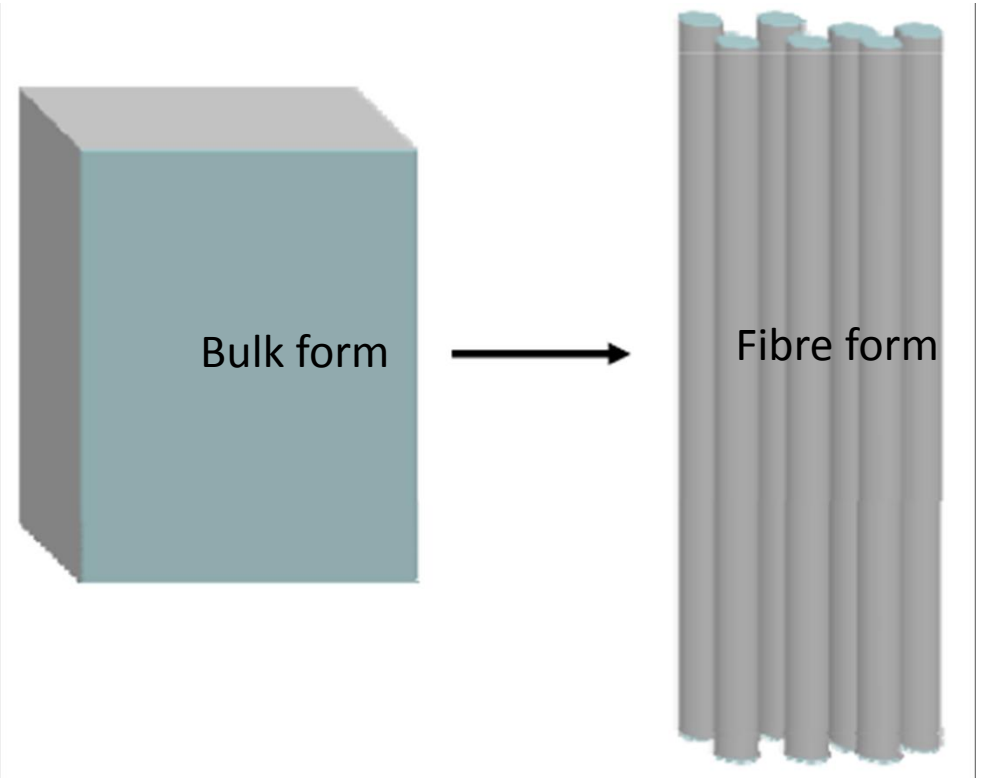


Figure 1. Griffith's results for the strength of glass fibres.

Güçlü Malzeme

- ✓ Elyaflar döküm halindeki aynı malzemeden boyuna yönde daha mukavemetlidir.
- ✓ Çatlamaya karşı elyaflar döküm malzemeye göre daha az hassastır
- ✓ Kompozit malzeme tasarımına daha uygun şekil
- X İkincil yönde daha az dayanım, ve aynı zamanda elyaflara yükü aktaracak ve elyafı saracak bir matris bağlayıcıya ihtiyaç vardır.



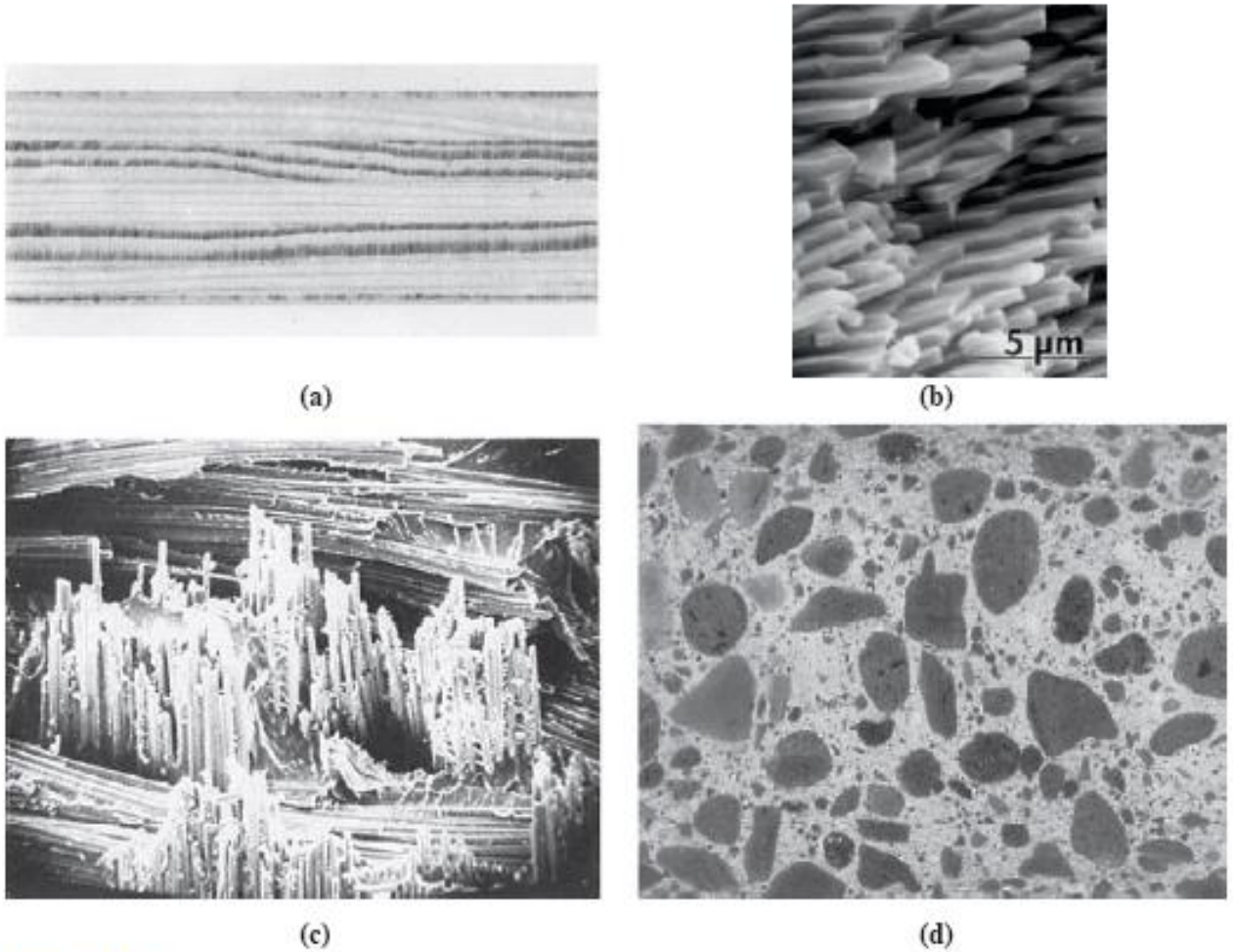


Figure 17-1 Some examples of composite materials: (a) plywood is a laminar composite of layers of wood veneer, (b) abalone shell is a composite of aragonitic ($CaCO_3$-orthorhombic) platelets surrounded by 10 nm thick layers of proteinaceous organic matrix. (*Courtesy of Professor Mehmet Sarikaya, University of Washington, Seattle.*) (c) Fiberglass is a fiber-reinforced composite containing stiff, strong glass fibers in a softer polymer matrix (× 175), and (d) concrete is a particulate composite containing coarse sand or gravel in a cement matrix (reduced 50%). (*Images (a), (c), and (d) reprinted courtesy of Don Askeland.*)

Güçlü Malzeme

İki veya çok fazlı malzemeler

a. Tanecikli kompozit malzemeler

Tanecikler zayıf (gevrek dislokasyona duyarlı) malzemeleri mukavemetli kılmak için kullanılabilir materials (typically metals)

b. **Matris** malzeme ile birarada tutulan elyaf takviyeli kompozitler :

Elyafları büyük çatlaklardan korur

Yükün aktarılmasını sağlartransfers loads

Elyafı yüzey kusurlarına karşı korur

Malzeme Türleri

Metaller	Seramikler	Polimerler
• *Yüksek yoğunluk* • *Orta ve yüksek ergime noktası* • *Orta ve yüksek elastik modül* • *Reaktif* • *Sünek*	• *Düşük yoğunluk* • *Yüksek ergime noktası* • *Çok yüksek elastik modül* • *Reaktif değil* • *Gevrek*	• *Çok düşük yoğunluk* • *Düşük ergime noktası* • *Çok düşük elastik modül* • *Çok reaktif* • *Sünek ve gevrek*

Kompozitler

- Modern teknolojik endüstriler hafif üstün ve spesifik özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç duymaktadır.
- Polimer esaslı kompozit endüstriyel uygulama alanı hızla gelişmektedir.
- Özellikle uzay, havacılık, savunma, sportif malzemler, sporting goods, ulaşım gibi endüstrilerde rijitlik/yoğunluk, mukavemet/yoğunluk oranları gibi malzeme özellikleri ile kompozitler ön plana çıkmaktadır
- Çelik ve alüminyumun yerine kullanılabilirliği mevcuttur.
- Kompozitler çelik parçalara göre ağırlıkça, %60-80 alüminyum parçalara göre % 20 -50 arası ağırlık avantaji sağlar
- Üretim maliyetleri nispeten yüksektir.

I ♥ COMPOSITES

Kompozit Oluşturma Amaçları

- Rijitlik
- Kırılma tokluğu
- Yüksek sıcaklık özellikleri
- Elektrik iletkenliği
- Hafiflik-ağırlık
- Çekme dayanımı
- Aşınma dayanımı
- Yorulma dayanımı
- Korozyona dayanım
- Isıl iletkenlik
- Akustik iletkenlik
- Ekonomiklik
- Estetik görünüm

Kompozitler

Bir kompozitmalzeme, temel olarak birbiri içinde çözünmeyen ve birbirinden farklışekil ve/veya malzeme kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla makrobileşeninkarışımından veya birleşmesinden meydana gelen malzeme sistemidir

Veya;

Kompozit makroyapısal olarak birbirinden farklı özelliklere sahip iki veya daha fazla bileşenin (fazın) heterojen kombinasyonu sonucu (takviye elemanı, dolgu ve yapıştırıcı) oluşan ve oluştuğu malzemelerin özelliklerinden daha iyi özelliklere sahip olan yeni bir malzemedir.

Kompozit Nedir?

Farklı bileşenlerle beraber kimyasal olarak birbirinden farklı en azından iki malzeme kombinasyonundan oluşmalıdır.

Kompozit son ürünü, kendisini meydana getiren bileşenlerin tek başlarına sahip olamayacakları özellikleri göstermelidir

Bileşenler tamamiyle çözünmez veya birleşmeyerek (orijinal hallerini koruyarak) aralarında arayüzey adı verilen üçüncü bir faz oluştururlar.

Hangi malzeme kompozit, hangi malzeme monolitik malzeme?

Yapı seviyelerini göz önünde bulundurmak gerekir. Bunlar;

<u>Atomik Seviye:</u> Tek molekül ve kristal hücrelerine göre

Tüm malzemeler, iki veya daha fazla sayıdaki farklı atomların bir arada bulunması durumunda kompozittir.

(katı eriyikler, alaşımlar, polimerler ve seramikler kompozit)

<u>Mikroyapısal Seviye:</u> İki kristal, faz, iki molekül kompozit. Çelikler, dökme demirler, intermetalikler kompozit sınıfına gire

<u>Makroyapısal Seviye:</u> Kaba olarak iki bileşenin oluşturduğu yapılar (matriksler, partiküller, fiberler)

Farklı makrobileşenler mevcut.
Kompozit olarak bilinen bazı malzemeleri kapsamamaktadır.
Daha kapsayıcı olması için bileşenlerin tabiatları ve iki karakteristikleri daha göz önüne alınmaktadır.

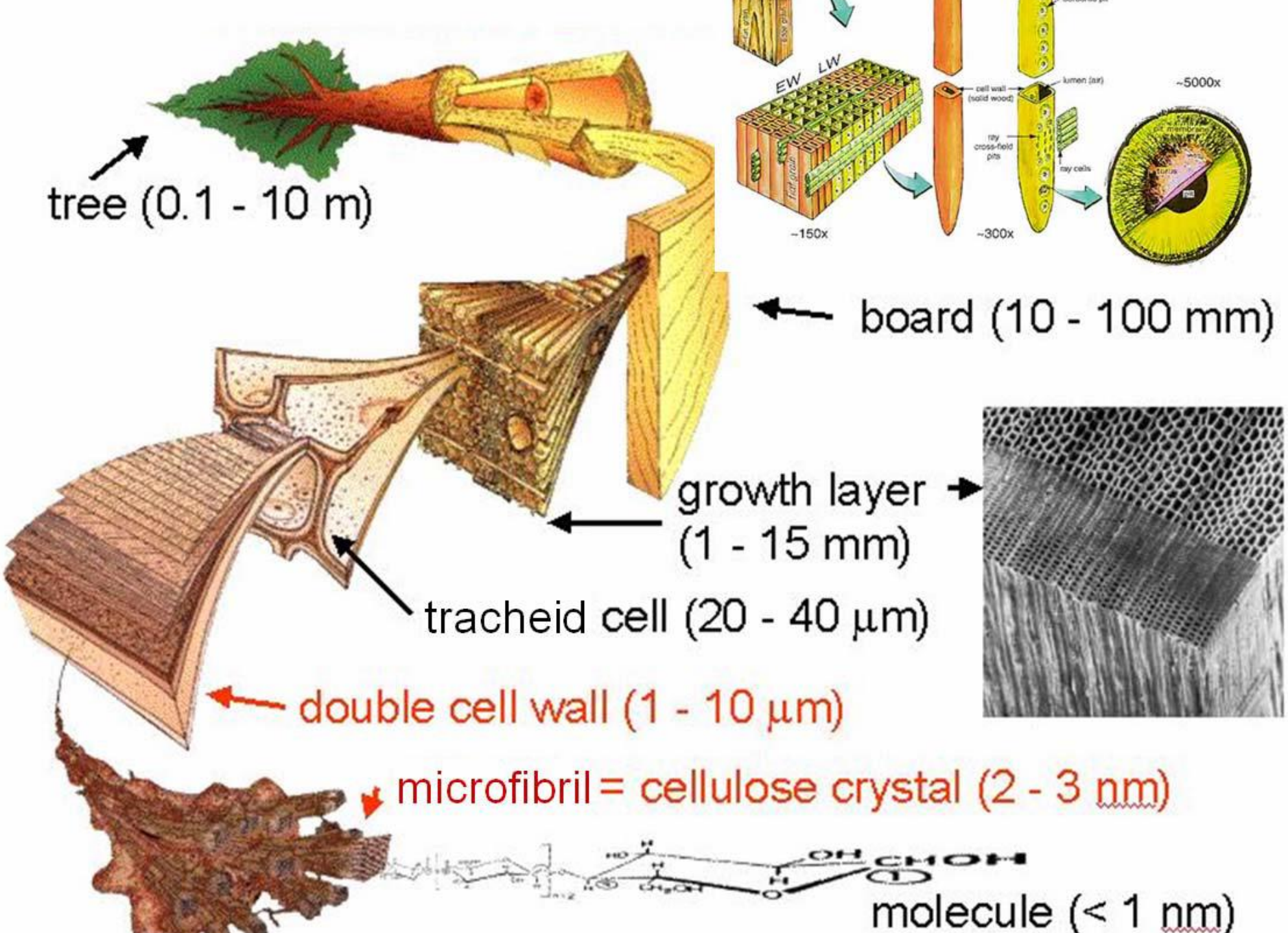
Örneğin

Odun; selüloz elyafları ve lignin hemiselüloz matris bağlayıcıdan oluşan doğal bir elyaf takviyeli kompozittir.

Beton kum çimento ve agrega (çakıl) dan oluşan suni bir kompozittir.

Sentetik elyaf takviyeli polimer kompozitler; cam ve karbon elyaf takviyeli epoksi kompozitler (örn. uçak kanatları)

Parçacık takviyeli kompozitler: dolgu maksatlı polimer kompozitler(örn. Odun plastik kompoziti)


tree (0.1 - 10 m)
EW
LW
~150x
~300x
~5000x
cell wall (solid wood)
lumen (air)
ray cross-field pits
ray cells
torus
pits
board (10 - 100 mm)
growth layer
(1 - 15 mm)
tracheid cell (20 - 40 µm)
double cell wall (1 - 10 µm)
microfibril = cellulose crystal (2 - 3 nm)
molecule (< 1 nm)

Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Farklı sınıflandırmalar yapılmaktadır

Malzeme kombinasyonları (Metal-organik veya metal-inorganik)
Bileşen fazların karakteristikleri (Matriks sistemleri),
Bileşenlerin dağılımları (Sürekli, süreksiz),
Fonksiyonları (Elektiriksel veya yapısal)

Bileşenlerin şekline göre yapılan genel bir sınıflandırma:

1. Fiberli kompozitler, fiberler + matriks veya matriksiz fiber.

2. Levhasal kompozitler, düz plakalar + matriks veya levha ile matriksiz yapı.

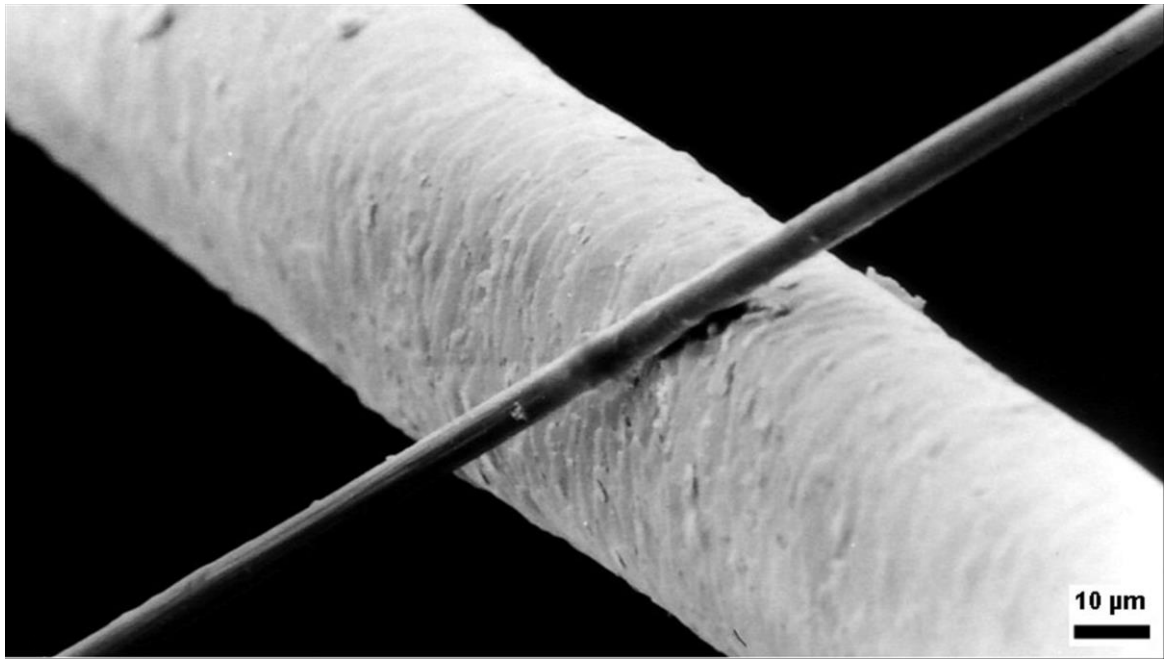
3. Partikül kompozitler, partiküller + matriks veya partikül ile matriksiz yapı.

4. Doldurulmuş(veya iskelet) kompozitler, sürekli bir iskelet matriksin ikincil bir malzemeyle doldurulması.

5. Tabakalı kompozitler, farklı bileşen tabakalarından oluşmuş kompozit.

Elyaf görevleri

- Yükü taşımak (yapısal uygulamarda, yükün 70 to 90% elyaflarla karşılanır)
- Elastikiyet mukavemet termal kararlılık, sertlik, iletkenlik ve diğer yapısal özellikler

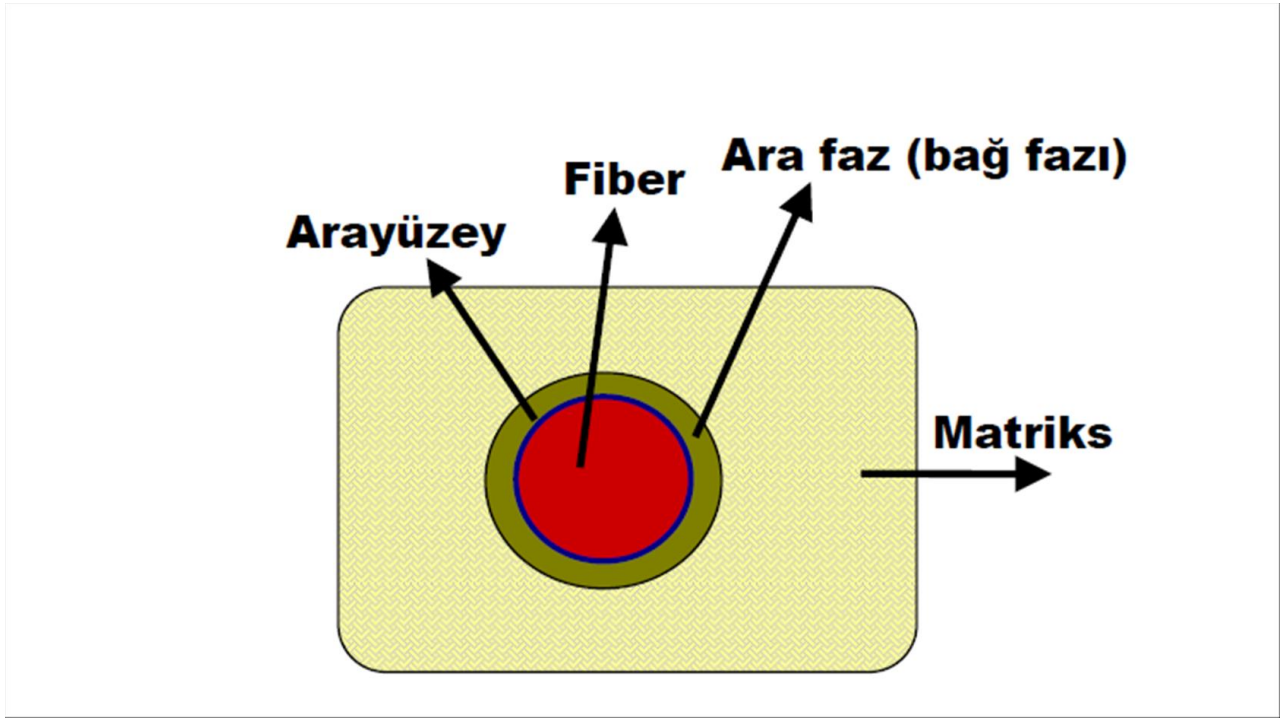


Matrisin görevleri

- Elyafları birarada tutmak ve yükün elyaflara taşınmasını sağlamak
- Yapısal formu korumak ve rijitliği sağlamak
- Elyafları izole ederek bireysel bir lifin çatlaması ve kırılması durumunda kompozitin kırılmasını yavaşlatmak veya engellemek
- Yüzey kalitesini sağlayarak son ürün halinde üretim sağlamak
- Elyafları kimyasal ve mekanik zararlara karşı korumak
- Süneklik, ve kırılma mukavemeti özelliklerini kontrol etmek
- Kompozit kırılma modu elyaf ile olan uyumuna bağlı olarak belli olur

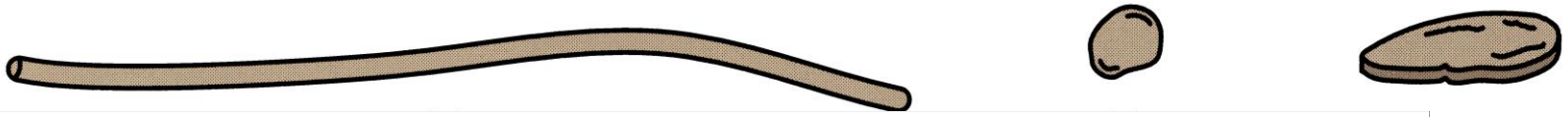
Arayüzey

- Kompozitüstün özellik içermeli (arayüzeybağıyeterli olmalı)
- Bu durumda teknolojik olarak malzeme kompozitsayılabilir



Fiber ve matriks arayüzeyive bileşenler arasında meydana gelen arafaz.

Kompozitlerin sınıflandırılması (Takviye şekline göre)



Levhasal Kompozitler

Matriks fazi içindeki levha şekilli takviye elemanları
Al-grafit (levha) sistemi
Levhalar; pullar, cam, mika ve metal olabilir
En çok bilinen metal levhalar AlB2 ve Be levhalar.

Partikül Kompozitler

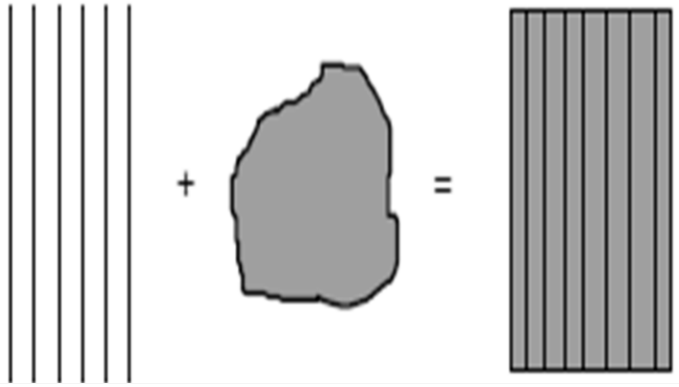
İki makro ölçekli partikül veya bir matriks içinde partikül.
Partikül takviyeri metal, seramik veya polimer olabilir.

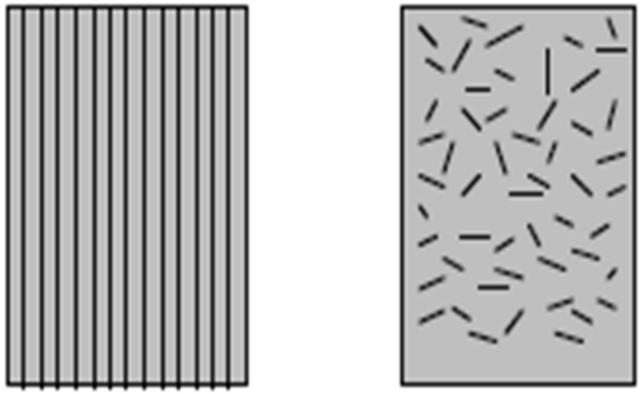
Doldurulmuş Kompozitler

Ön hazırlanmış iskeletlere (bal peteği, preform) matriks malzemesi döküm veya basınç yoluyla doldurulur.

Tabakalı Kompozitler

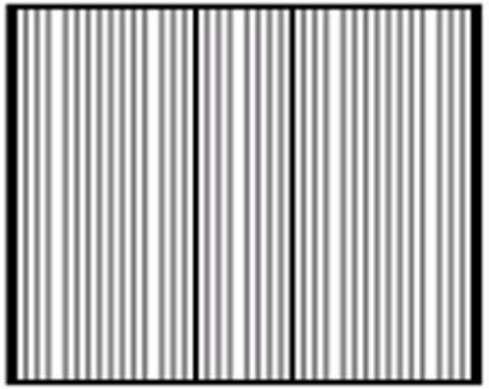
Farklı özellikteki en az iki tabaka birleştirilir.
Polimer-cam, Metal-seramik, seramik-polimer





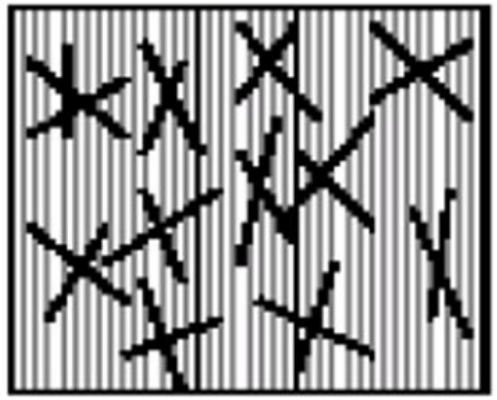
Continuous fiber composites Short fiber composites

Continuous Fiber



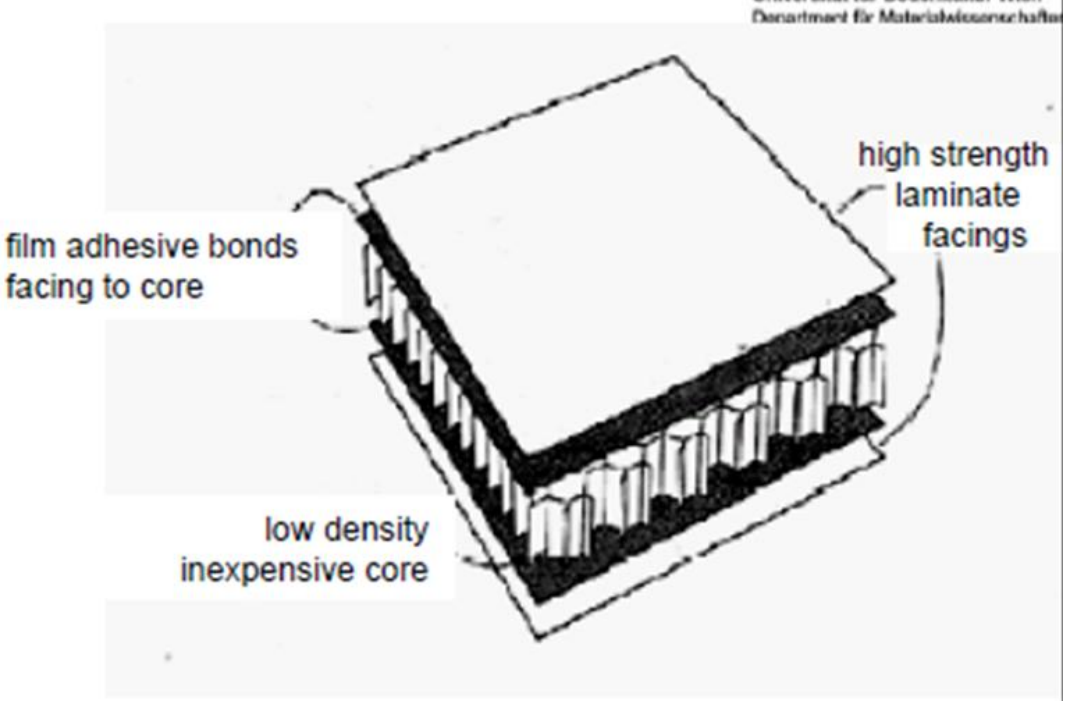
Woven

Hybrids



Chopped Fiber

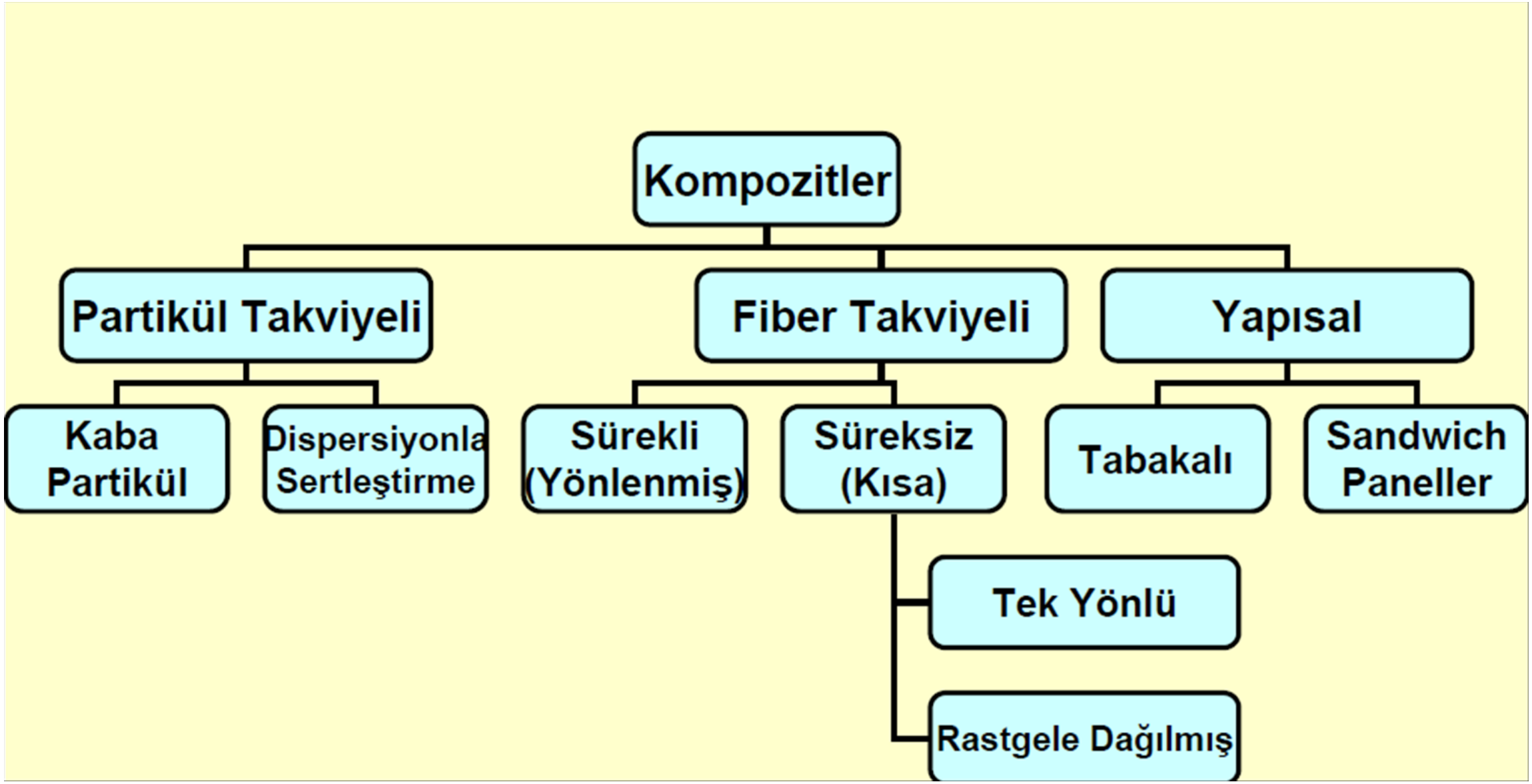
Fibre - Matrix Composite Structures



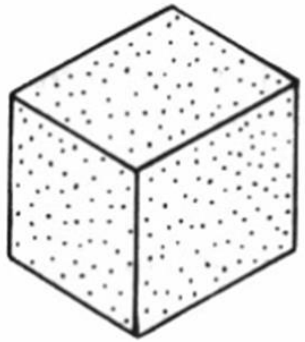
Composite Sandwich Structure

Constituent Materials in Composites:

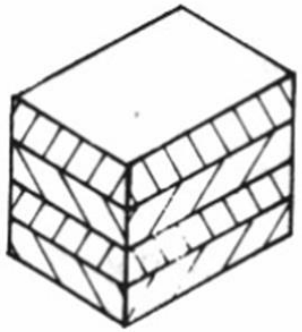
1. Reinforcing Elements (Fibers)
2. Matrix or binders
3. Fillers


Kompozitler
Partikül Takviyeli
Fiber Takviyeli
Yapısal
Kaba Partikül
Dispersiyonla Sertleştirme
Sürekli (Yönlenmiş)
Süreksiz (Kısa)
Tabakalı
Sandwich Paneller
Tek Yönlü
Rastgele Dağılmış

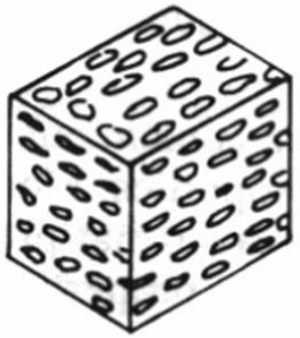
FIBER COMPOSITE



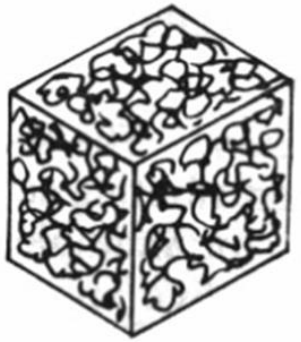
PARTICULATE COMPOSITE



LAMINAR COMPOSITE



FLAKE COMPOSITE



FILLED COMPOSITE

Yapısal bileşenlerin şekline göre kompozit sınıflandırması

Kompozitlerin Sınıflandırılması (Bağlayıcıya göre)

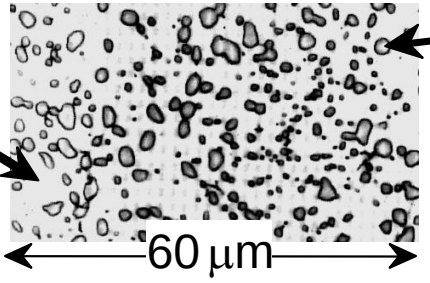
1. *Metal Matris Kompozitler* (MMCs) - Seramik ve metalik tozların karışımı ile üretilen alaşımlar sermetlerceramics and metals, such as cemented carbides and other cermets
2. *Ceramic Matrix Composites* (CMCs) - Al_2O_3 and SiC bağlayıcılar seramik elyaflarla takviye edilerek esaslı yüksek sıcaklık uygulamalarında
3. *Polymer Matrix Composites* (PMCs) - termoset reçineler daha yaygın olarak kullanılmaktadır.
   - Örn: elyaf takviyeli epoksi polyester reçineler ve fenolik toz bağlayıcılar

Sınıflandırma: Tanecik-Takviyeli(i)

Tanecik-takviyeli | Elyaf-takviyeli | Yapısal

- Examples:
  - Spheroidite steel

matris: ferrit (α) (demir)

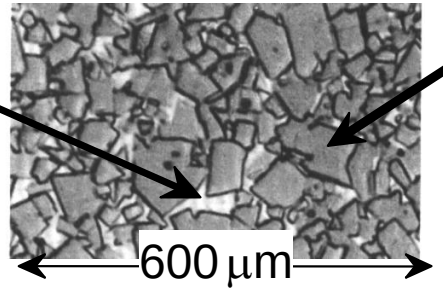


tanecik: cementite (Fe_3C) (gevrek)

Adapted from Fig. 10.19, *Callister & Rethwisch 8e*. (Fig. 10.19 is copyright United States Steel Corporation, 1971.)

  - WC/Co cimentolu karbit

matris: Kobalt (sünek, tok):

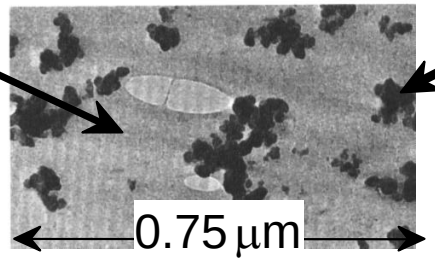


tanecik: WC (gevrek, sert)

Adapted from Fig. 16.4, *Callister & Rethwisch 8e*. (Fig. 16.4 is courtesy Carboloy Systems, Department, General Electric Company.)

  - Automobile Araç kaucuğu

matris: kaucuk (yumuşak)



tanecik: Karbon siyahı (rijit)

Adapted from Fig. 16.5, *Callister & Rethwisch 8e*. (Fig. 16.5 is courtesy Goodyear Tire and Rubber Company.)

Sınıflandırma: Elyaf takviyeli

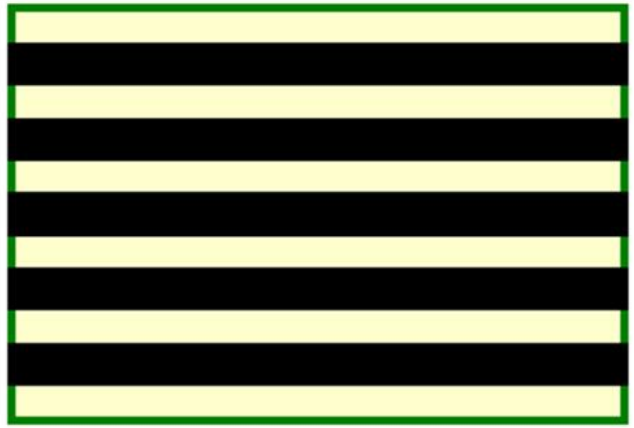
Partikül takviyeli | **Elyaf takviyeli** | Yapısal

- Elyaflar gerilim mukavemetinde güçlüdür
  - Kompozite mukavemet artışı sağlarlar
  - Ex: Polimer matriste sürekli cam elyaf filamentleri
    - Cam elyaf
      - Mukavemet ve elastikiyet(rijitlik sertlik)
    - Polimer matris
      - Elyafları birarada tutar
      - Elyaf yüzeyi korur
      - Elyafa yük taşır

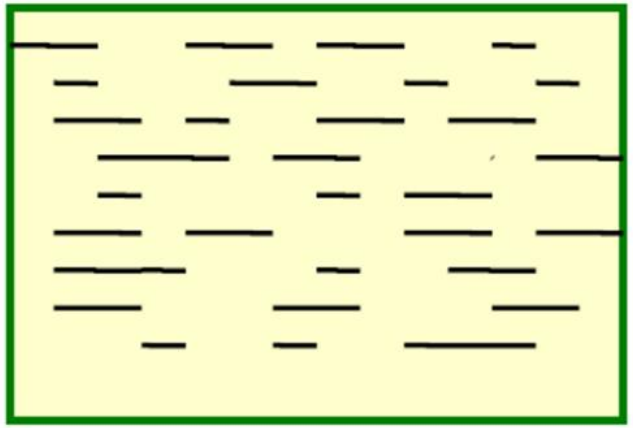
Sınfılandırma: Elyaf takviyeli (ii)

Partikül takviyeli | **Elyaf takviyeli** | Structural

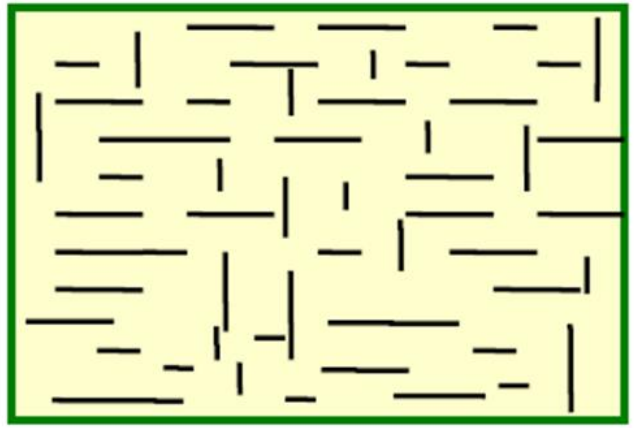
- Elyaf tipleri
  - Whiskers (Kıl) – İnce tek kristal yapı- yüksek uzunluk/kalınlık oranı
    - grafen, silikon nitrit, silikon karbit
    - Yüksek kristal mükemmeliyet, çok güçlü (en güçlü)
    - Pahalı ve homojen dağılımı zor
  - Elyaflar
    - polykristalin or amorf
    - genellikle polimer ve seramik
    - Ex: alümina, aramid, E-cam, bor, UHMWPE
  - Teller
    - metaller – çelik, tungsten



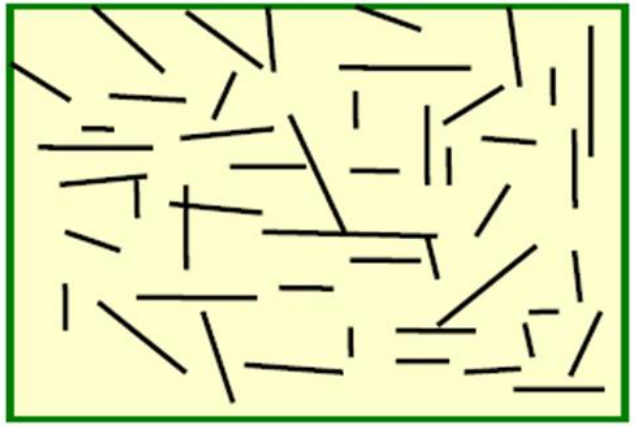
Sürekli fiber takviyeli kompozit



Kısa fiber veya whisker takviyeli kompozit (tek boyutlu düzen)



Kısa fiber veya whisker takviyeli kompozit (düzlemsel dağılmış)



Kısa fiber veya whisker takviyeli kompozit (üç boyutta dağılmış)

Şekil. Fiber şekilleri ve mümkün fiber dağılımları.

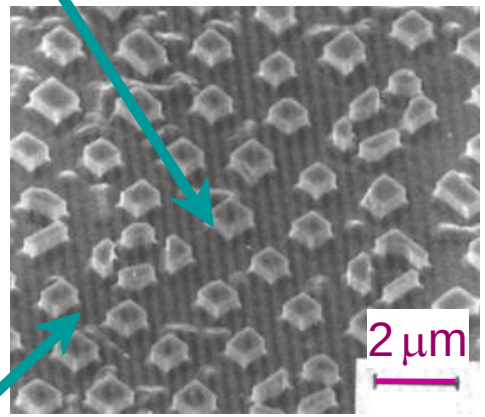
Sınıflandırma Elyaf takviyeli(iii)

Partikül takviyeli | **Elyaf takviyeli** | Yapısal

- Aligned Sürekli elyaf
- Examples:

-- Metal: $\gamma'(Ni_3Al)$-$\alpha(Mo)$ by eutectic solidification.

matrix: α (Mo) (ductile)



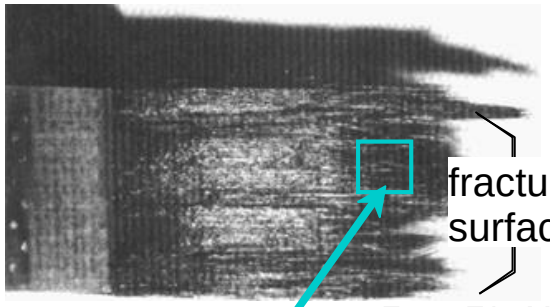
fibers: γ' (Ni_3Al) (brittle)

From W. Funk and E. Blank, "Creep deformation of Ni_3Al-Mo in-situ composites", *Metall. Trans. A* Vol. 19(4), pp. 987-998, 1988. Used with permission.

-- seramik: Glass w/SiC fibers formed by glass slurry

E_{glass} = 76 GPa; E_{SiC} = 400 GPa.

(a)



(b)

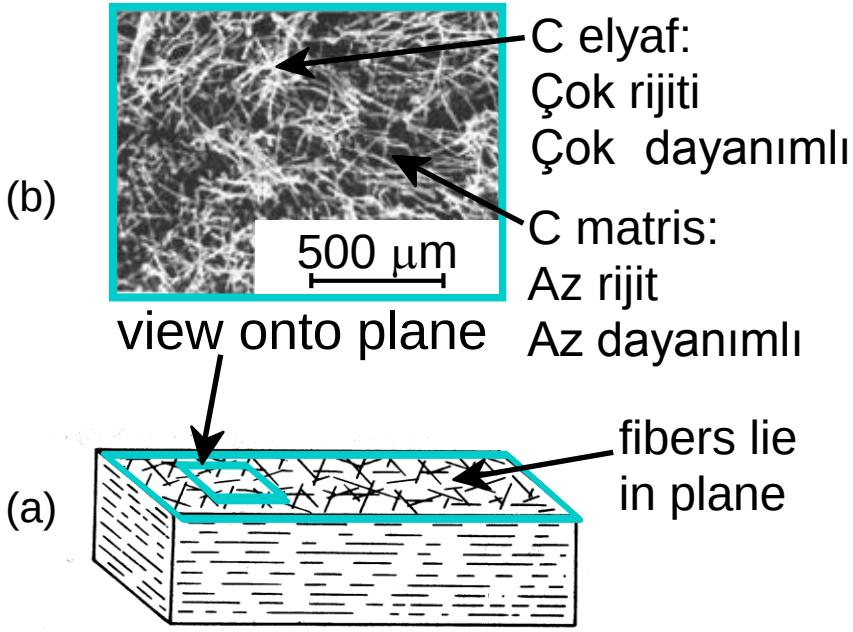
From F.L. Matthews and R.L. Rawlings, *Composite Materials; Engineering and Science*, Reprint ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 2000. (a) Fig. 4.22, p. 145 (photo by J. Davies); (b) Fig. 11.20, p. 349 (micrograph by H.S. Kim, P.S. Rodgers, and R.D. Rawlings). Used with permission of CRC Press, Boca Raton, FL.

Sınıflandırma: Elyaf takviyeli(iv)

Tanecik takviyeli | **Elyaf takviyeli** | Yapısal

- Süreksiz elyaflar, rastgele iki boyutta
- Örnek: Karbon-Karbon
  -- Üretim prosesi:
  - carbon fibers embedded in polymer resin matrix,
  - polymer resin pyrolyzed at up to 2500ºC.

  -- Kullanımlar: fren diski, gas turbini çıkış kapakları, missile nose cones.
- Diğer uygulamalar:
  -- Kısa süreksiz Rastgele, 3D
  -- Kısa süreksiz, yönlenmiş



Adapted from F.L. Matthews and R.L. Rawlings, *Composite Materials; Engineering and Science*, Reprint ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 2000. (a) Fig. 4.24(a), p. 151; (b) Fig. 4.24(b) p. 151. (Courtesy I.J. Davies) Reproduced with permission of CRC Press, Boca Raton, FL.

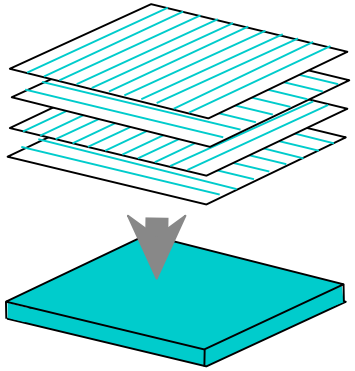
Sınıflandırma: Yapısal

Tanecik takviyeli | Elyaf takviyeli | **Yapısal**

- Laminatlar -

  -- üstüste istiflemeyle yapıştırılmış elyaf takviyeli katmanlar

  - İstifleme dizisi: örn., 0º/90º
  - Yararı: Dengeli düzlemsel elastikiyet



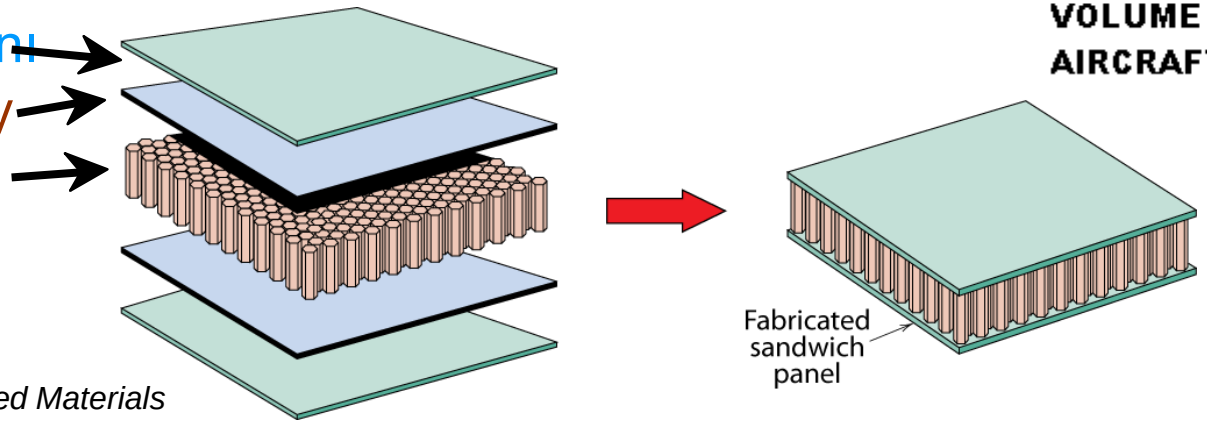
Adapted from Fig. 16.16, *Callister & Rethwisch 8e*.

- Sandiviç paneller

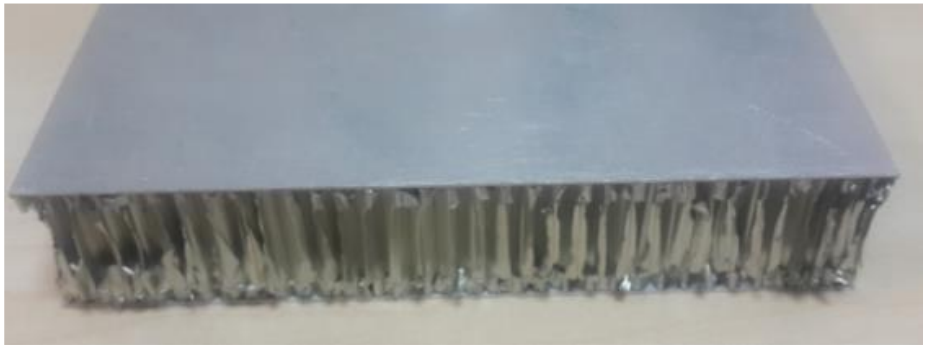
  -- Balpeteği köpük ara malzeme

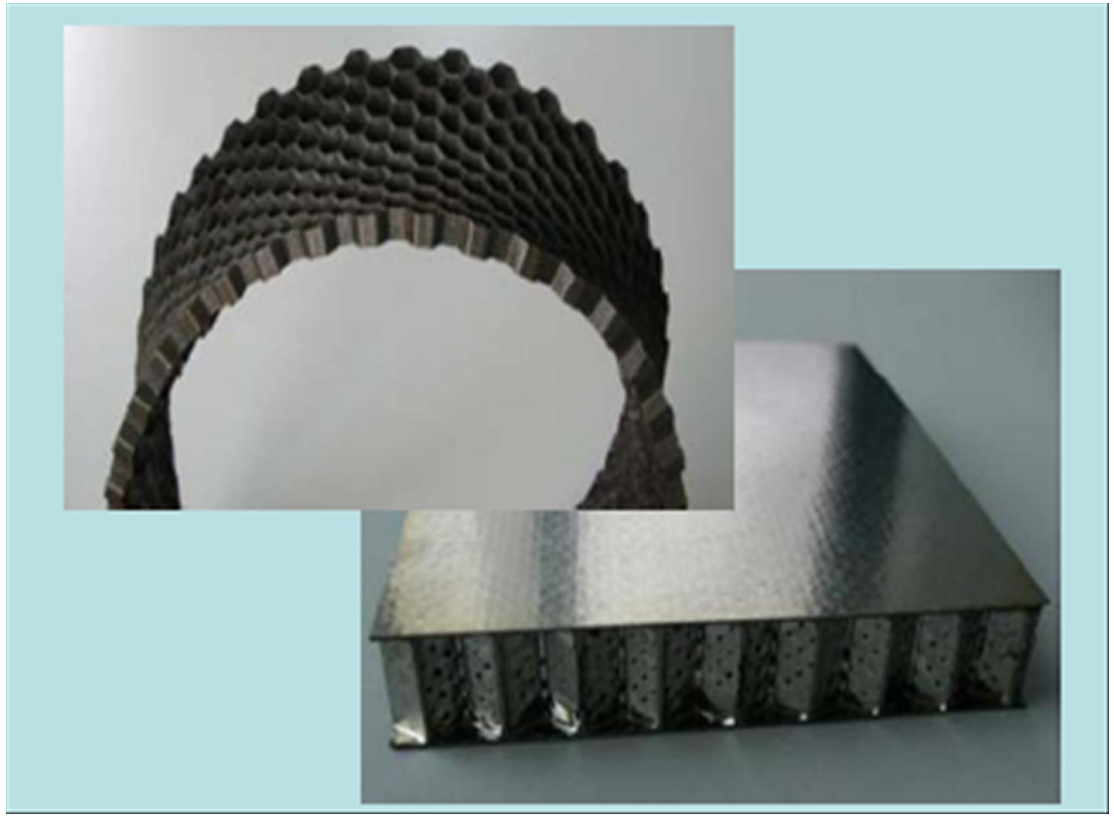
  - Yararı: düşük yoğunluk, Yüksek eğilme elastikiyeti

FOR STIFFENING IN LATERAL DIRECTION AND VOLUME FOR FUEL IN AIRCRAFTS



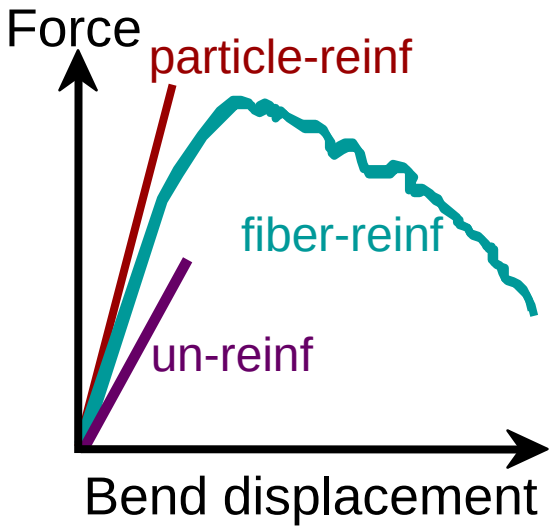
Adapted from Fig. 16.18, *Callister & Rethwisch 8e*.
(Fig. 16.18 is from *Engineered Materials Handbook*, Vol. 1, *Composites*, ASM International, Materials Park, OH, 1987.)



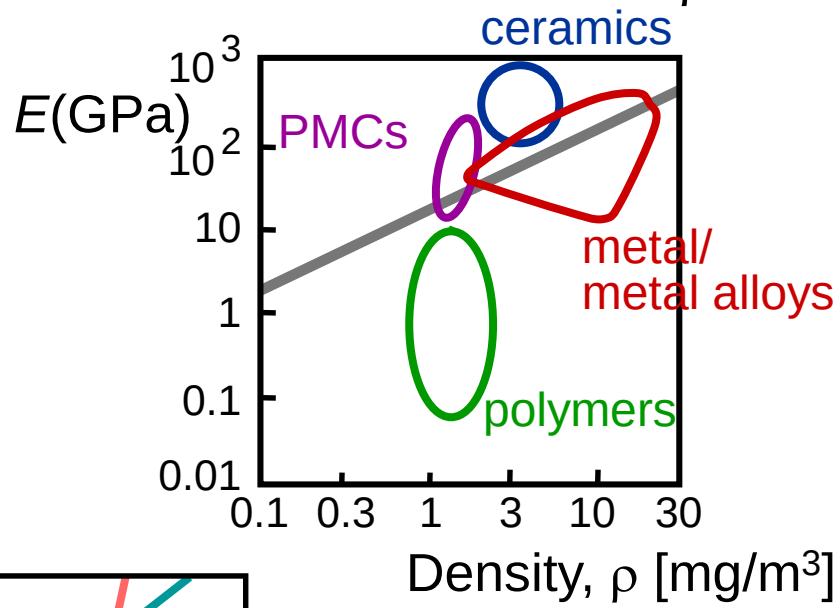


Kompozit Avantajları

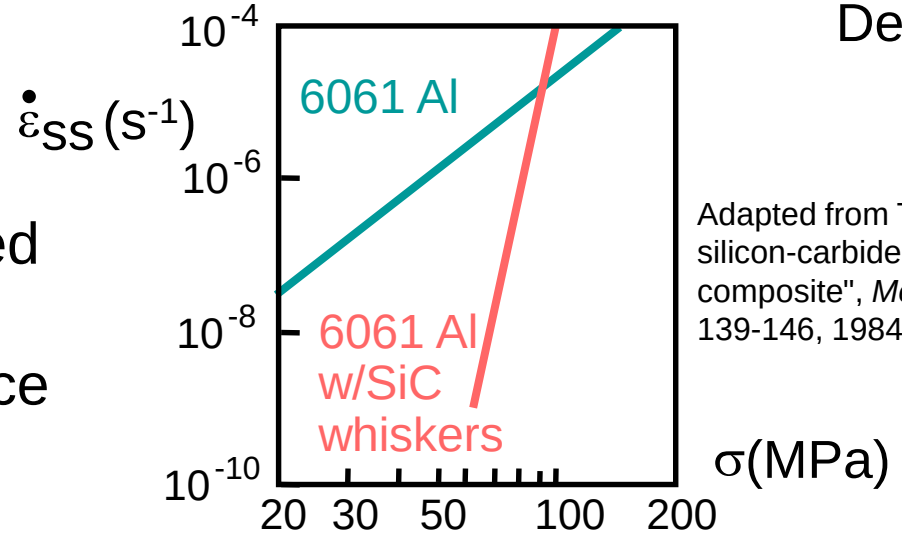
- CMCs: Artan tokluk



- PMCs: Artan E/ρ



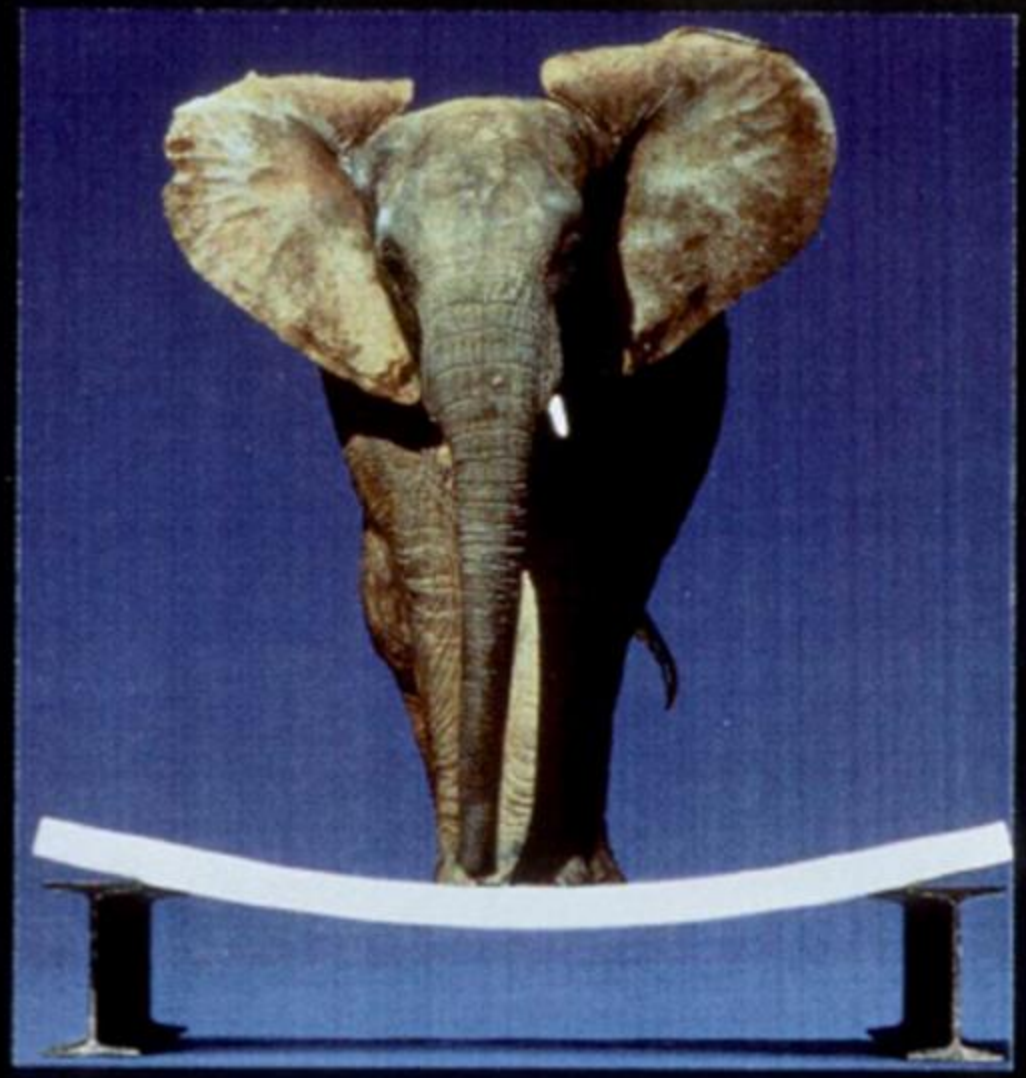
- MMCs: Increased creep resistance

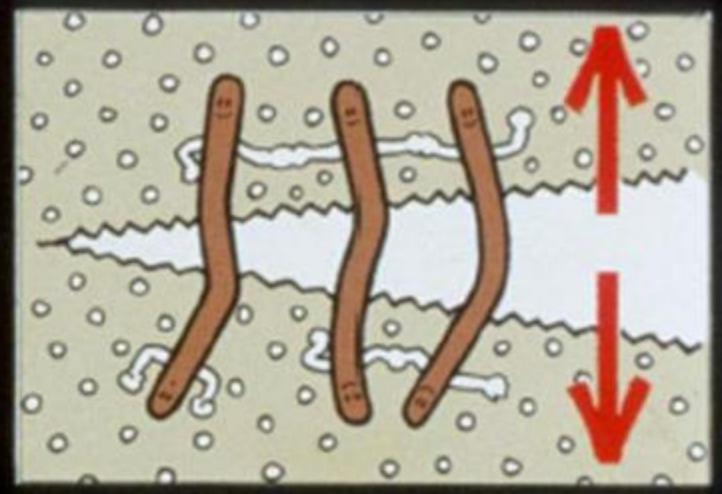


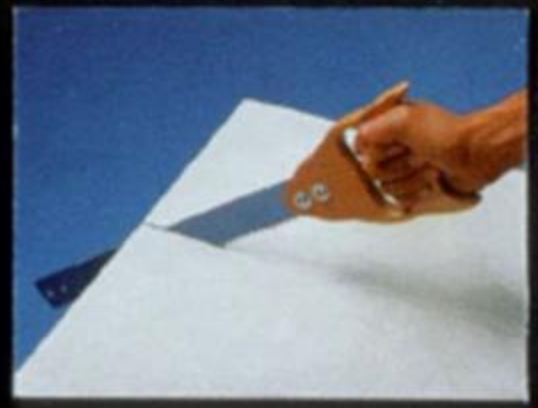
Adapted from T.G. Nieh, "Creep rupture of a silicon-carbide reinforced aluminum composite", *Metall. Trans. A* Vol. 15(1), pp. 139-146, 1984. Used with permission.

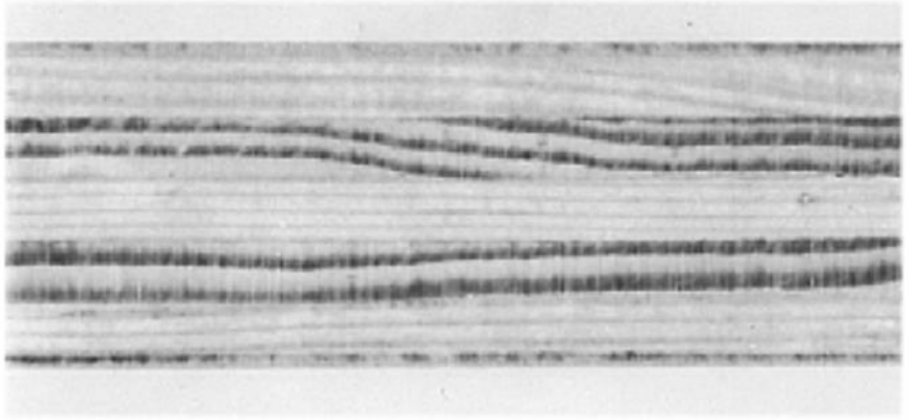
REINFORCED CONCRETE

(Kajima Corporation)



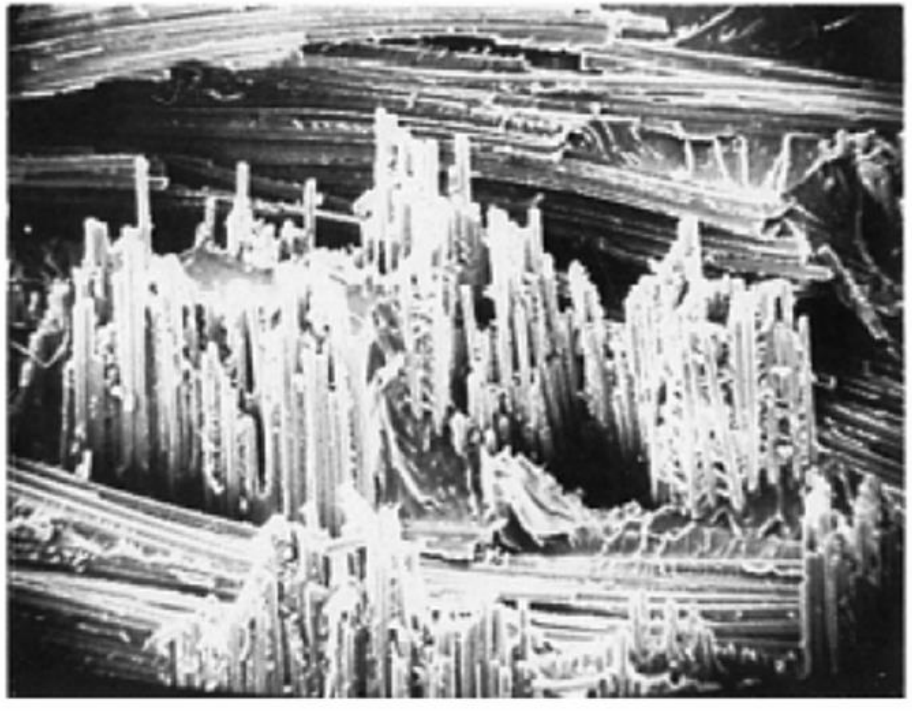




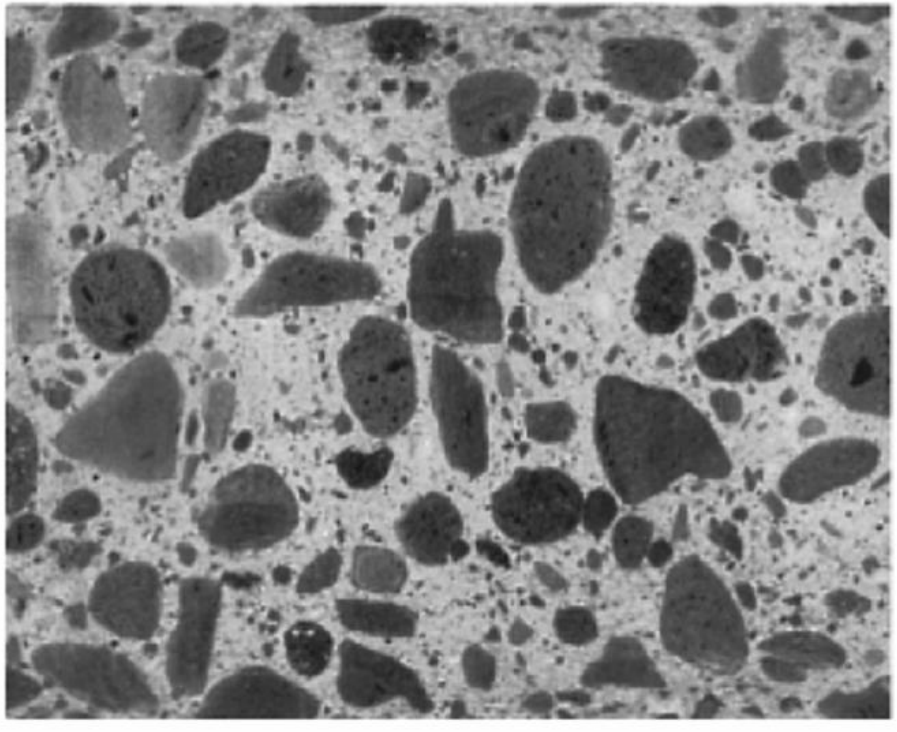


(a)

Kompozit malzemelere üç örnek mikroyapı, a) tabakalı bir kompozit olan kontraplak, b) Yüksek mukavemetli cam fiber ve yumuşak matriksten oluşan PMK, c) Bir partikül kompozit olan ve çimento matriksinde farklı boyutlu kum ve çakıl takviye beton



(b)



(c)

Özet

- Kompozitler sınıflandırılabilir:
  -- the matris malzeme (CMC, MMC, PMC)
  -- the takviye elemanı (tanecik, elyaf, yapısal)
- Kompozit özellik gelişimi:
  -- MMC: gelişen E, σ^*, creep performance
  -- CMC: gelişen K_{Ic}
  -- PMC: gelişen E/ρ, σ_y, TS/ρ
- Partikül takviyeli:
  -- Çeşitler: büyük tanecikli and dispersiyon mukavemtli
  -- özellikler izotropiktir
- Elyaf takviyeli:
  -- Types: sürekli (aligned)
  süreksiz (aligned or random)
  -- Özellikler isotropik ve anizotropik
- Yapısal:
  -- Laminatlar ve sandviç paneller

Kompozit avantajları

- Parça entegrasyon kabiliyeti.
- Sensör uygulaması ile hizmet süresi ve kullanım online üretim takibi
- Spesifik (özgül) mukavemet ve rijitlik yüksektir. (çelik ve alüminyum alaşımlara göre 3-5 kat daha yüksek)
- Yorulma mukavemeti yüksektir
- Korozyon ve kimyasal direnci yüksektir
- Termal genleşme katsayısı (CTE) 0 olabilir
- Karmaşık parçaların üretilebilirliği daha kolaydır
- İyi şok kırılma dayanımı (Yüksek tokluk)
- Gürültü, vibrasyon sertlik özellikleri metallerden daha iyidir.
- Tasarım özgürlüğü
- Üretim makinaları daha uygundur (düşük sıcaklık ve basınçta üretim gereksinimi

Kompozit dezavantajları

- Hammadde maliyeti yüksektir. (ağırlıkça çelik ve alüminyuma göre 5 ile 20 kat daha pahalıdır.)
- Düşük üretim hızı (İleri malzeme uygulamalarında örn otoklav üretimi)
- Kullanılan matris malzemeye göre düşük sıcaklık dayanımı.
- Kompozitler su alıp boyutlarını değiştirebilir,budurum özelliklerini etkileyebilir. (Ortalama kullanım sıcaklık aralığı –40 to +100°C and yüksek sıcaklık aralığı 150-200 °C).
- Kullanılan matrise bağlu kimyasal direnç ve çevresel çatlak oluşum riski

30 km!

Breaking length: Failing of a hanging rod due to its own weight!

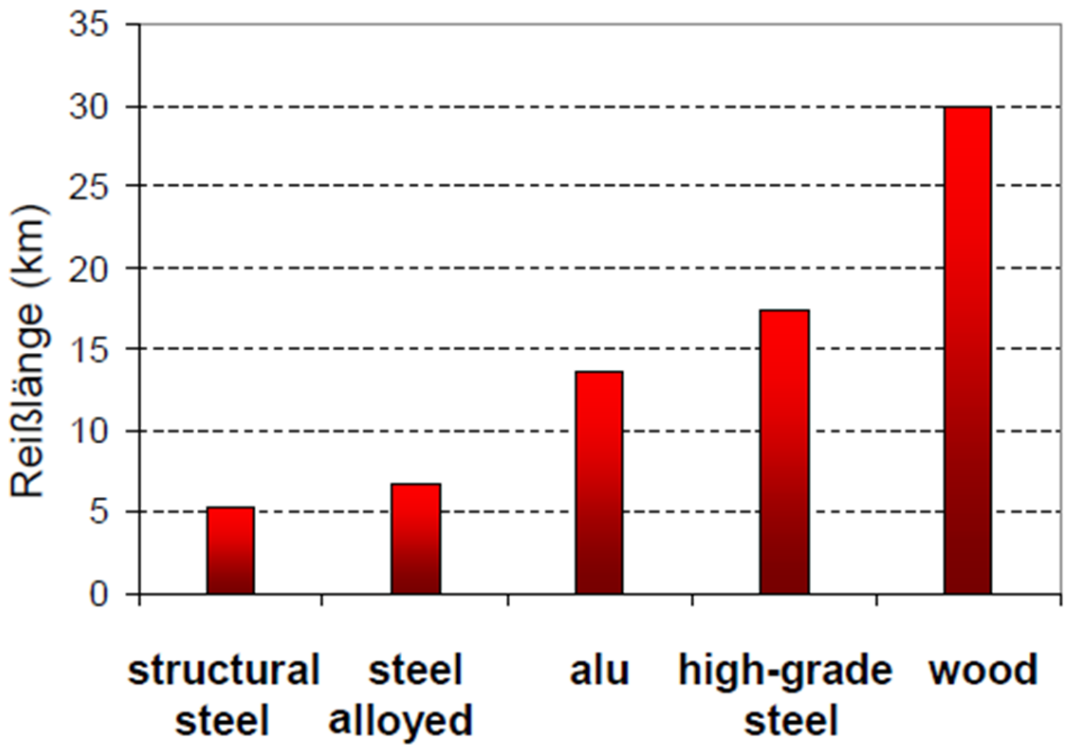
$F_G = m\,g$ [kg m/s^2] --> $m = \rho\,V = \rho\,l\,A$

$\sigma = F/A$ [N/m^2]

$\sigma = \rho\,l\,A\,g/A$ --> $l_b = \sigma/(g\,\rho)$ [m]

Solution = σ/ρ maximum

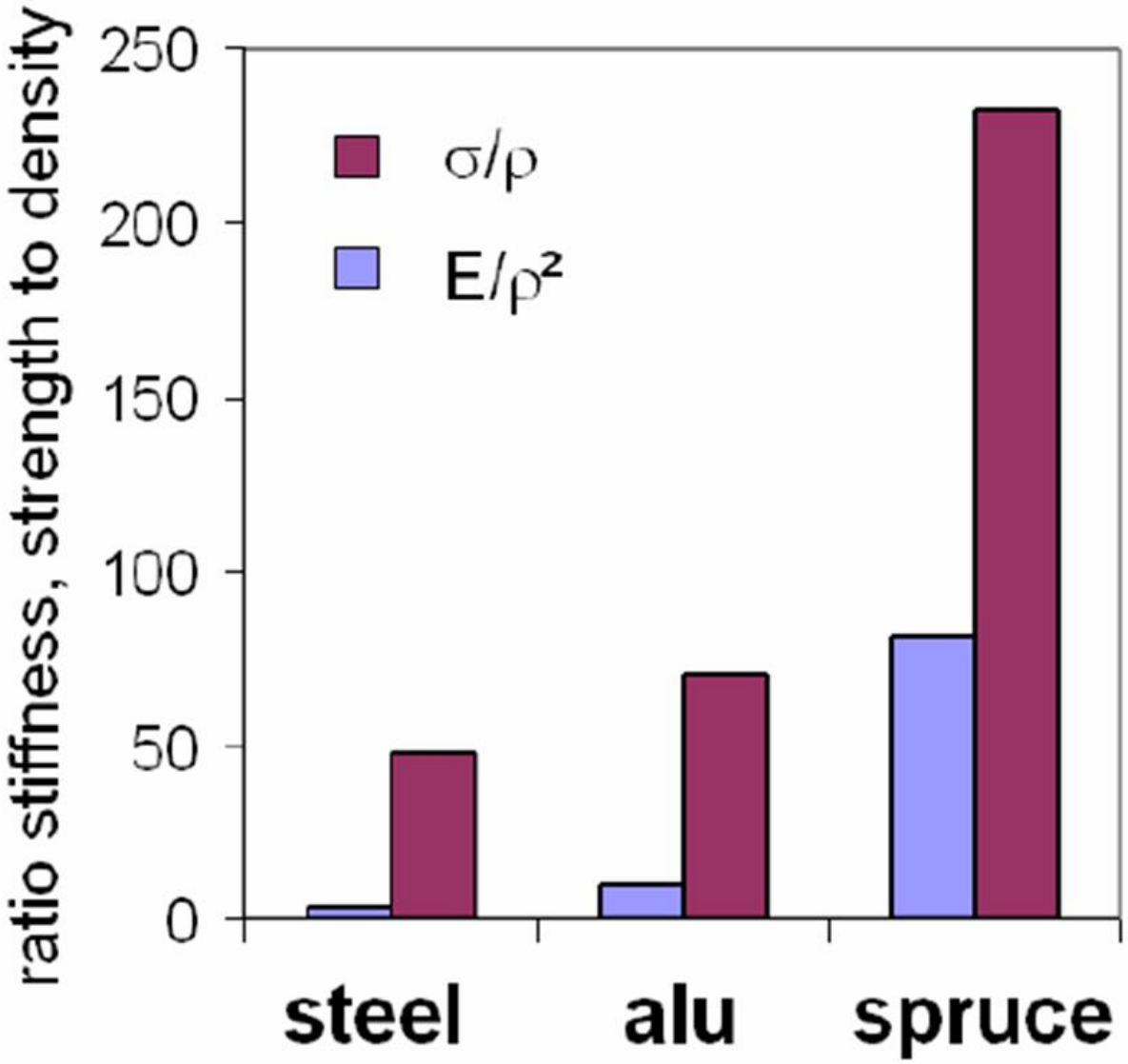
Breaking length: Failing of a hanging rod due to its own weight!

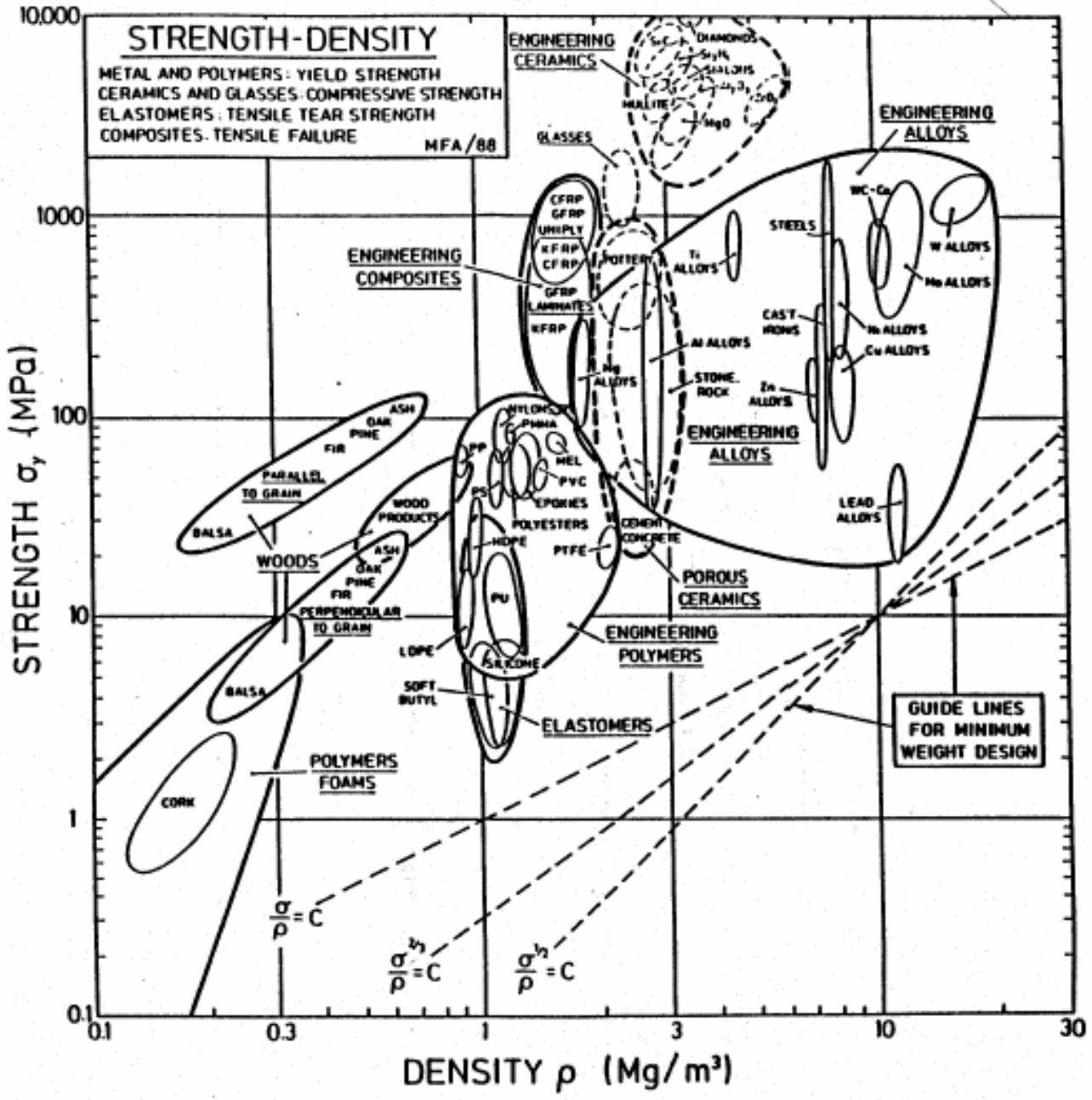


Universität für Bodenkultur Wien
Department für Materialwissenschaften
und Prozesstechnik

Optimum solution for columns if ratio …
→ strength/density
→ stiffness/density²
is high as possible

Optimum solution for tension elements if ratio …
→ strength/density
→ stiffness/density
is high as possible

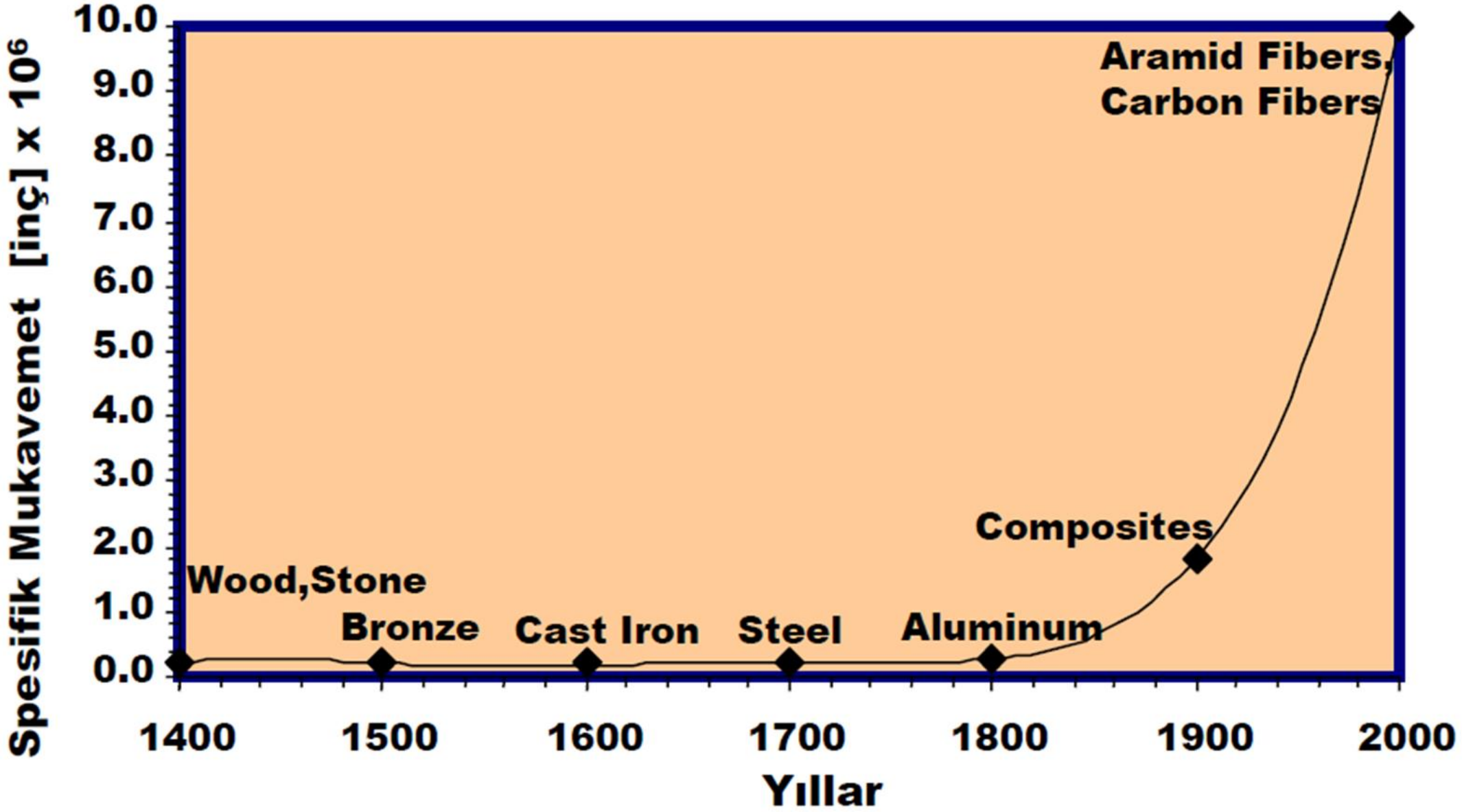



STRENGTH-DENSITY
METAL AND POLYMERS: YIELD STRENGTH
CERAMICS AND GLASSES: COMPRESSIVE STRENGTH
ELASTOMERS: TENSILE TEAR STRENGTH
COMPOSITES: TENSILE FAILURE
MFA/88
ENGINEERING CERAMICS
DIAMONDS
MULLITE
MgO
GLASSES
ENGINEERING ALLOYS
STEELS
WC-Co
W ALLOYS
Mo ALLOYS
Ni ALLOYS
Cu ALLOYS
CAST IRONS
Zn ALLOYS
LEAD ALLOYS
Ti ALLOYS
Al ALLOYS
Mg ALLOYS
STONE, ROCK
ENGINEERING COMPOSITES
CFRP
GFRP
UNIPLY
KFRP
CFRP
GFRP LAMINATES
KFRP
POTTERY
NYLONS
PMMA
PP
MEL
PVC
PS
EPOXIES
POLYESTERS
HDPE
PTFE
CEMENT CONCRETE
POROUS CERAMICS
ENGINEERING POLYMERS
PU
LDPE
SILICONE
SOFT BUTYL
ELASTOMERS
WOODS
PARALLEL TO GRAIN
ASH
OAK
PINE
FIR
BALSA
WOOD PRODUCTS
PERPENDICULAR TO GRAIN
POLYMERS FOAMS
CORK
GUIDE LINES FOR MINIMUM WEIGHT DESIGN
$\frac{\sigma}{\rho} = C$
$\frac{\sigma^{2/3}}{\rho} = C$
$\frac{\sigma^{1/2}}{\rho} = C$
STRENGTH σ_y (MPa)
DENSITY ρ (Mg/m³)
10,000
1000
100
10
1
0.1
0.1
0.3
1
3
10
30

Performance Indices for Minimum Weight

Component shape and loading	Stiffness design: Maximize	Strength design: Maximize
Tie: load, stiffness, length specified, section area free	E/ρ	σ_f/ρ
Torsion bar or tube: torque, stiffness, length specified, section area free	$G^{1/2}/\rho$	$\sigma_f^{3/2}/\rho$
Beam: loaded externally or by self-weight in bending; stiffness, length specified, section area free	$E^{1/2}/\rho$	$\sigma_f^{3/2}/\rho$
Column: failure by elastic buckling or plastic compression; collapse load and length specified, section area free	$E^{1/2}/\rho$	σ_f/ρ
Plate: loaded externally or by self-weight in bending; stiffness, length, width specified, thickness free	$E^{1/3}/\rho$	$\sigma_f^{1/2}/\rho$
Plate: loaded in-plane, failure by elastic buckling or plastic compression, collapse load, length and width specified, thickness free	$E^{1/3}/\rho$	σ_f/ρ
Rotating disks, flywheels: energy storage	-	σ_f/ρ
Cylinder with internal pressure: elastic distortion, pressure and radius specified; wall thickness free	E/ρ	σ_f/ρ
Spherical shell with internal pressure: elastic distortion, pressure and radius specified, wall thickness free	$E/((1-\nu)\rho)$	σ_f/ρ

To minimize cost, use the above criteria for minimum weight and replace ρ by $C_R\rho$ where C_R is the relative cost per kg.


Spesifik Mukavemet [inç] x 10^6
10.0
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
Aramid Fibers,
Carbon Fibers
Composites
Wood,Stone
Bronze
Cast Iron
Steel
Aluminum
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
Yıllar

Malzeme ve Elyaflar

Stiffness and density

Metals	Stiffness E GPa	Density ρ g/cm³	E / ρ
Fe (steel)	200	7.8	26
Al	70	2.7	26
Cu	126	9.0	14
Ni	210	8.9	24
Ti	119	4.6	26
W	405	19.3	21
Mo	343	10.3	33
Be	315	1.8	175
Li	12	0.53	23

Malzeme ve Elyaflar

Stiffness and density

Inorganics	Stiffness E GPa	Density ρ g/cm³	E / ρ
Al_2O_3	420	4.0	105
Al_2O_3	532	4.0	133
SiC	700	3.2	219
B_4C	483	2.5	193
BeO	395	3.0	132
AlN	350	3.3	106
NaCl	42	2.2	19
C (graphite, in-plane)	1060	2.265	468
C (graph.,out-of-plane)	37	2.265	16

Malzeme ve Elyaflar

Stiffness and density

Inorganic fibres	Stiffness E GPa	Density ρ g/cm³	E / ρ
Asbestos (chrysotile)	159	2.6	61
Asbestos (crocidolite)	189	3.4	56
Mica	231	2.7	86
SiO_2	73	2.2	33
B (on W-core)	385	2.6	148
SiC (Nicalon)	616	2.5	246
Al_2O_3 (FP fibre)	379	4.0	95
Al_2O_3 (Saffil)	285	4.0	71
C (PAN based)	235	1.7	138
C (PAN based)	517	1.9	272
C (pitch based)	827	2.2	376
Glass (E type)	72	2.6	28
Glass (S type)	88	2.5	35

Malzeme ve Elyaflar

Stiffness and density

Organic fibres	Stiffness E GPa	Density ρ g/cm³	E / ρ
Polyethylene	87	0.97	90
Polyethylene	117	0.97	121
Aramid (Kevlar)	121	1.45	83
Aramid (Kevlar)	172	1.47	117
PBO (Zylon)	280	1.56	180
Cellulose	60	1.5	40
Spider silk	7.4	1.35	5.5

PMK Malzemelerde Özellikler

Çelik ve Al ile karşılaştırıldığında fiber takviyeli PMK malzemelerde mekanik özellikler

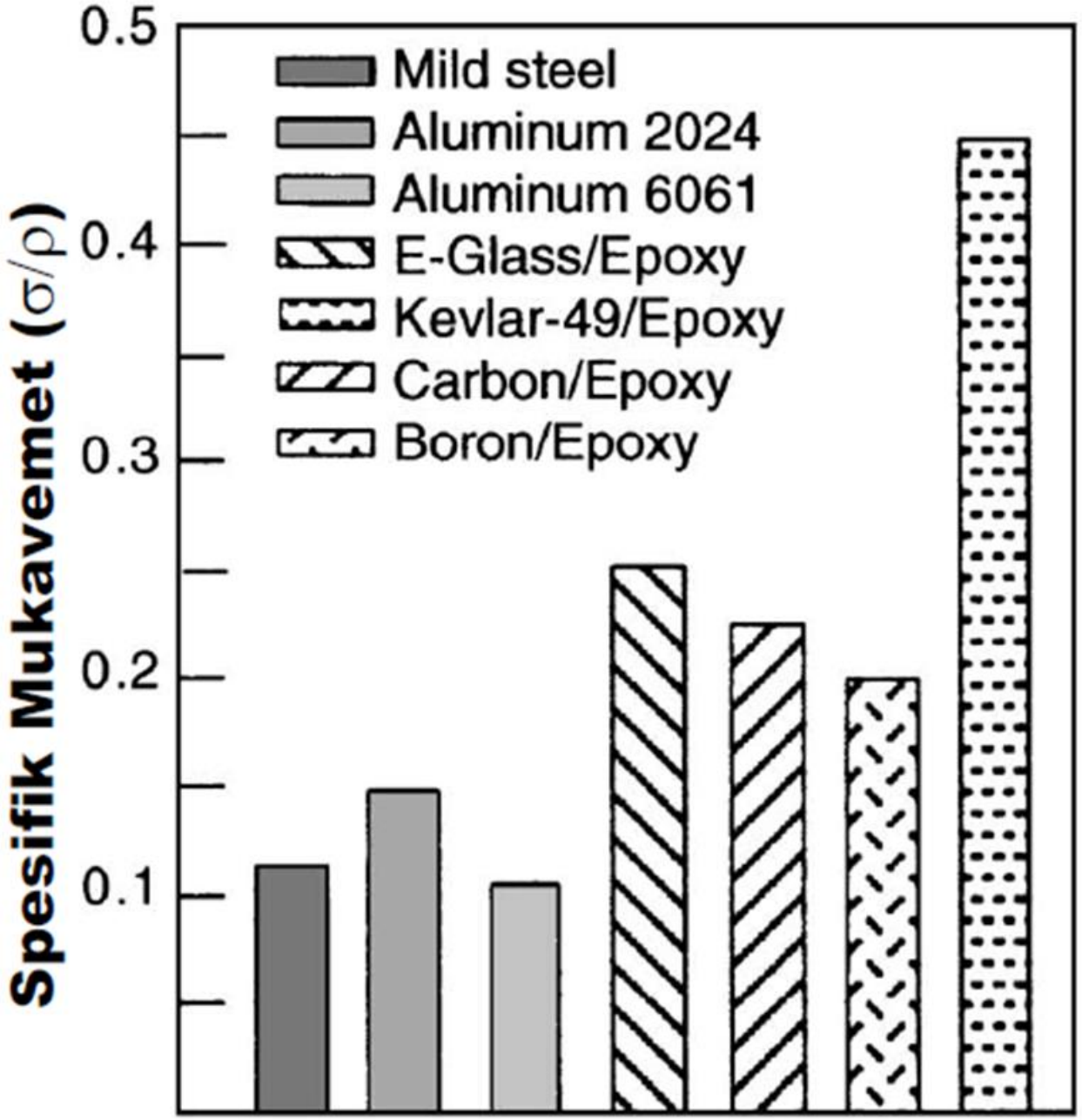
	Yoğunluk ρ(kg/m^3)	E. Modül E(GPa)	Çekme Mukav. σ(MPa)	Spesifik Modül E/ρ	Spesifik Mukav. σ/ρ
Çelik	7800	208	400	1	1
Alüminyum	2700	70	200	0.97	1.44
Nylon	1100	2.5	80	0.09	1.42
Beton	2400	40	20	0.63	0.16
Rastgele Fibee FRP	1800	20	300	0.42	3.25
Tek yönlü Fiber FRP					
(Fiberlere Paralel)	1600	200	1500	4.69	18.3
(Fiberlere dik)	1600	3	50	0.07	0.61

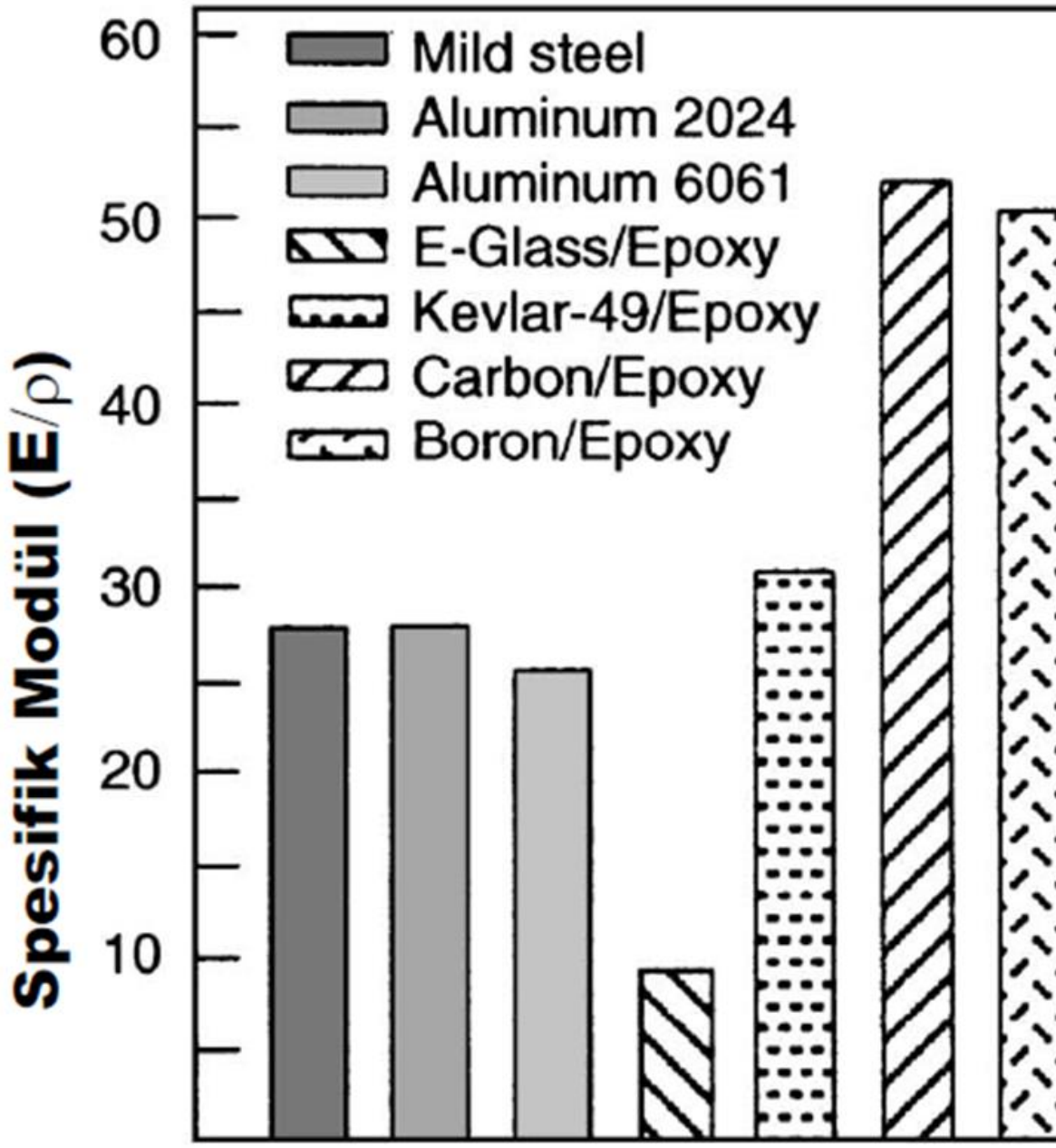
Table A3-2: Mechanical properties of various quasi-isotropic composite materials.

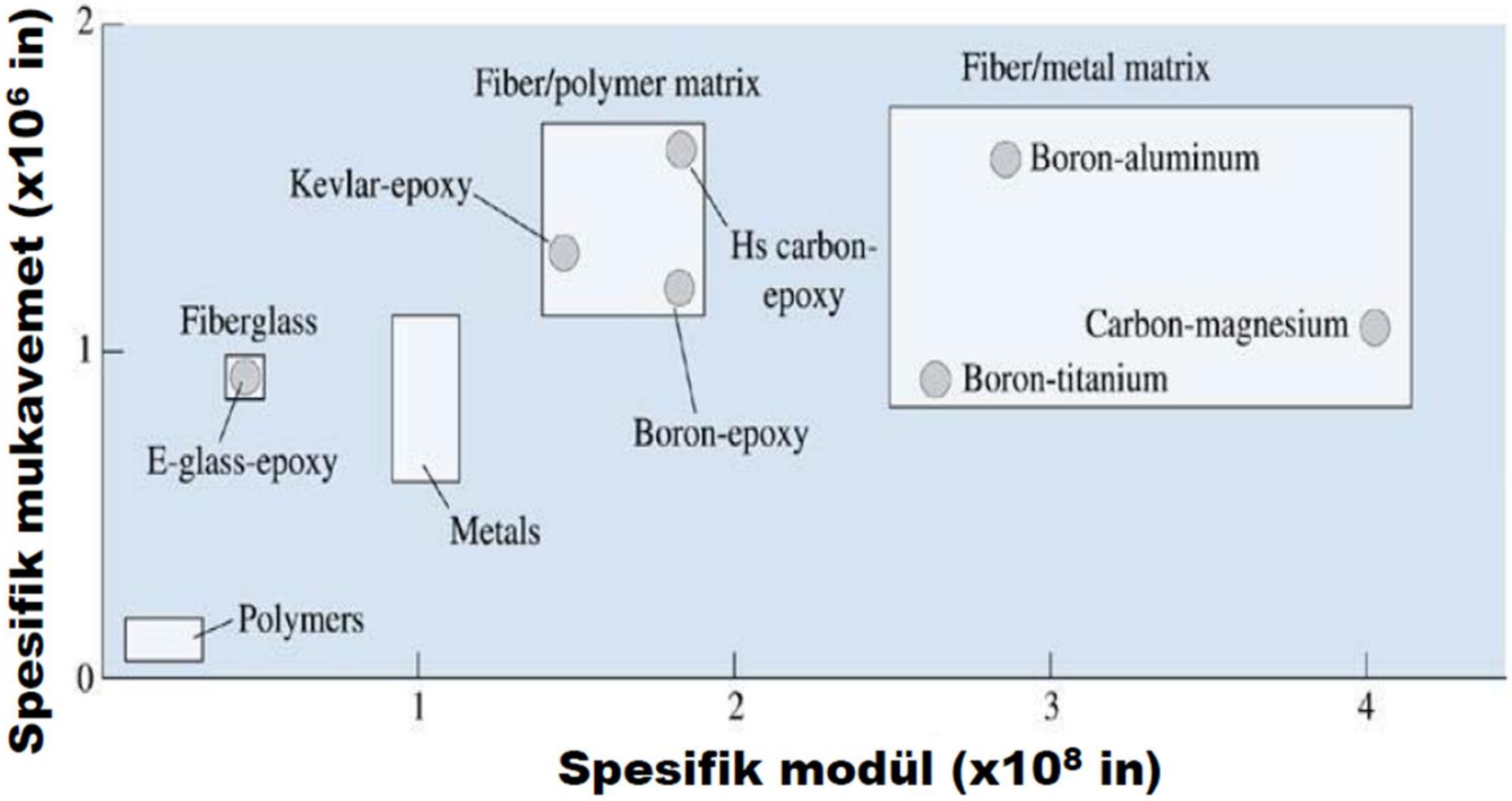
Material	Matrix	Fiber Weight Fraction	Laminate Specific Gravity	Tensile Strength lb/in^2	Tensile Modulus $lb/in^2 \times 10^6$	Specific Tensile Strength	Specific Tensile Modulus	Compressive Strength lb/in^2	Compressive Modulus $lb/in^2 \times 10^6$
1. E-glass mat	Polyester	0.29	1.42	12,050	0.87	8,486	0.61	16,675	0.81
2. E-glass mat	Polyester	0.33	1.44	13,630	1.08	9,465	0.75	17,690	1.04
3. E-glass W.R.	Polyester	0.50	1.63	27,550	1.99	16,902	1.22	21,750	2.03
4. S-glass W.R.	Polyester	0.50	1.64	63,800	2.90	38,902	1.77	30,450	-
5. Aramid K49, woven	Polyester	0.44	1.31	62,350	3.77	47,595	2.88	16,675	2.36
6. Carbon fiber, woven	Polyester	0.40	1.40	66,700	4.35	47,643	3.11	-	-
7. Aramid K49, woven	Epoxy	0.55	1.31	65,250	4.35	49,810	3.32	24,940	-
8. Carbon fiber, woven	Epoxy	0.59	1.47	79,750	7.98	54,250	5.43	52,200	-
9. K49/E-glass hybrid (C72/K200)	Polyester	0.40	1.46	34,800	1.81	23,835	1.24	24,650	2.14
10. K49/E-glass hybrid (C77/K200)	Polyester	0.45	1.49	36,400	2.05	24,430	1.38	22,185	2.29
11. Kevlar 49 (1350)	Polyester	0.42	1.293	53,850	2.80	-	-	16,675	2.60
12. Kevlar 49 (1350S, Twill weave)	Polyester	0.42	1.30	55,610	3.47	-	-	16,460	2.80
13. Aramid 900S (Twill weave)	Polyester	0.48	1.294	64,165	3.86	-	-	14,865	2.80
14. E-glass cloth, woven	Polyester	0.56	1.71	48,285	2.20	28,237	1.29	-	-
15. K49/E-glass hybrid (no mat)	Polyester	0.44	1.50	42,780	2.42	28,520	1.61	-	-

Material	Elastic moduli			Ultimate strength			Density
	Axial E_{11}	Transverse E_{22}	Shear G_{12}	Axial tens. σ_{11}	Trans. tens. σ_{22}	Shear tens. τ_{12}	
High strength GR/epoxy	20 (138)	1.0 (6.9)	0.65 (4.5)	220 (1517)	6 (41)	14 (97)	0.057 (1.57)
High Modulus GR/epoxy	32 (221)	1.0 (6.9)	0.7 (4.8)	175 (1206)	5 (34)	10 (69)	0.058 (1.60)
Ultra high modulus GR/epoxy	44 (303)	1.0 (6.9)	0.95 (6.6)	110 (758)	4 (28)	7 (48)	0.061 (1.68)
Kevlar49/ epoxy	12.5 (86)	0.8 (5.5)	0.3 (2.1)	220 (1517)	4 (28)	6 (41)	0.050 (1.38)
S glass epoxy	8 (55)	1.0 (6.9)	0.5 (3.4)	260 (1793)	6 (41)	10 (69)	0.073 (2.00)
Steel	30 (207)	30 (207)	11.5 (79)	60 (414)	60 (414)	35 (241)	0.284 (7.83)
Aluminum 6061-T6	10.5 (72)	10.5 (72)	3.8 (26)	42 (290)	42 (290)	28 (193)	0.098 (2.70)

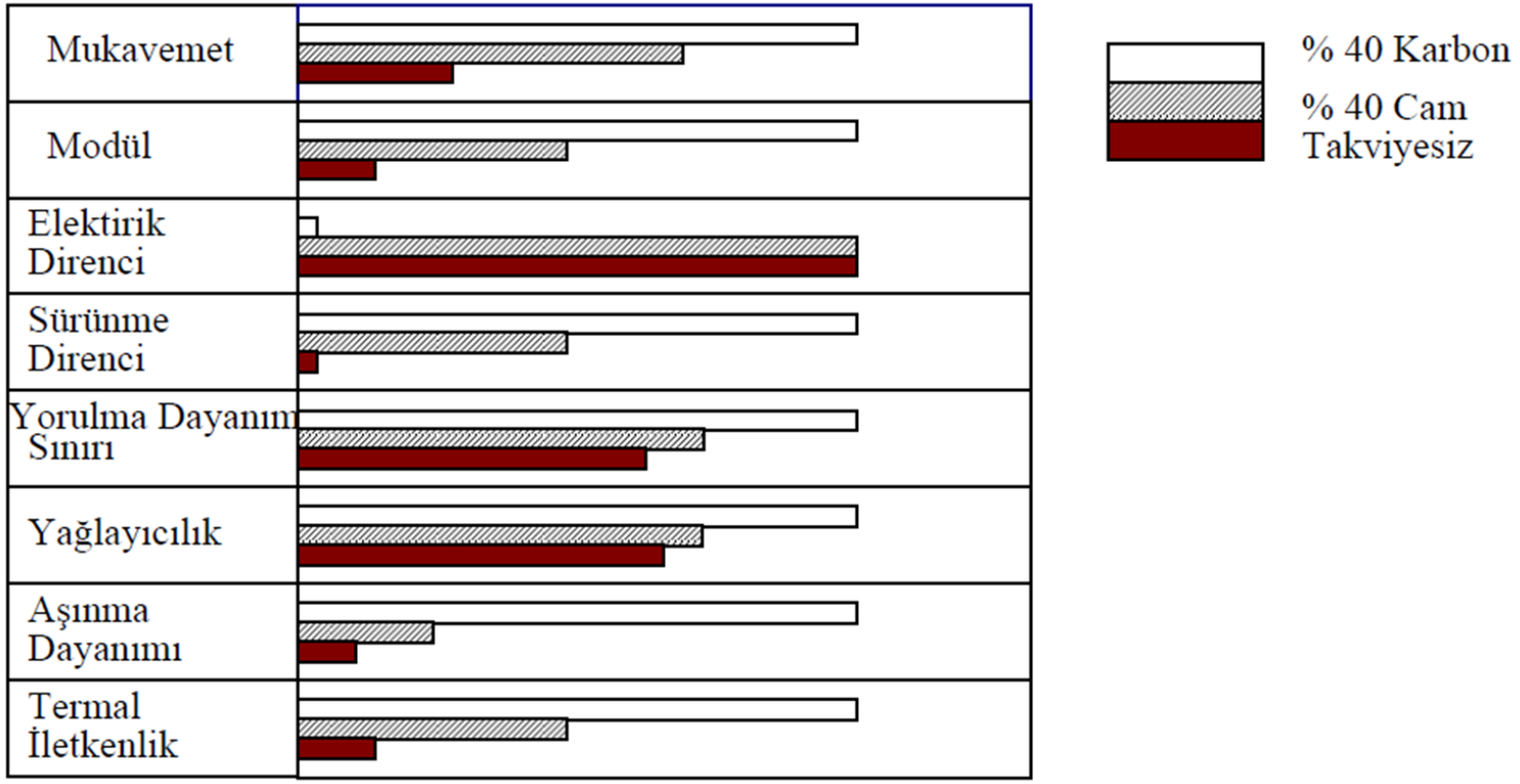
Moduli in Msi (GPa); Stress in Ksi (MPa); Density in lb/in^3 (g/cm^3)


Spesifik Mukavemet (σ/ρ)
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
Mild steel
Aluminum 2024
Aluminum 6061
E-Glass/Epoxy
Kevlar-49/Epoxy
Carbon/Epoxy
Boron/Epoxy


Spesifik Modül (E/ρ)
60
50
40
30
20
10
Mild steel
Aluminum 2024
Aluminum 6061
E-Glass/Epoxy
Kevlar-49/Epoxy
Carbon/Epoxy
Boron/Epoxy



Birçok malzeme ve kompozitlerde spesifik mukavemet ve modül ilişkisi.



Şekil. Nylon 6.6 matriksli kompozitte özellikler

Uygulamalar

- Son yılarda özellikle uzay ve uçak araçlarında kompozit malzemelerin kullanımları yaygınlaşmıştır.
- Bazı önemli kompozitkullanım alanları;

-Boeing787 ve Airbus uçaklarında % 50 den fazla polimer matriksli kompozitkullanılmıştır

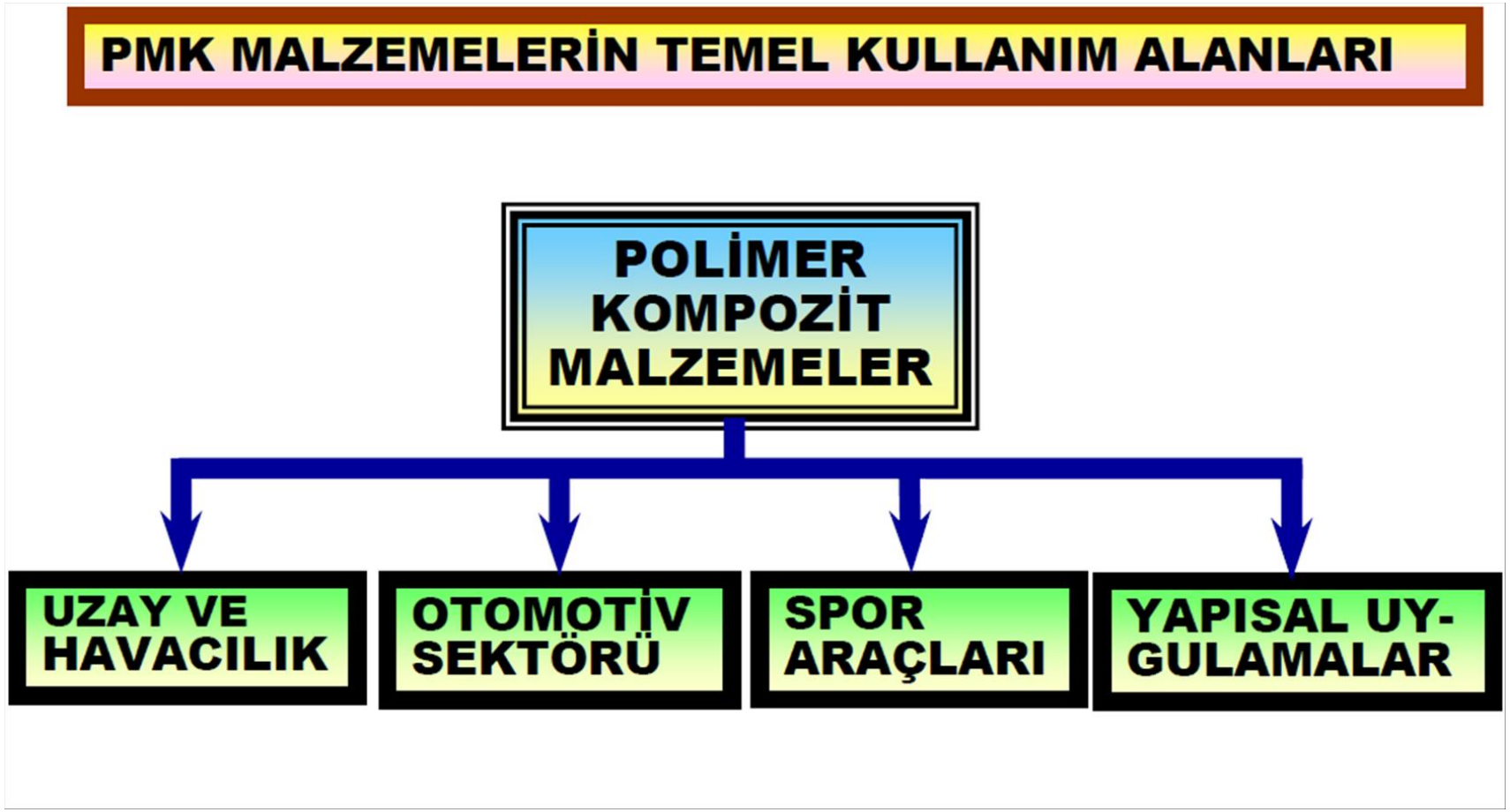
-DouglasAV8B HarierAvcıuçaklarında kanatlar ve gövde karbon fiber takviyeli kompozit

-Voyager uçağ ıpetrol ürünlerine dayanıklı kompozit malzeme

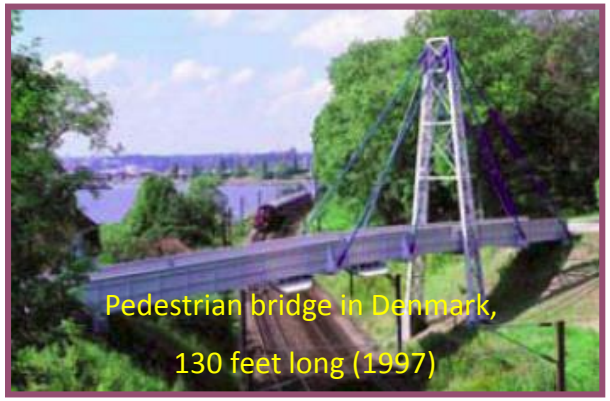
-Corvette, Ferarri, Avanti, Toyota ve Ford otomobillerinde

-Spor malzemeleri, tenis raketi, kayak, bisiklet, spor ayakkabıları

-Amerikan uydularında, NASA araştırmalarında


PMK MALZEMELERİN TEMEL KULLANIM ALANLARI
POLİMER KOMPOZİT MALZEMELER
UZAY VE HAVACILIK
OTOMOTİV SEKTÖRÜ
SPOR ARAÇLARI
YAPISAL UY-GULAMALAR

Kompozit Market



A- Uzay ve Havacılık

- **Uzay Mekiğinde**

  Gövde kaplama bileşenleri (çelikten çok daha hafif)

- **Ticari Uçaklarda**

  Kanat kısımlarının tamamı

  Kuyruk kısımları

- **Savaş uçaklarında (jetler)**

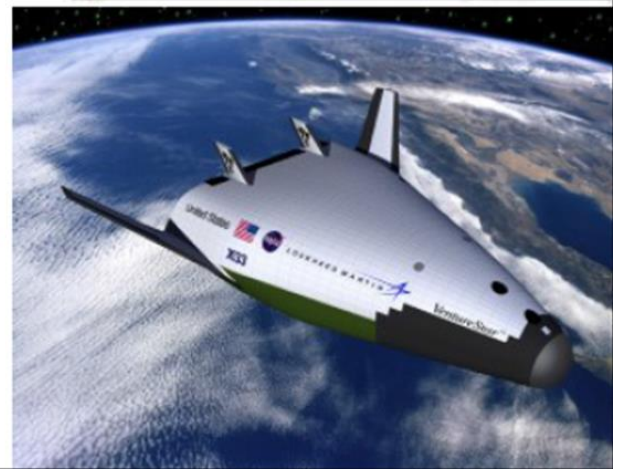
  Kanat kısımları, kuyruk

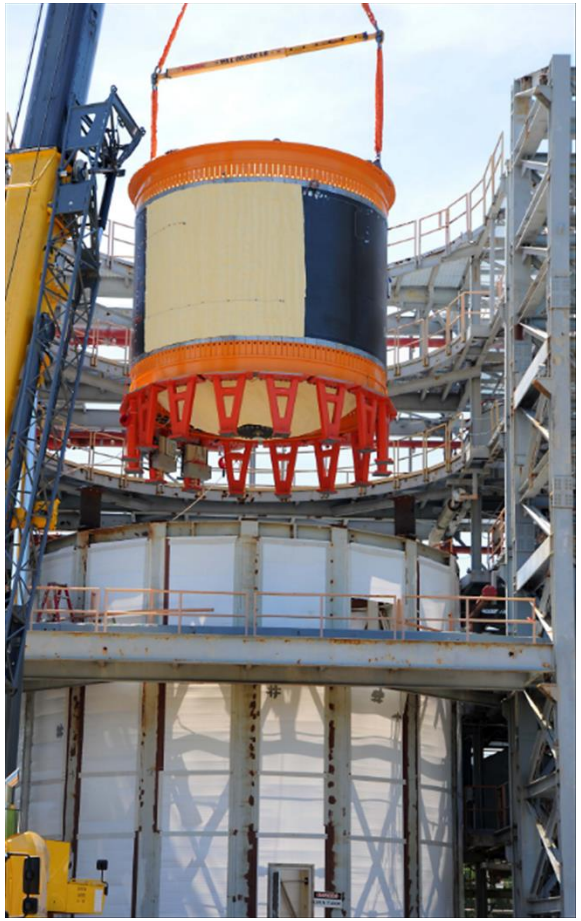
- **Helikopter ve uydularda**

  Ana ve kuyruk pervanelerinde

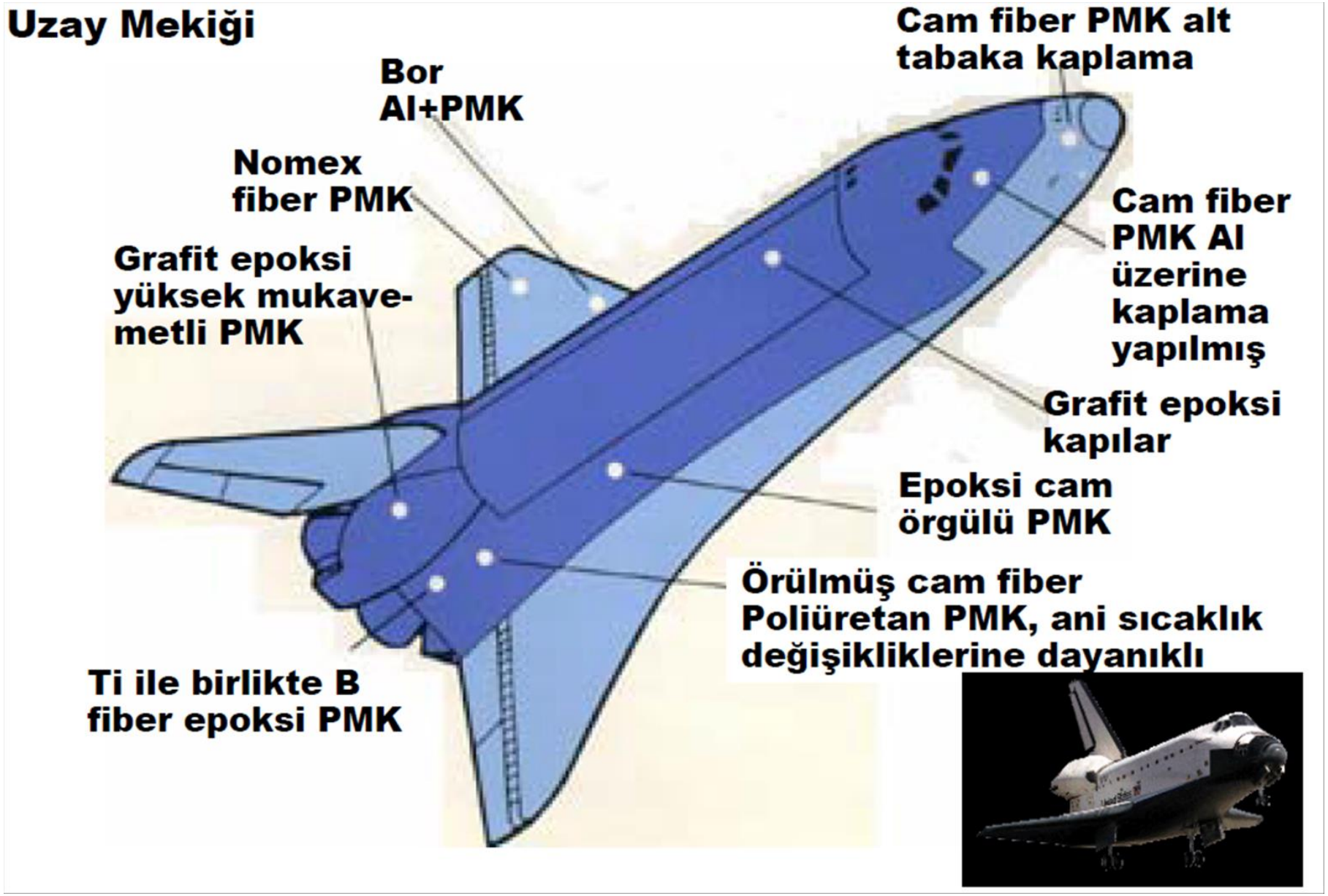
  Gövde bileşenlerinde

  Uydu gövdelerinde

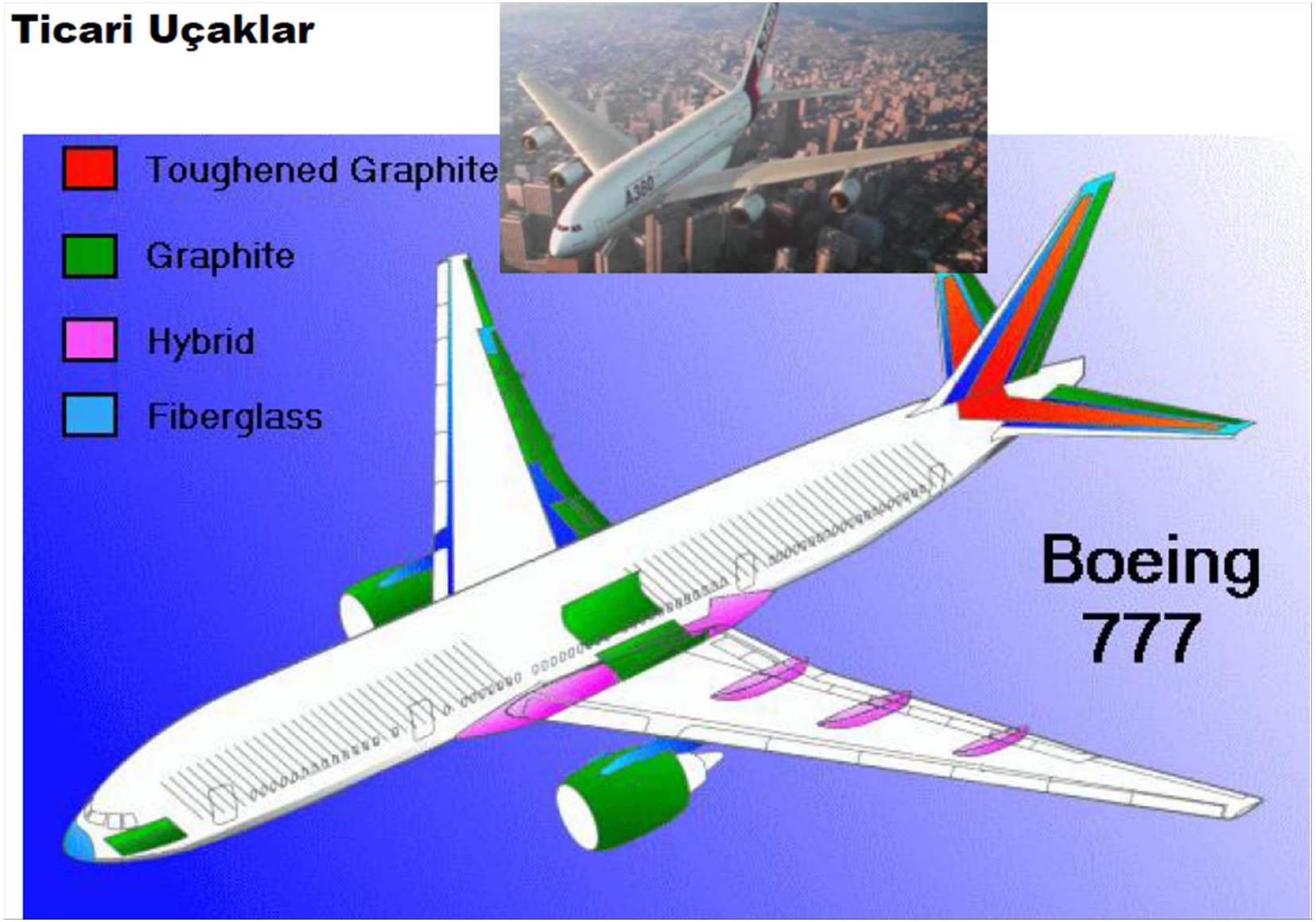




https://www.youtube.com/watch?v=tZhH2B-EI1I

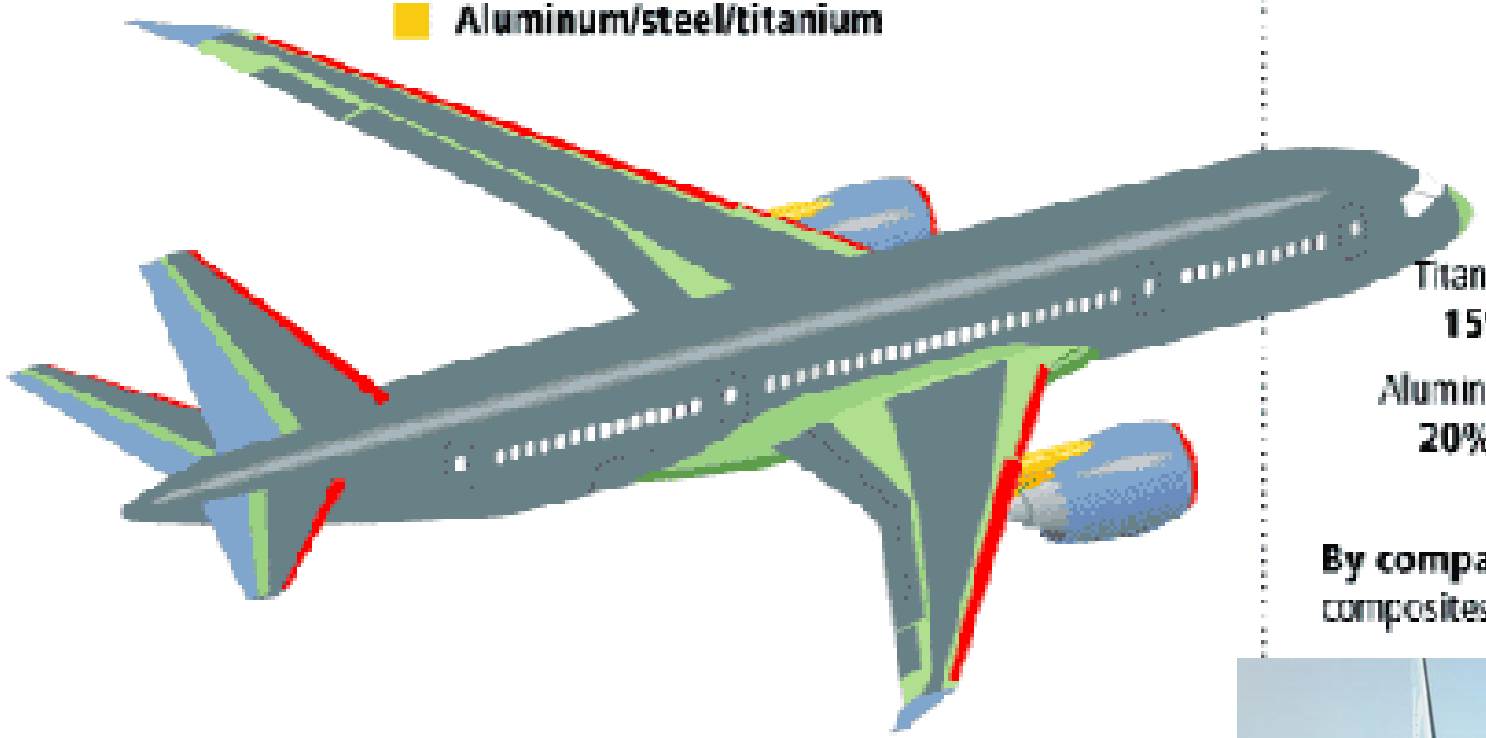

Uzay Mekiği
Cam fiber PMK alt tabaka kaplama
Bor Al+PMK
Nomex fiber PMK
Cam fiber PMK Al üzerine kaplama yapılmış
Grafit epoksi yüksek mukave-metli PMK
Grafit epoksi kapılar
Epoksi cam örgülü PMK
Örülmüş cam fiber Poliüretan PMK, ani sıcaklık değişikliklerine dayanıklı
Ti ile birlikte B fiber epoksi PMK

Ticari Uçaklar



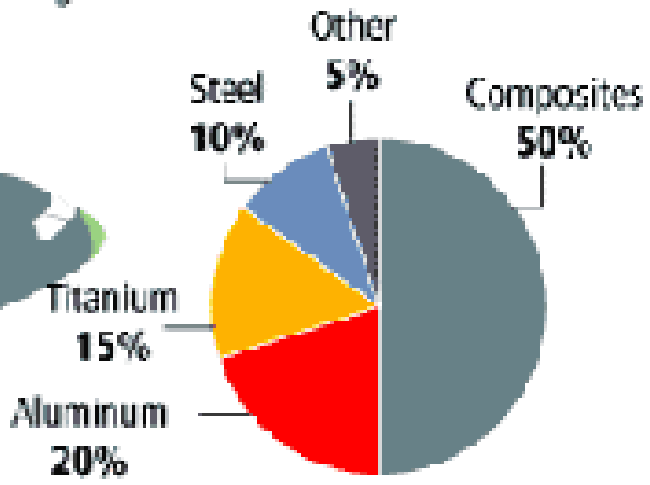
Materials used in 787 body

- Fiberglass
- Aluminum
- Carbon laminate composite
- Carbon sandwich composite
- Aluminum/steel/titanium

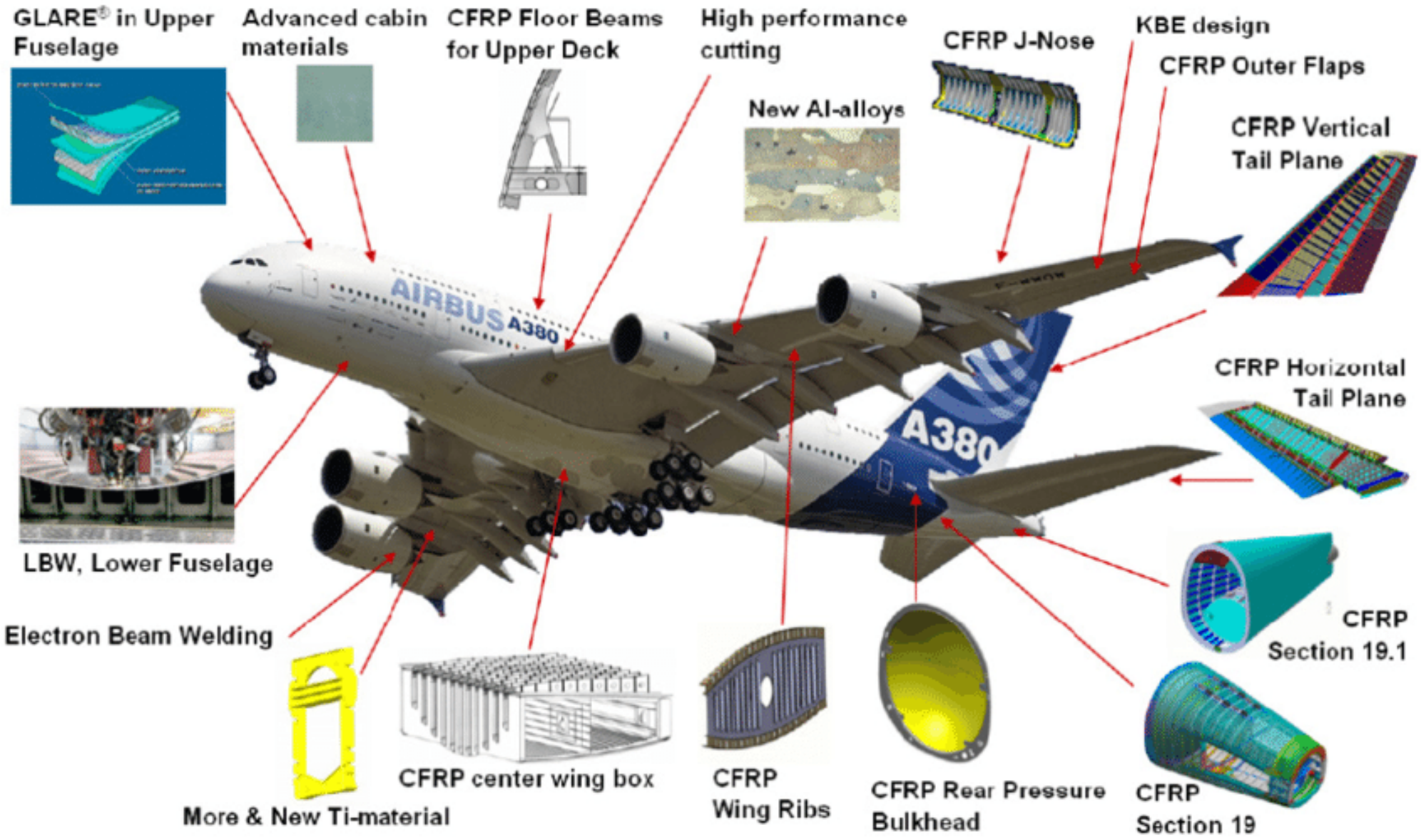


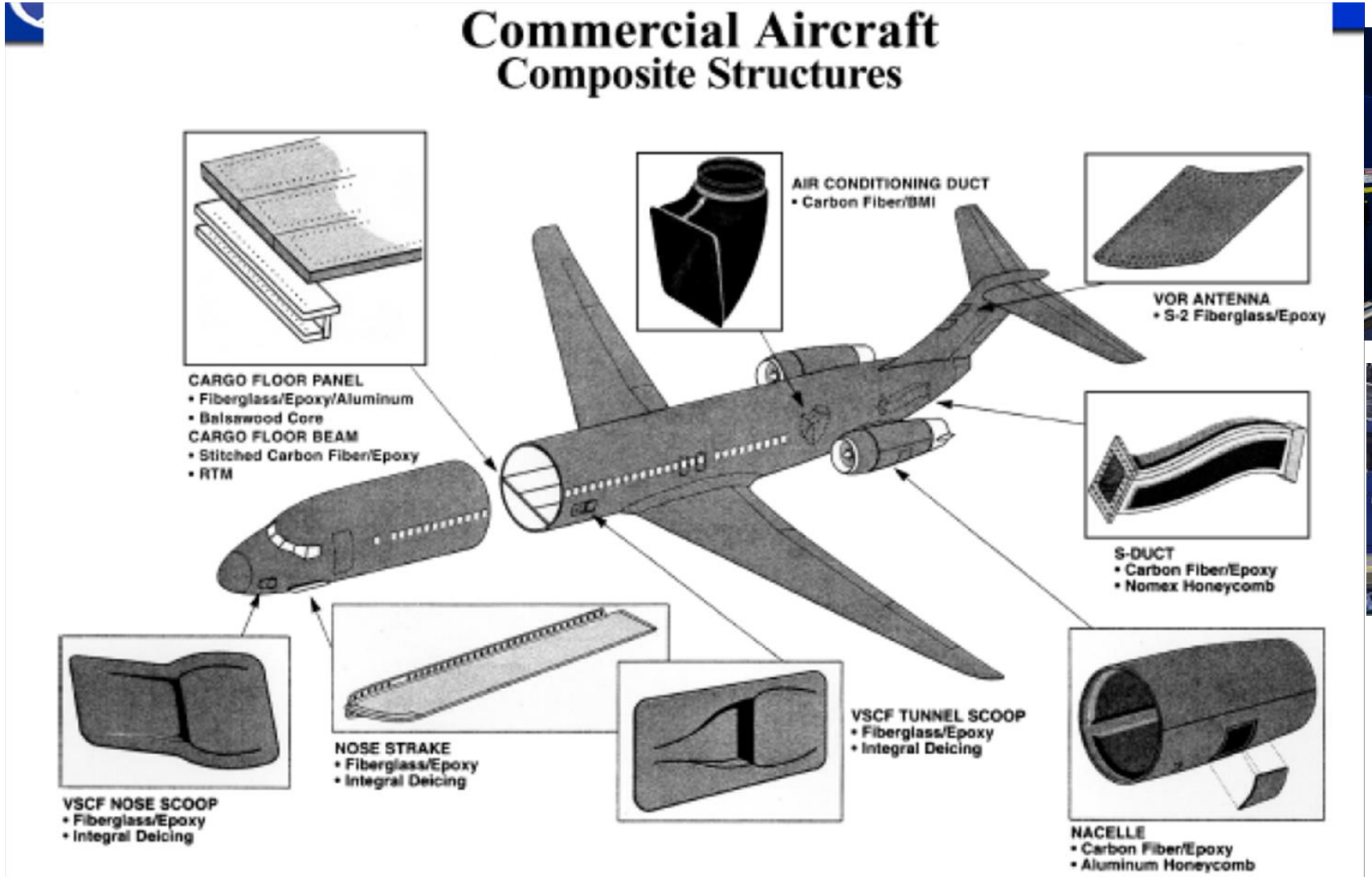
Total materials used

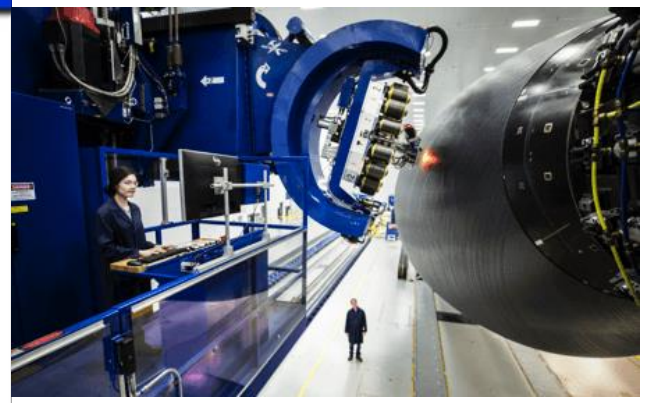
By weight



By comparison, the 777 uses 12 percent composites and 50 percent aluminum.


GLARE® in Upper Fuselage
Advanced cabin materials
CFRP Floor Beams for Upper Deck
High performance cutting
CFRP J-Nose
KBE design
CFRP Outer Flaps
New Al-alloys
CFRP Vertical Tail Plane
AIRBUS A380
CFRP Horizontal Tail Plane
LBW, Lower Fuselage
Electron Beam Welding
CFRP Section 19.1
CFRP center wing box
CFRP Wing Ribs
CFRP Rear Pressure Bulkhead
CFRP Section 19
More & New Ti-material



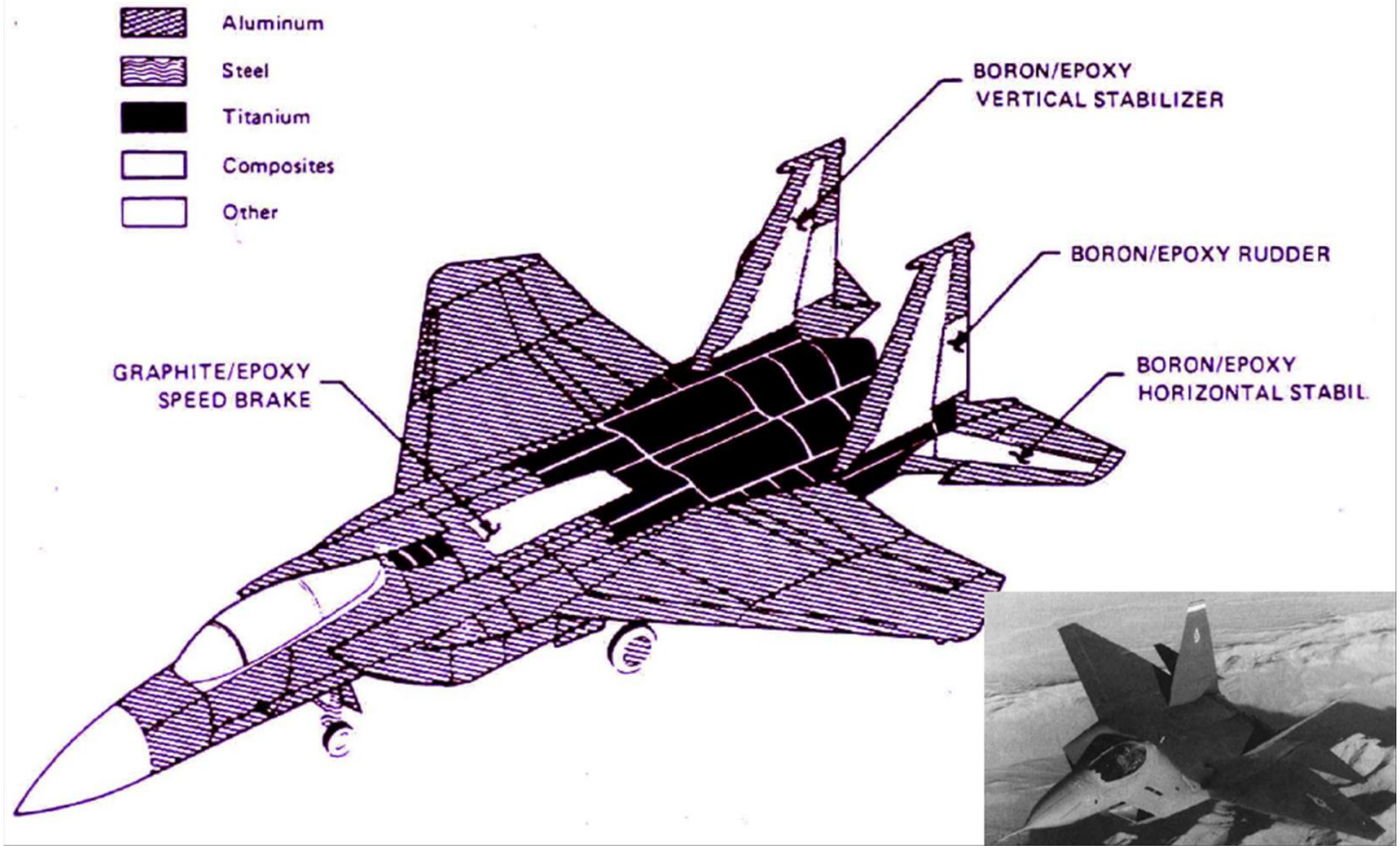


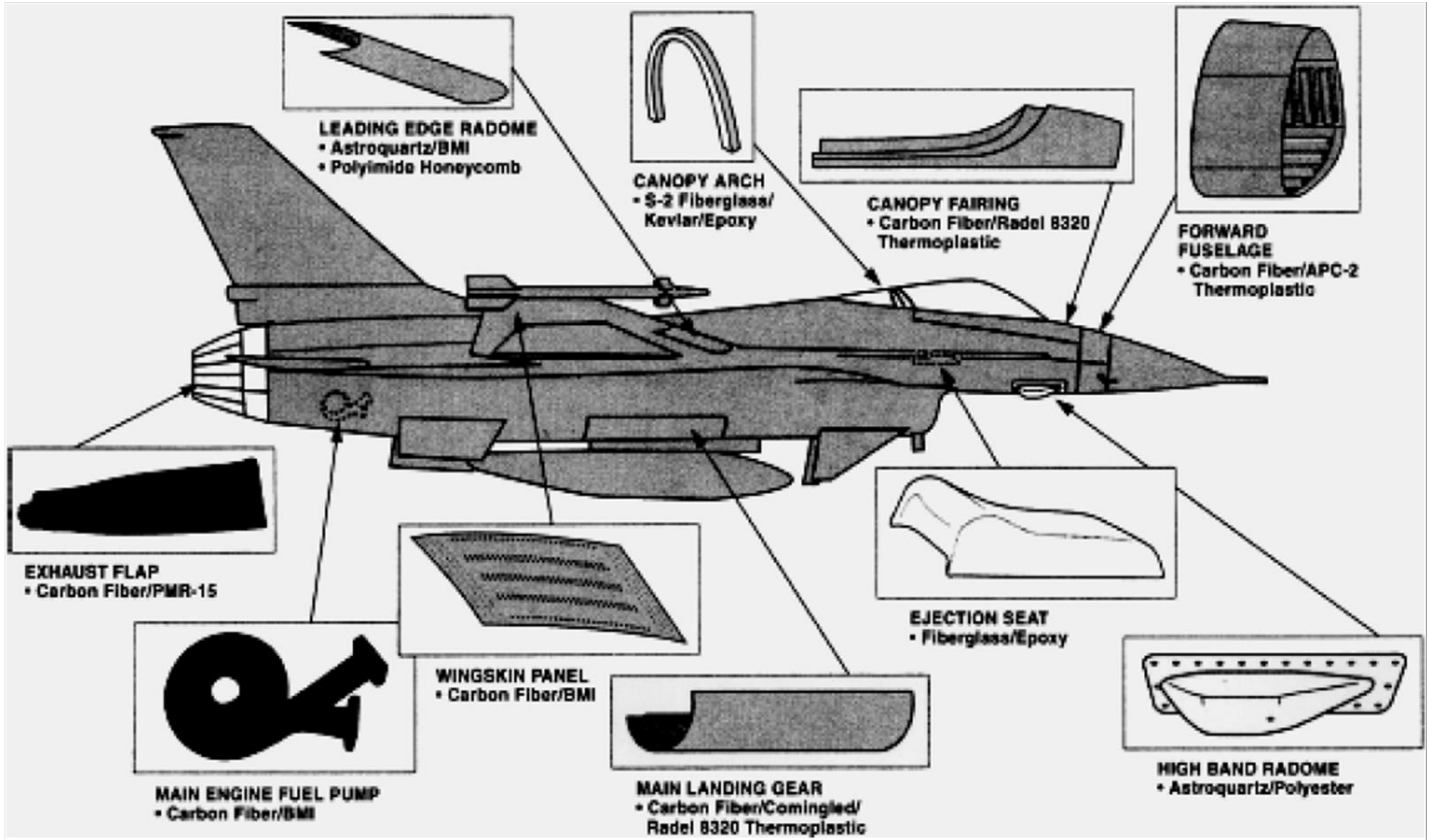
Ticari uçaklarda PMK kullanımı iki kısımda ele alınır: Birincil yapılar; uçuşta kritik, ikincil yapılar

INSTALL CLECCS ON ALL HIGHLIGHTED AREAS

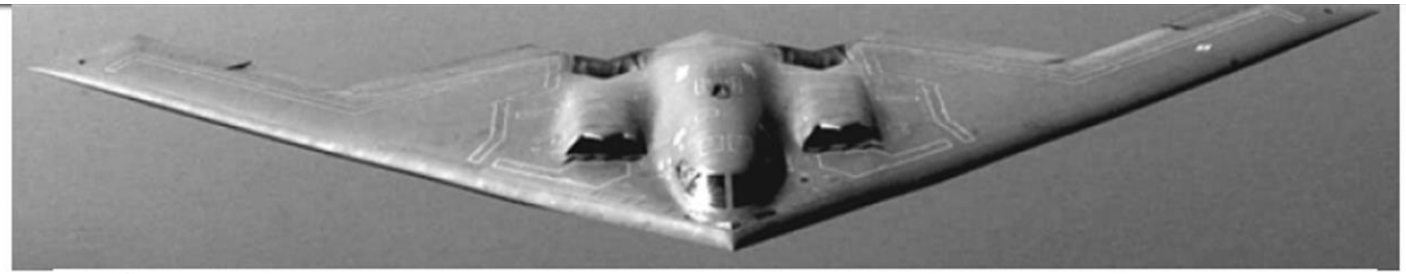
JLG LIFT

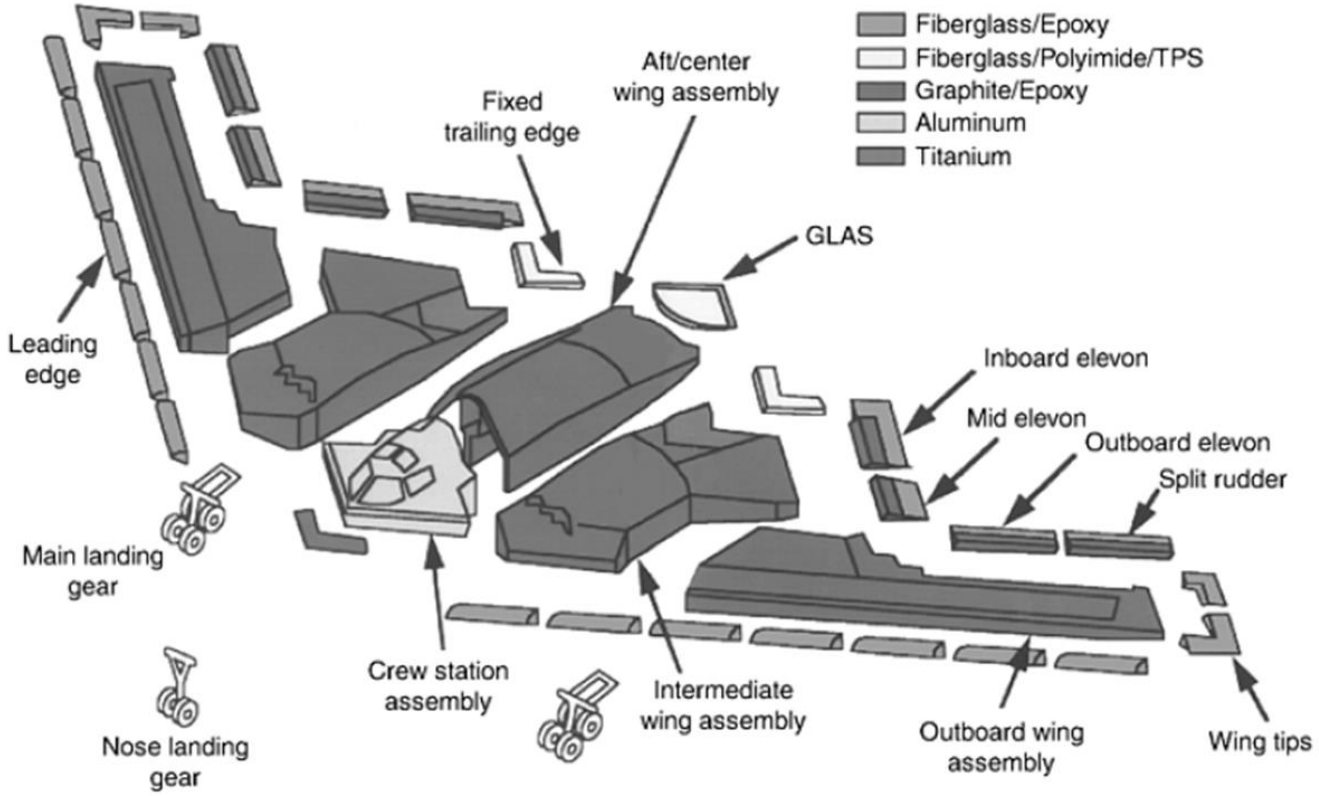
Savaş Uçakları (Jetler)



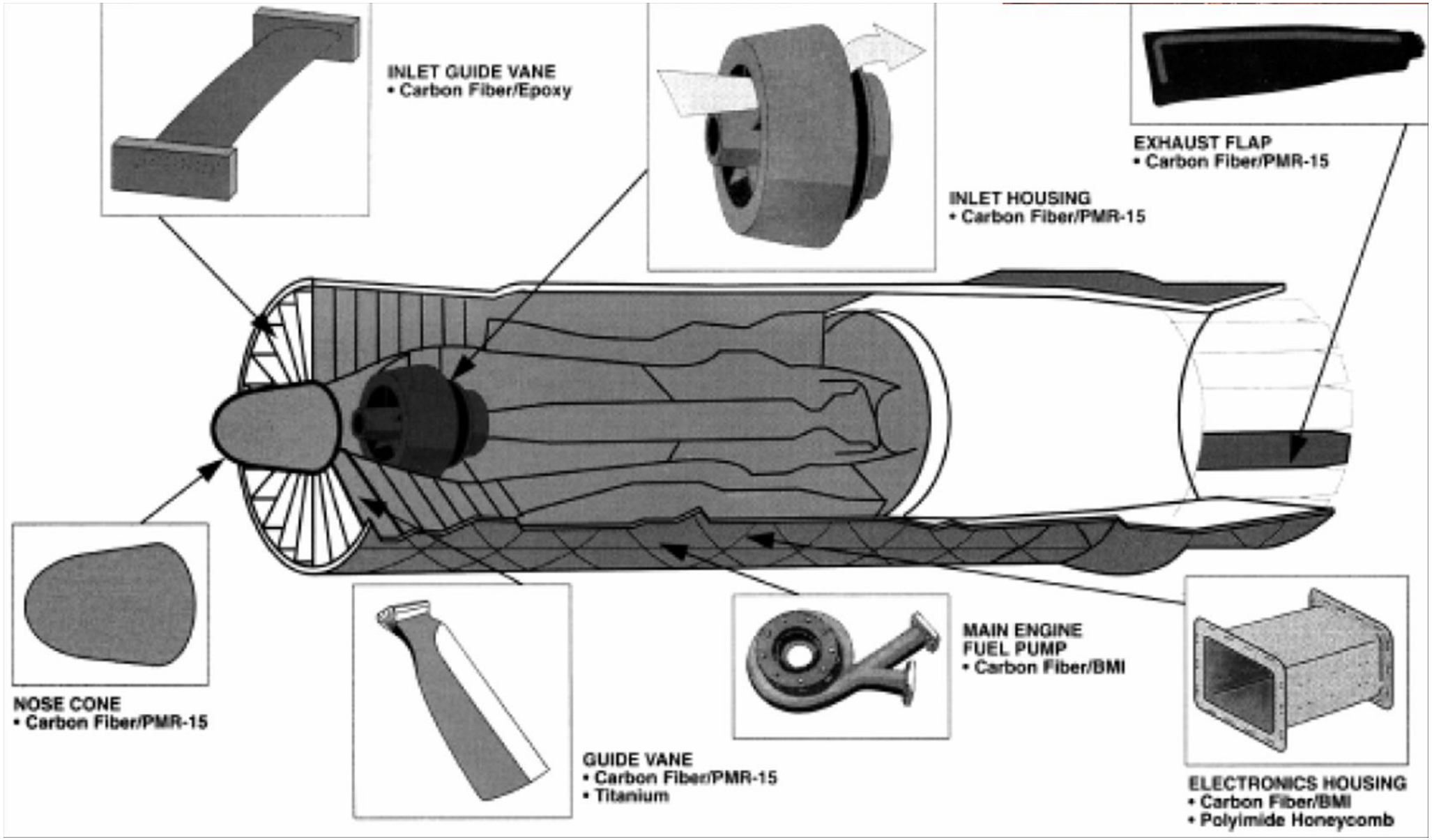


Askeri uçakların PMK malzemelerden yapılan genel parçaları





A.B.D. Hava kuvvetleri B-2 ileri (hayalet) bombardırıman uçağı


INLET GUIDE VANE
• Carbon Fiber/Epoxy
INLET HOUSING
• Carbon Fiber/PMR-15
EXHAUST FLAP
• Carbon Fiber/PMR-15
NOSE CONE
• Carbon Fiber/PMR-15
GUIDE VANE
• Carbon Fiber/PMR-15
• Titanium
MAIN ENGINE
FUEL PUMP
• Carbon Fiber/BMI
ELECTRONICS HOUSING
• Carbon Fiber/BMI
• Polyimide Honeycomb

Helikopter ve Uydular

Helikopterlerde dış gövdenin nerdeyse tamamına yakını PMK malzemedir.

Kullanılan PMK malzemeler özellikle Epoksi-karbon veya grafit (uçuşta kritik bölgelerde-helikopter pervanesi ve uçuş denge pervanesinde kullanılır)

Polimer + Aramid fiber (balistik amaçla kullanılır)

Polimer + cam fiber (Uçuşta ikincil önemli parçalarda kullanılır)

Apaçi; Dış gövde ve pervane sistemi PMK

Lynx model: gövde altı ve yan kapılar Kevlar PMK kompoziti

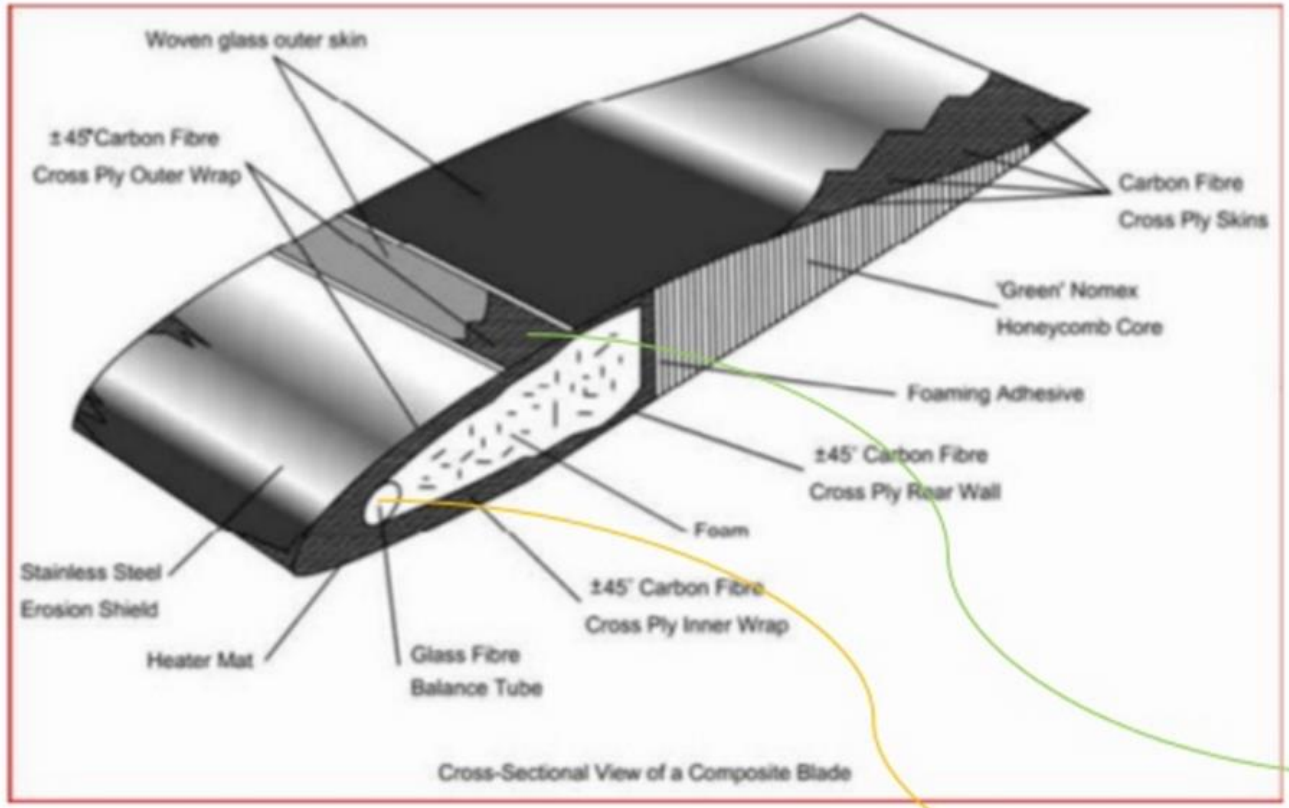
Helikopterlerde kullanılan PMK pervane kanatları

S-75 ACAP helikopteri, X-pervanesi (uçuş pervanesi) tamamen karbon fiber takviyeli PMK malzemeden dizayn edilmiştir. Özellikle havadan askeri araçların ve silahların naklinde kullanılır.

- High beam stiffness
- High torsional stiffness
- Low density
- Good fatigue resistance

Helicopter Rotor Blade

Tailoring the elastic properties via control of the fibre architecture

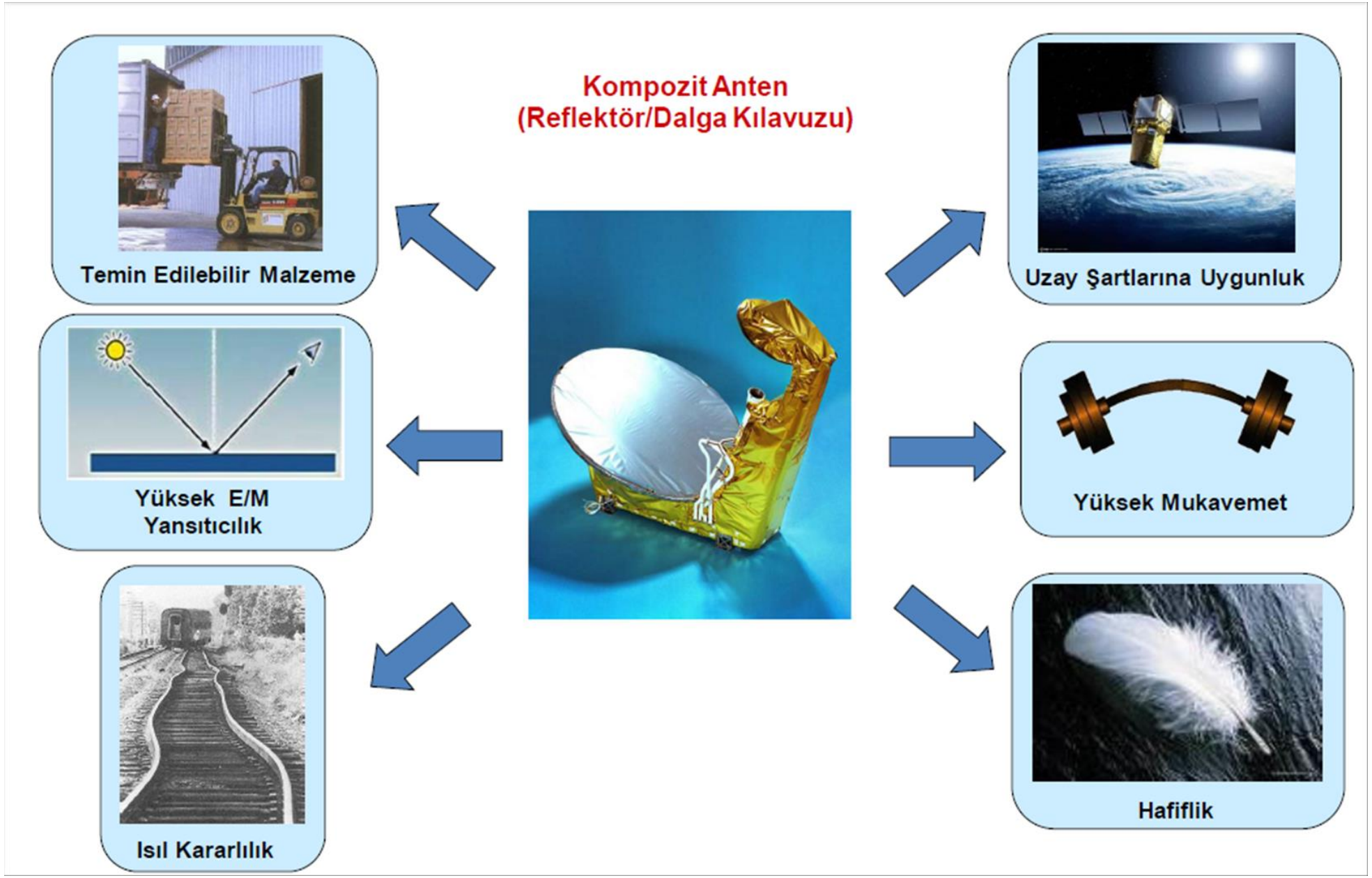


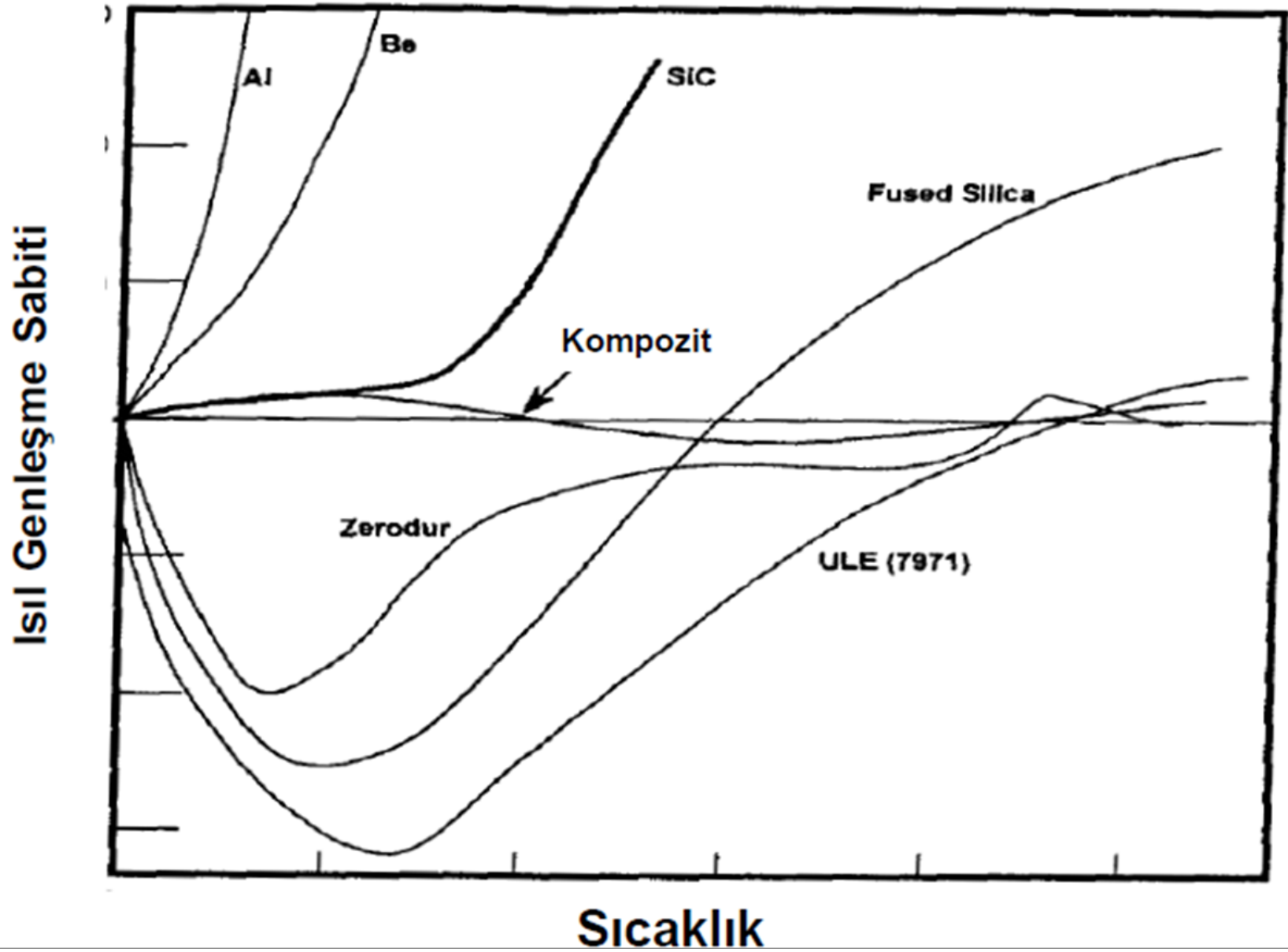
Cross-Sectional View of a Composite Blade

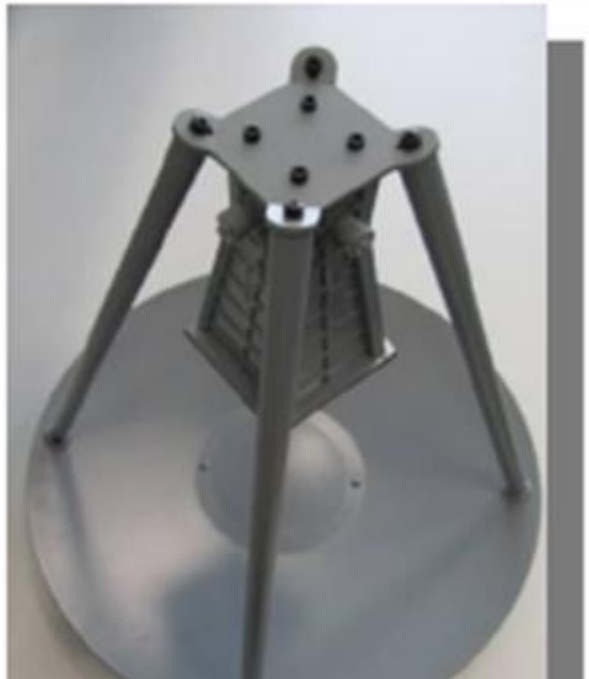
Problem arises due to combined forward & rotational motion

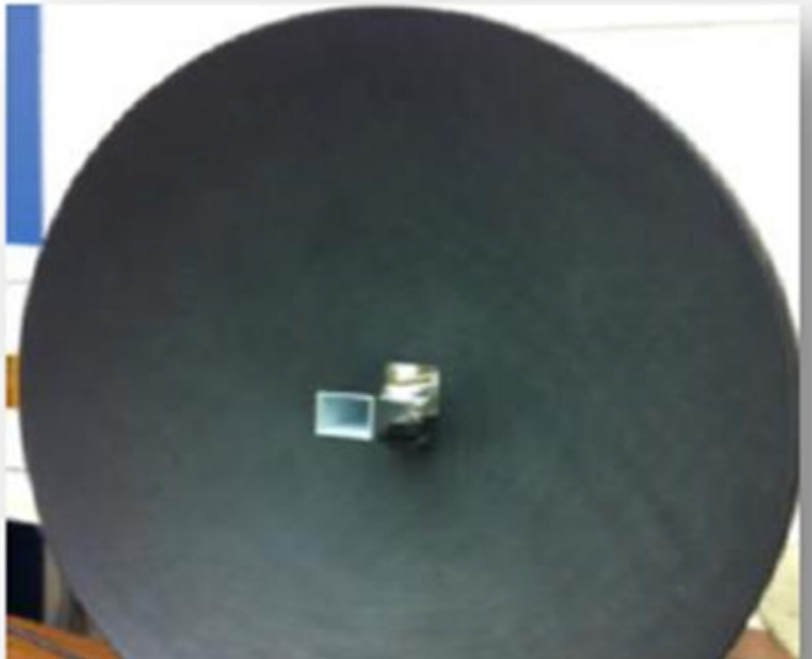
Necessary torsional stiffness

Beam strength

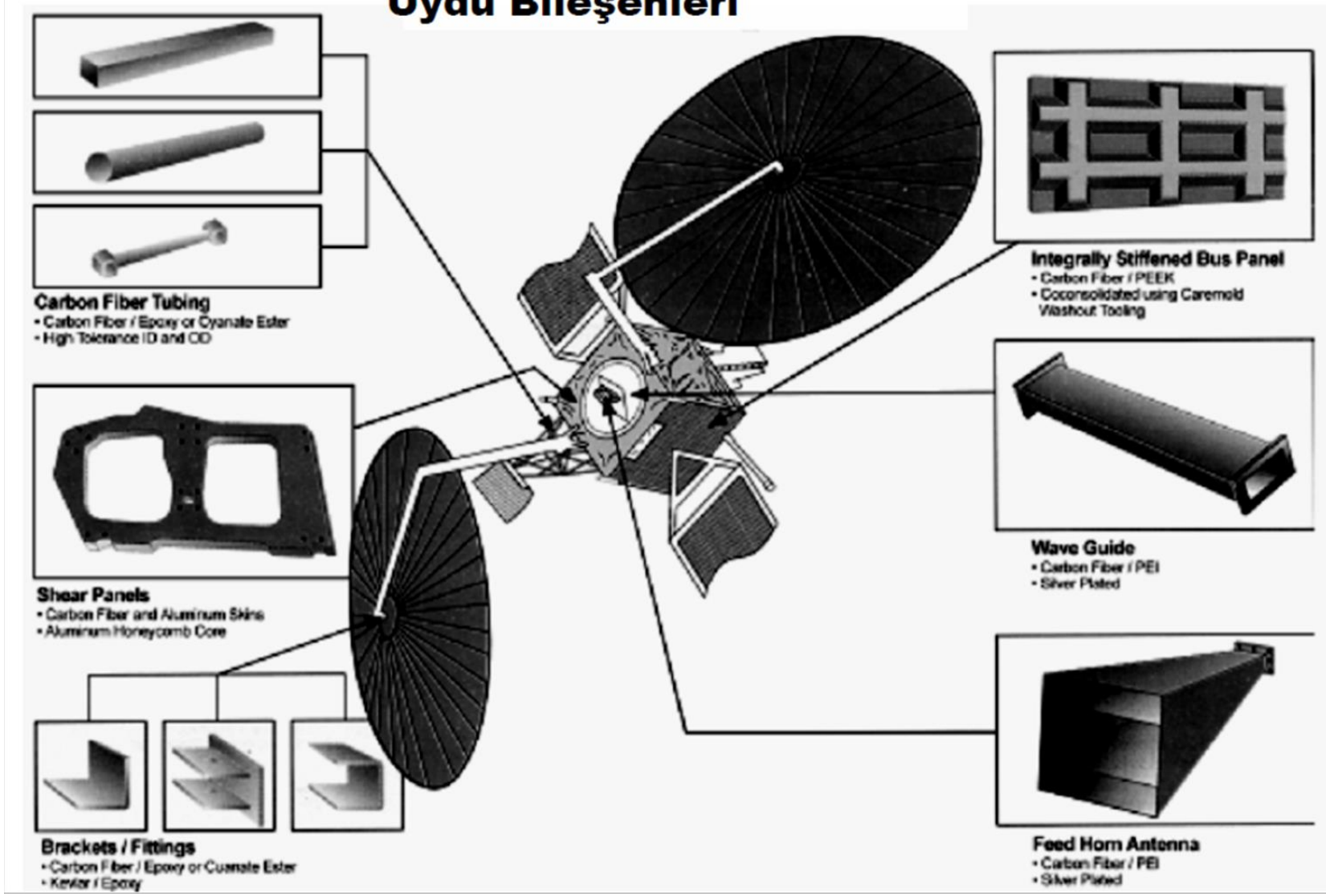

Kompozit Anten
(Reflektör/Dalga Kılavuzu)
Temin Edilebilir Malzeme
Uzay Şartlarına Uygunluk
Yüksek E/M
Yansıtıcılık
Yüksek Mukavemet
Isıl Kararlılık
Hafiflik


Isıl Genleşme Sabiti
Al
Be
SiC
Fused Silica
Kompozit
Zerodur
ULE (7971)
Sıcaklık





Uydu Bileşenleri



Nasa Helios, Atmosfer uyd
(meteoroloji). Kaporta tam
PMK malzemedir.

r paneller PMK, Ana gövde iskeleti Al-Li
K olmasına rağmen kaporta kısmının
amı C fiber PMK tir. 2004 yılında

B- Otomotiv sektörü

Sürekli fiber demetleri bir kumaş gibi örülerek dikilmiş ve fiberler arasına polyester emdirilmiştir. Elektrikli aracın dış gövdesi 8 parçadan imal edilmiştir.

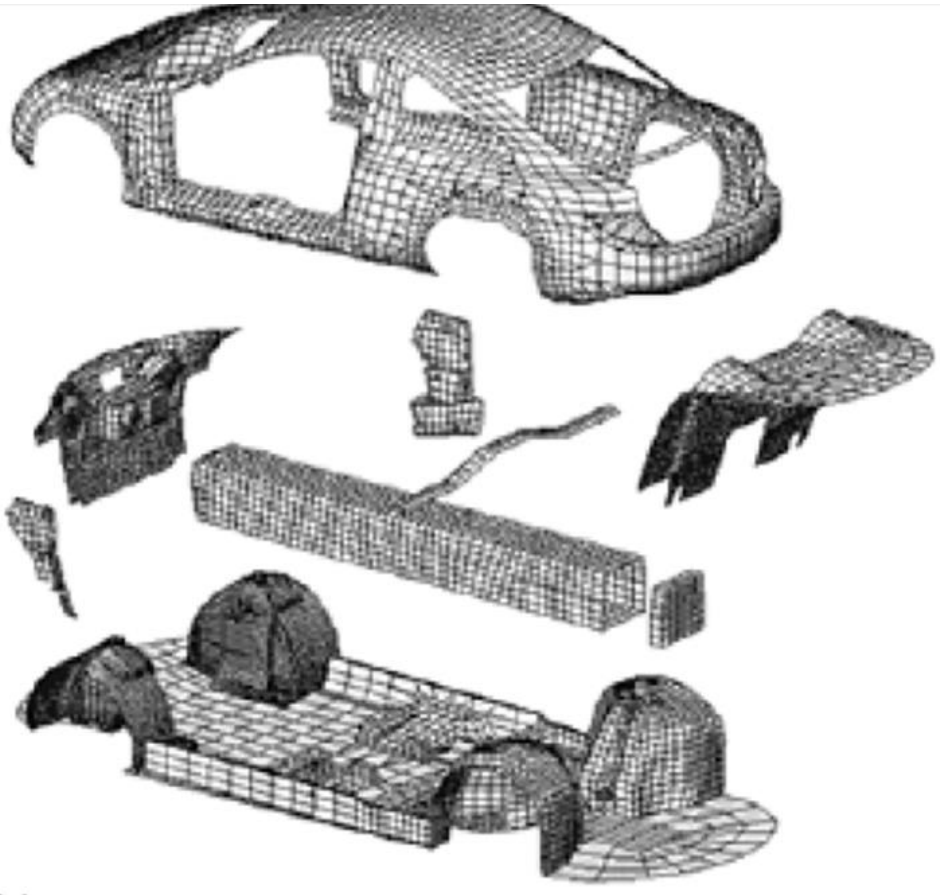
Bu tür araçlarda temel avantajlar:

Ağırlık tasarrufu,

Ürtim maliyetinde azalma,

Korozyon direnci,

Termal izolasyon

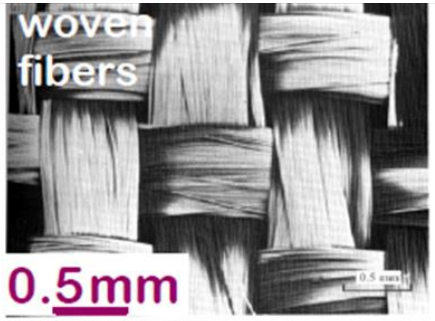


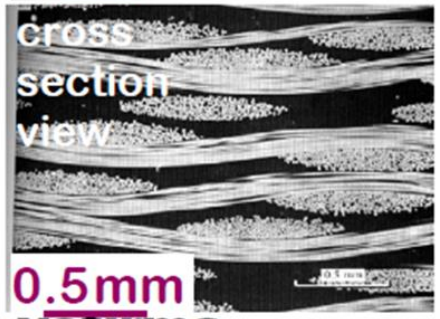
(a)

(b)

Solectria electrikli oto: (a) kaporta. (b)tamamlanmış gövde.

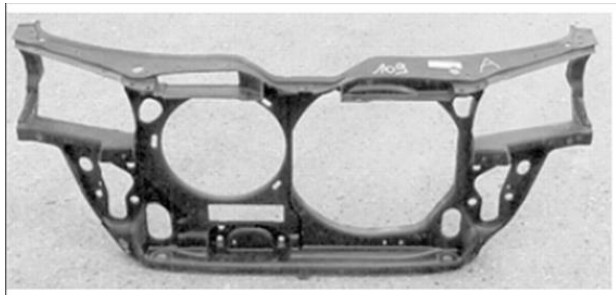
Sadece 160 Kg ağırlığında Monocoque otomobil gövdesi. Gövde Ti iskelet üzerine kaplanarak üretilmiş. Gövde çelikten daha yüksek elastik modüle sahip ve çeliğin ¼ kadar bir yoğunluğa sahiptir.





Ferrari Formula 1 aracı. Tüm gövde yapısı elle yatırma yöntemi ile üretilen Epoksi C fiberden daha sonra otoklav yöntemi ile şekillendirilerek üretilmiş. Katmanlı mikroyapı

Carbon Fiber: McLaren 1 aracı



Volkswagen Sharan iç panel

Oto spoileri

Kevlar fiber zırhlı araç

Tamamen PMK gövdeli kamyon

Hızlı tren vagonları

Kompozit uygulamaları

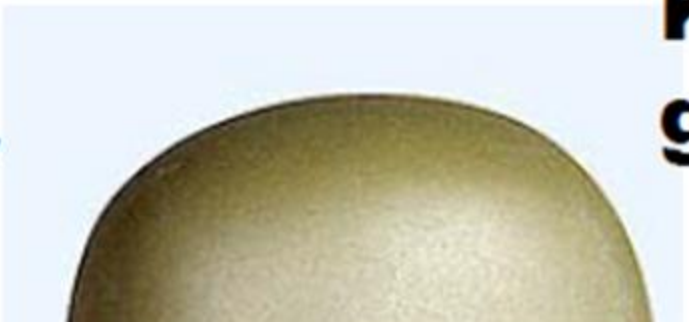
Transport

C- Spor Araçları

Hafiflik, korozyona dayanım, arzulanan mukavemet ve ealstik modülün sağlanabilmesi, düşük sürtünme katsayısı gibi bazı ana nedenlerden dolayı PMK malzemeler spor eşyalarında yaygın olarak kullanılır

amaçlı PMK malzeme dış
eli araç. Zırh amaçlı ve
r sinyallerini engelleyici
ile yapılmış. Zırh için
ar PMK, radar sinyali
llemek için cam fiber
ester PMK

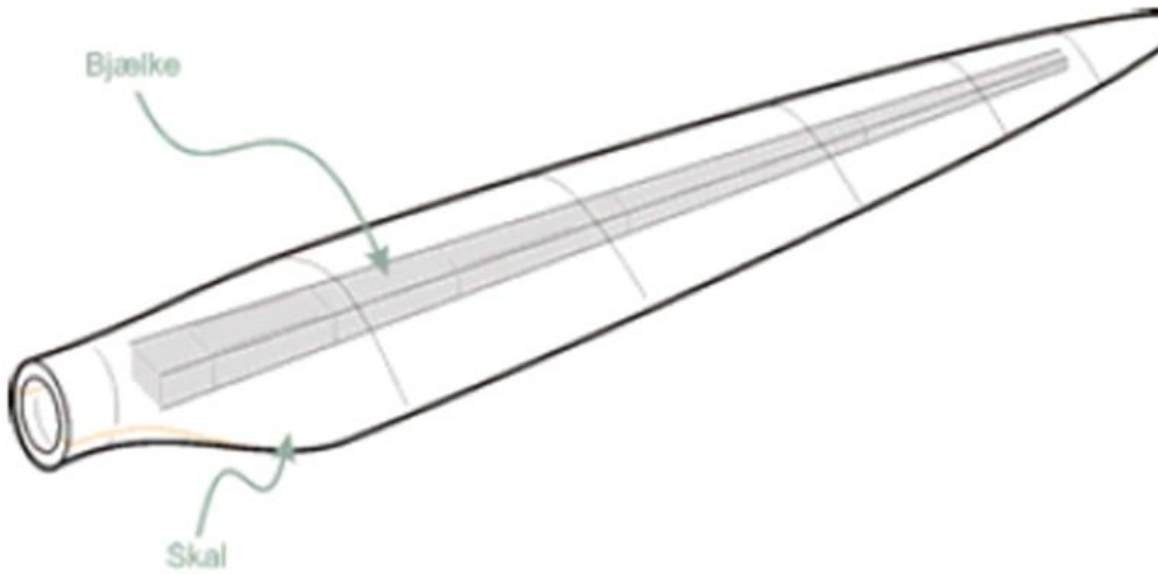
Kişisel amaçlı kur
geçirmez malzem



C

Sportsudstyr

Composite Markets



Yapı sektörü

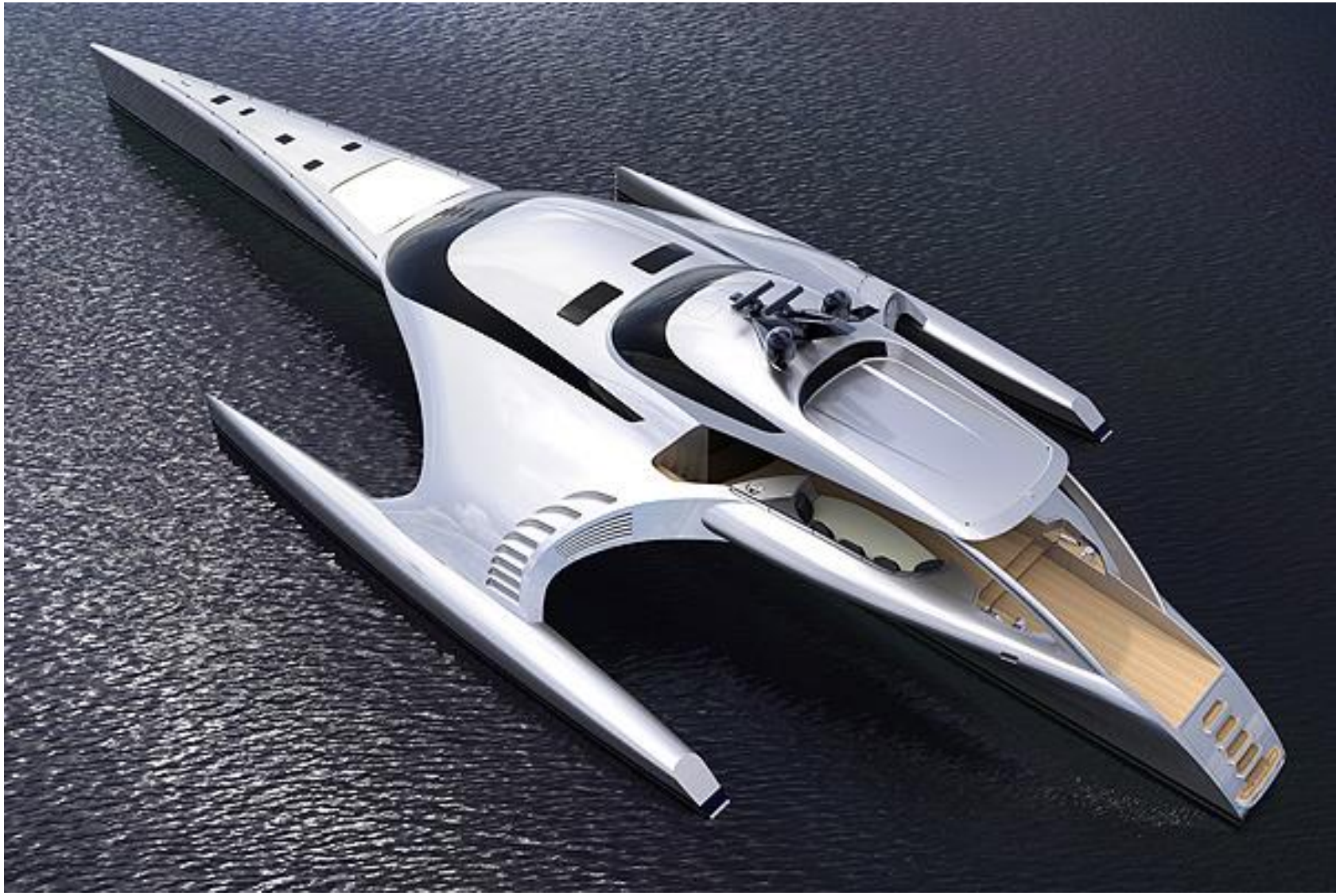
Yapı sektörü

Balistic and Pressure tubes

Cam veya karbon fiber PMK

Karbon fiber PMK snowboard

Denizcilikte yatlar, yelkenli kayıklar genelde cam fiber polyester PMK dir.



PMK Kompozit kasası

Preste sandwich türü dizayn ile üretilen Norveç' e ait mayın tarama gemisi Cam fiber PMK

Yelkenliler

D- Yapısal Uygulamalar

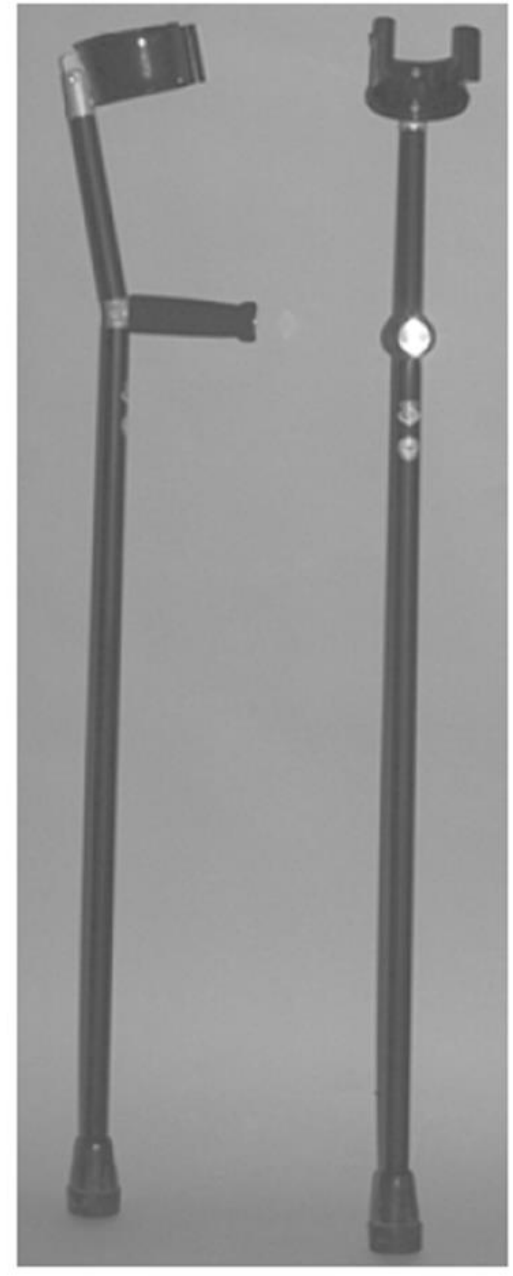
Birçok farklı uygulama sahsı mevcut:

Denizcilik,

Zırh (kurşun geçirmez yelek)

Askeri araçlar,

İnşaat sektörü



Şekil. Karbon/epoksi kompozit koltuk değnekleri. Al dan daha yüksek mukavemetli ve % 50 daha hafif, daha estetik görünümlü

Questions?

- Mühendislik malzemeleri ve kompozitin önemi?
- Spesifik mukavemet ve spesifik rijitlik özelliklerine göre malzemeleri sıralayınız?
- Kompozit malzeme nedir?
- Neden ihtiyaç duyarız?
- Kompozitlerde elyaf matris ve arayüzey özellikleri görevleri nedir?
- Elyaf ve tanecik takviyeli kompozitleri örnek vererek karşılaştırınız?
- Kompozit neden anizotropiktir?
- Uydularda neden kompozit kullanımı tercih edilir? Avantaj ve dezavantajı nelerdir?
- Helikopter kanatlarında metaller kompozitlere neden değiştirilmiştir?
- Özgül mukavemet ve özgül elastisite nedir? Cam elyaf kompozitleri ve geleneksel malzemeleri çelik alüminyum vb kıyaslayın
- En yaygın kullanıma sahip elyaf ve matrisler nelerdir?
- Uzay ortamında sıcaklık farklılığının büyük olması nasıl bir problem oluşturur ve karbon kompozitler bu sorunu nasıl çözer

Homework

- Give a report (mak. 5 pages) using of polymer composite materials for different application fields.
- www.jeccomposites.com
- Compositeworld.com
- Reinforcedplastics.com
- Netcomposites.com
- Kompozit sanayicileri (www.kompozit.org.tr)