

Okan Üniversitesi MYO

MUTK216

TAHRİBATSIZ MALZEME MUAYENESİ

Ders Yürütücüsü:

Öğr. Gör. Eren Kayaoğlu

eren.kayaoglu@okan.edu.tr

DERS 2

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

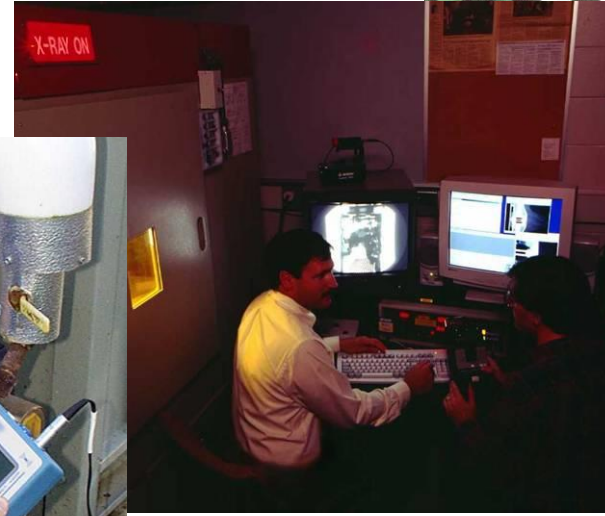
Ders Sunumları (.pdf) + Kaynaklar

<http://okanuni.eren.xyz>

Web adresinden indirebilirsiniz.

En çok rastlanılan 6 tahribatsız muayene yöntemi

- **Visual**
- **Liquid Penetrant**
- **Magnetic**
- **Ultrasonic**
- **Eddy Current**
- **X-ray**



Tahribatsız Muayene (NDT – Non Destructive Testing)

- Endüstride en çok kullanılan yöntemler:
 - Gözle (görsel) muayene (VT – Visual Testing)
 - Penetrant sıvı muayenesi (PT – Penetrant Testing)
 - Ultrasonik muayene (UT – Ultrasonic Testing)
 - Akustik emisyon testi (AET – Acoustic Emission Testing)
 - Radyografik muayene (RT – Radiographic Testing)
 - Termografik muayene (TI – Thermography, Thermal Imaging)
 - Manyetik parçacık muayenesi (MT – Magnetic Particle Testing)
 - Girdap akımları muayenesi (ECT – Eddy Current Testing)

TEMEL KAVRAMLAR:

Malzeme Türleri
Kompozitler
Süreksizlikler
Delaminasyon
Yorulma Hasarı
Striasyon

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

TEMEL KAVRAMLAR

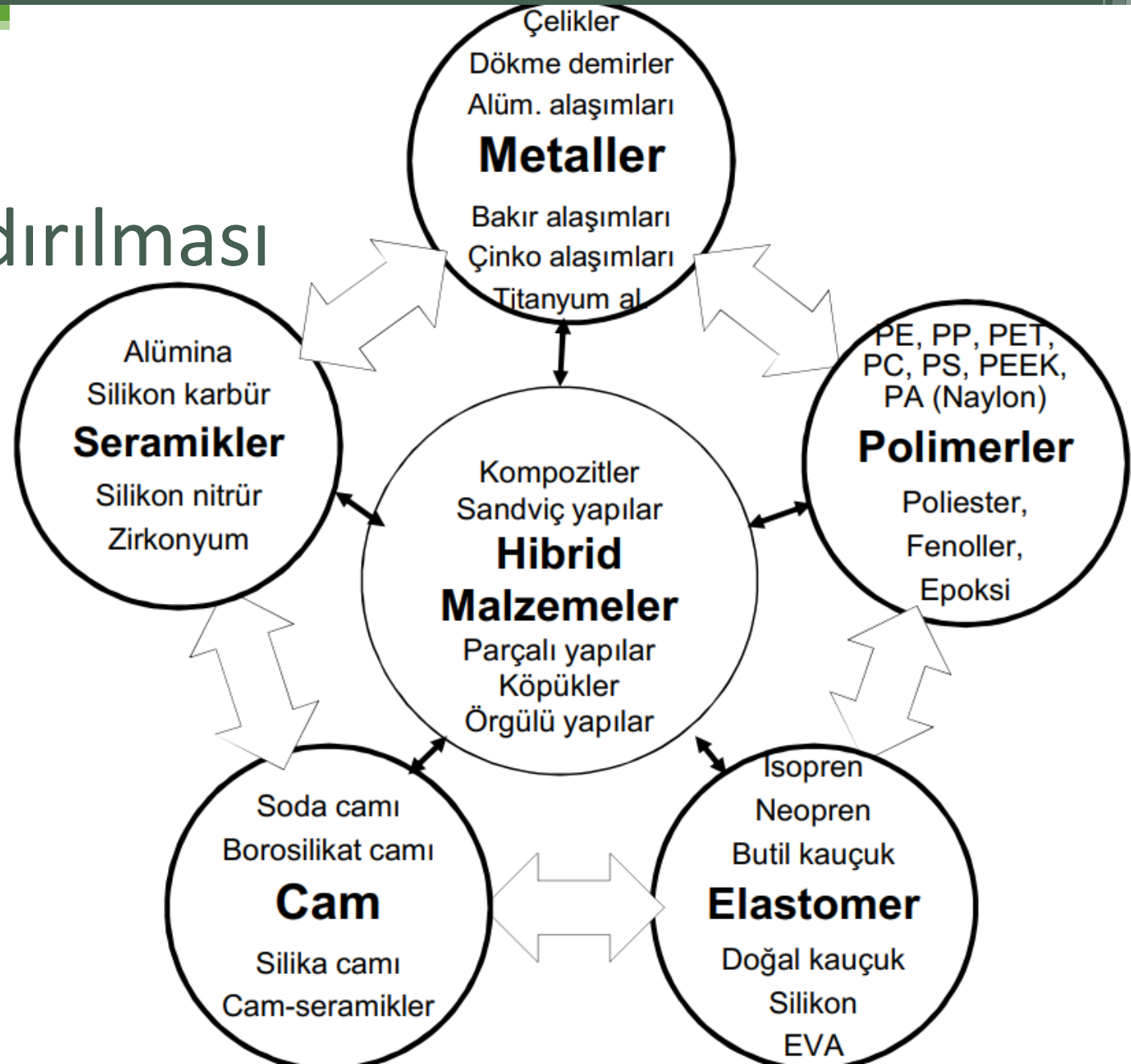
MALZEME

Malzeme

- Tasarımcı için **mühendislik malzemelerini** tanımak ve bunların özelliklerini bilmek çok önemlidir.
- Makine ve uçak parçaları, çalışma şartlarına uygun malzemelerden imal edilmek zorundadır. Bu malzemeler uygulamaya göre gelen yükleri karşılar, elektrik iletkenliği veya yalıtkanlığı sağlar, manyetik akıyı geçirir veya geçirmez, ışığı iletir veya yansıtır, çok zorlu ortamlarda özelliklerini muhafaza eder vb.
- Malzemeye uygulanacak **tahribatsız muayene teknikleri** bu özelliklere göre belirlenir.

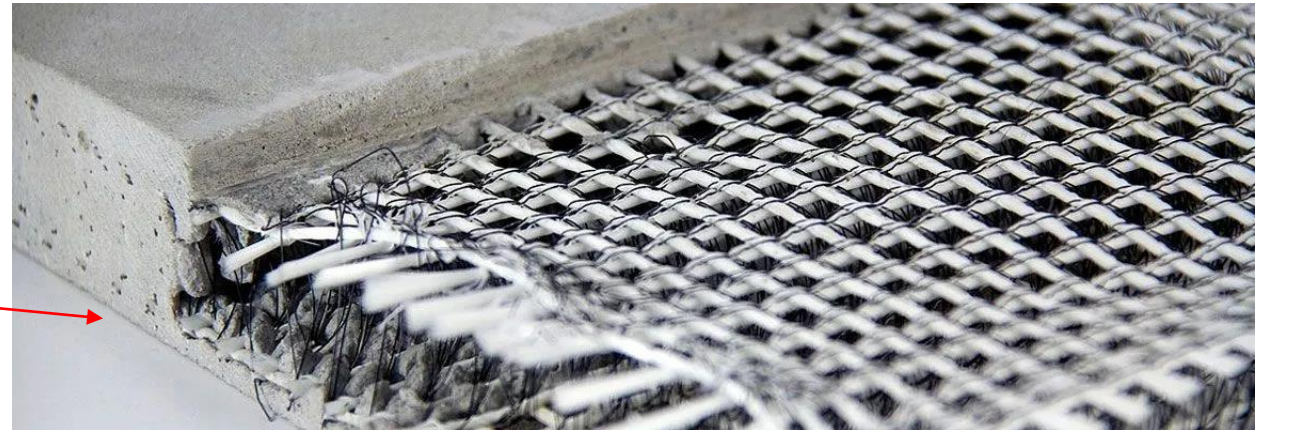
Malzemelerin Sınıflandırılması

- **Metaller**
- **Polimerler**
- **Seramikler**
- **Hibrid (Melez) Malz.**
- **Cam**
- **Elastomer**



Malzemelerin Sınıflandırılması

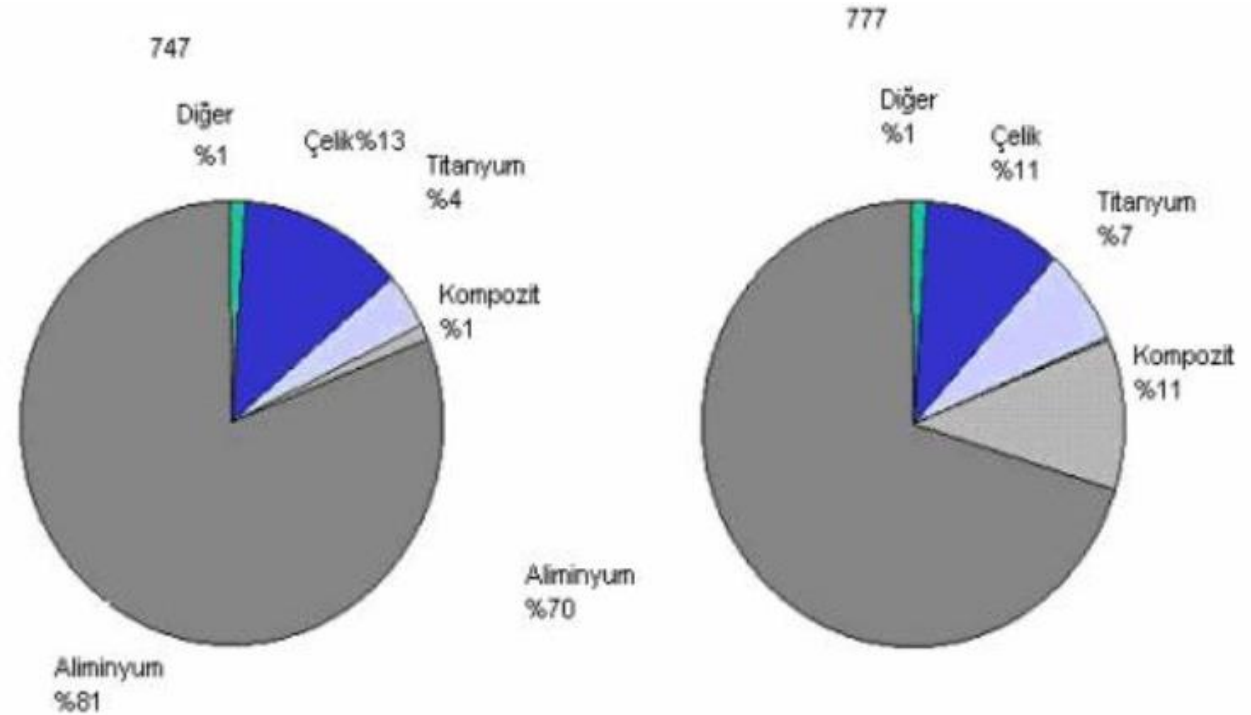
- Metaller
 - Çelikler
 - Alüminyum alaşımları
 - Bakır alaşımları
 - Nikel süper-alaşımları
- Seramikler
- Cam
- Polimerler
- Kompozit malzeme



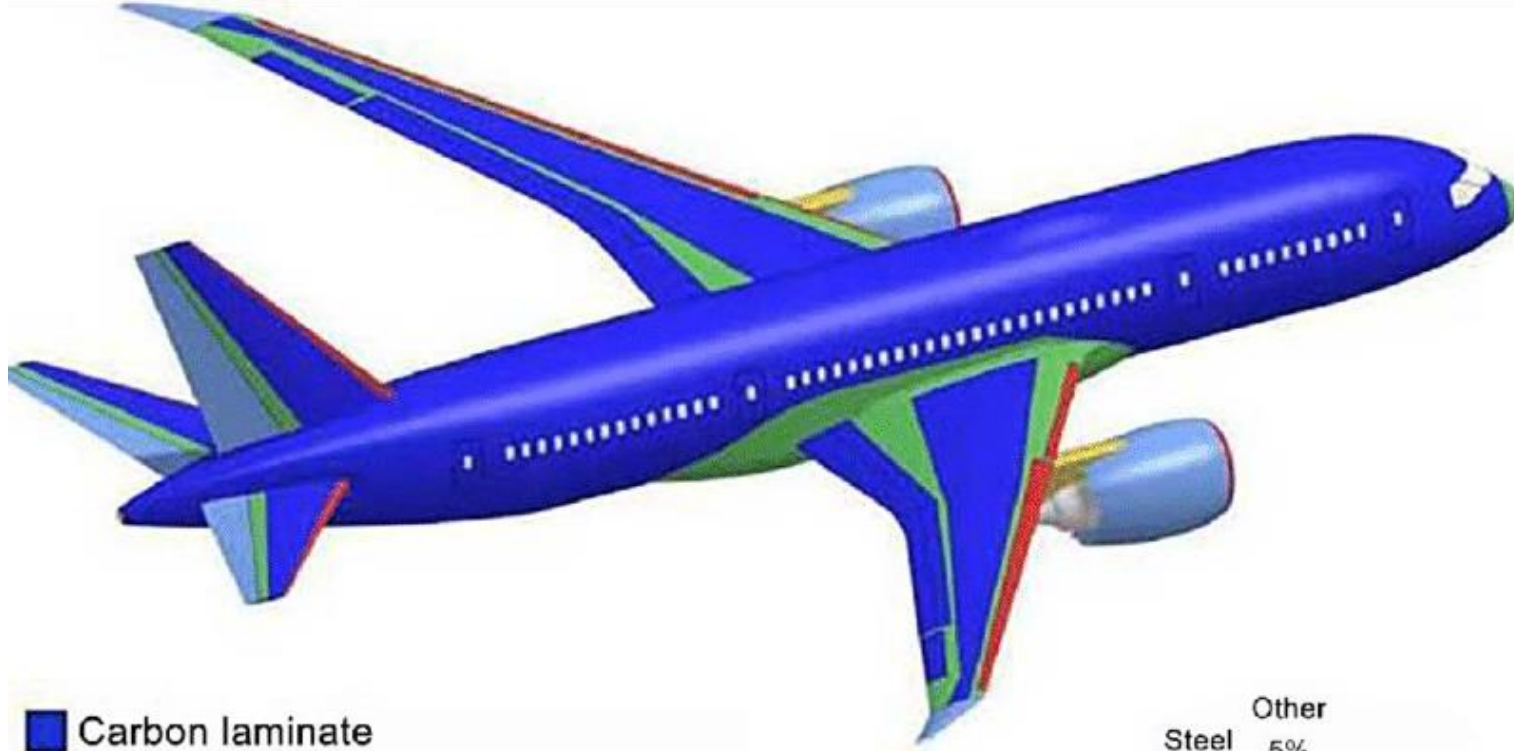
Malzemeler

Uçaklarda Kullanılan Malzeme Oranlarının Zamanla Değişimi

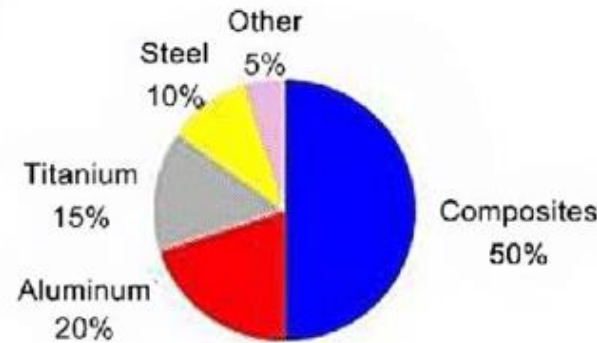
- B747 (1969)
 - Çelik %13
 - Alüminyum %81
 - **Kompozit %1**
- B777 (1994)
 - Çelik %11
 - Alüminyum %70
 - **Kompozit %11**



Malzemeler



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



Uçaklarda Kullanılan Malzeme Oranlarının Zamanla Değişimi

- B787 (2009)
 - Çelik %10
 - Alüminyum %20
 - **Kompozit %50**

Metaller

Çelikler: Yapı çelikleri **demir-karbon alaşımı**dır. Yapısında diğer bazı elementleri de (örn. krom, molibden, nikel vb.) çelikler alaşımlı çelikler olarak adlandırılır ve bunların mukavemeti daha yüksektir.

- Paslanmaz çelikler çok yüksek oranlarda krom içerir. Bunların korozyona dayanımı çok yüksektir.
- Nispeten düşük maliyetleri ve etkileyici pek çok özellikleri nedeniyle çelikler, en yaygın kullanılan mühendislik malzemeleridir.
- Bu malzemeler piyasada levha, plaka, boru, kütük, tel, döküm ve dövme ürünler halinde mevcuttur.

Metaller

Alüminyum alaşımları: Alüminyum yüksek mukavemet/ağırlık oranına ve iyi korozyon dayanımına sahip hafif (düşük yoğunluklu) bir metaldir. Bunun sonucu olarak konteynerler, ambalaj sektörü, yapı elemanları, transport sistemleri, uzay, **havacılık** ve spor ekipmanlarında yaygın olarak kullanılır.

Alüminyum yarı mamul olarak çeşitli döküm veya dövme formlarında mevcuttur. Esas olarak iki alaşım türü mevcuttur:

- 1) Döküme uygun alaşımlar (temelde alüminyum-silisyum alaşımları)
- 2) Talaşlı imalata uygun alaşımlar (temelde alüminyum-bakır ve alüminyum-magnezyum alaşımları)

Metaller

Bakır alaşımları: Bakır ısı ve elektriksel iletkenliği mükemmel olan **sünek** (kırılmadan önce kayda değer oranda uzamaya sahip) bir malzemedir. Bunun sonucu, bakır genellikle elektriksel uygulamalar ve tesisatlarda yaygın kullanılır.

- Farklı alaşım elementleri ile elde edilen bakır alaşımlarının çok farklı özellikleri mevcuttur.
 - **Pirinç** bir **bakır-çinko** alaşımıdır ve saf bakıra göre oldukça yüksek mukavemetlidir.
 - **Bronz** ise bir **bakır-kalay** alaşımıdır ve yaygın olarak kaymalı yataklarda kullanılır.

Metaller

Nikel süper-alaşımları: Süper-alaşımlar mükemmel termal mukavemet ve çok iyi yüksek sıcaklık mekanik özelliklerine sahip metallerdir. Bu alaşımlar esas olarak jet motorlarındaki türbin kanatları için geliştirilmiş ve yük altında 1000 °C'lik işletme sıcaklıklarında çalışabilmektedir.

- Günümüz jet motorlarında kullanılan alaşımlar, bol miktarda nikel yanında kayda değer oranlarda krom ve kobalt da içermektedir.
- Bu alaşımların popüler olanlarının ticari isimleri Inconel ve Hastelloy dur.

Seramikler

- Seramik malzemeler iyonik veya kovalent bağlarla bir arada tutulmaktadır. Bu bağlama türünde valans elektronları komşu atomlar tarafından paylaşılır (kovalent bağ) veya bir atomdan komşusuna aktarılır (iyonik bağ). Bu yüzden elektronlar metallerdeki gibi yapı içinde serbestçe hareket edemezler. Bunun sonucu ise seramiklerin **ısı ve elektriksel iletkenliğinin kötü** olmasıdır.
- Çok **sağlam ve rijit** olan bu bağlar seramiği son derece rijit ve **yüksek erime noktası** olan bir malzeme yapar.
- **Elastik özelliklerinin kötü** olması nedeni ile seramikler deformasyona maruz uygulamalarda kullanılmazlar.
- İstenmeyen hasarlardan kaçınmak için günümüz seramikleri basma zorlanmalarına maruz uygulamalarda tercih edilmektedir.

Seramikler

Mühendislik seramiklerinden bazıları:

- **Alümina:** Alüminyum oksit (alümina) kötü elektriksel ve termal iletkenliğe sahip, sert ve gevrek bir malzemedir. Genelde bujilerde termal yalıtım ve oksidasyon bariyeri, talaşlı imalatta ise abrazif olarak kullanılmaktadır.
- **Silikon Nitrür:** Diğer seramiklere göre ısıl iletkenliği ve tokluğu daha yüksektir. Kesme takımı, kum püskürtme lülesi, turbo kompresör rotoru ve türbin kanadı gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.
- **Karbon Elyaf:** Bu malzeme yüksek mukavemet/ağırlık oranına ve düşük ısıl genleşme katsayısına sahiptir. Daha ziyade kompozit malzemelerde takviye amacı ile kullanılmaktadır.

Cam

Camlar belirli bir **kristal yapısı olmayan amorf malzemeler**dir. Bunlara genellikle viskoz durumda iken şekil verilir ve hızla soğutulur. Camdaki atomlar sıvılardaki gibi gelişigüzel bir dağılımdadır. Camdaki atomik bağlar kovalenttir. Bu yüzden cam **çok gevrek** ve herhangi **süreksizlik bulunması halinde hasara çok meyillidir**.

- **Soda Camı:** Silisyuma sodyum oksit ve kalsiyum oksit eklenmesi ile elde edilen düşük erime noktalı camdır.
- **Borosilikat Camlar:** Isıya dayanımı arttırmak ve düşük ısıl genleşme katsayısı için boron oksit ilave edilir (mutfak eşyaları ve laboratuvar ekipmanları).
- **Cam Elyafı:** Silisyum ana malzemeye ek olarak, alüminyum oksit, kalsiyum oksit ve magnezyum oksit içerir. Plastiklerde ve **kompozitler**de takviye olarak kullanılır.

Polimerler

Plastik terimi sadece bir malzemeyi belirten bir sözcük değildir. Ancak, bütün plastiklerde ortak olan bir şey vardır, o da bunların **makro-molekül** olarak adlandırılan **çok uzun molekül zincirlerinden** oluştuklarıdır. Bu makro-moleküller genellikle 10.000 den fazla yapısal elemandan meydana gelir. (Tüm plastikler polimerdir. Tüm polimerler plastik değildir.)

- Polimerleri oluşturan monomerler genellikle basit organik molekulldür. Plastiklerin makro-molekülleri bu basit maddelerden elde edilir. “Makro-molekül” terimi bu molekullderin çok büyük boyutlarını temsil için kullanılmaktadır. Bu büyük molekulldeler binlerce monomer molekülünün birleşmesinin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.
- Saf polimerler çok ender hallerde kullanılırlar. Polimer esaslı malzemelere çeşitli özelliklerini geliştirmek veya değiştirmek amacı ile katkılar uygulandığı takdirde elde edilen bu **son ürüne “plastik” adı verilir.**

Polimerler

- Moleküller arası kuvvetler ile birbirine bağlanmış dallı veya lineer (düzgün) makro-molekül zincirlerinin oluşturduğu plastiklere **termoplastik** denir.
- Moleküller arası çekim kuvvetinin büyüklüğü diğer başka faktörlerin yanında esas olarak zincirdeki dallanmaların şekline ve sayısına bağlıdır.
 - Kısmi kristalin termoplastikler:
 - Polipropilen (PP), Polietilen (PE), Polioksimetilen (POM), Poliamid (PA)
 - Amorf termoplastikler: Polikarbon (PC), Polimetilmetakrilat (PMMA), Polistiren (PS), Polivinilklorür (PVC)

Polimerler

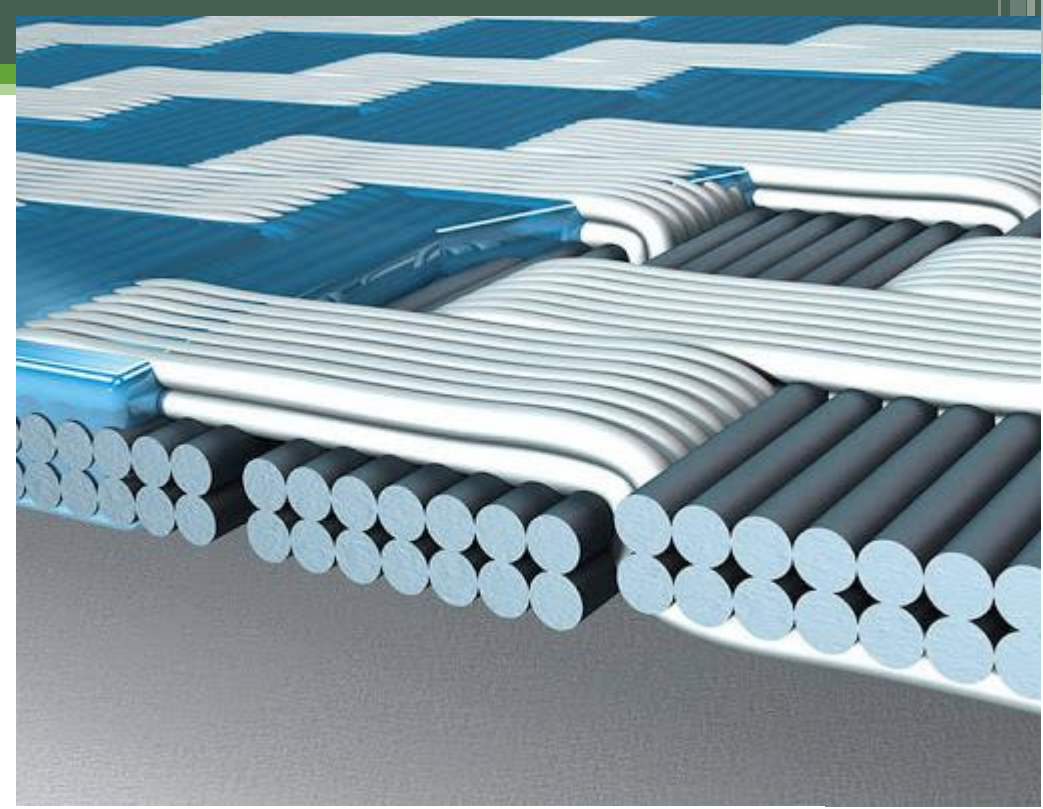
- Molekül zincirlerinin çapraz bağlarla (köprü benzeri) bağlanmış olduğu polimerler **termoset**ler olarak adlandırılır. Bu malzemelerin molekülleri sadece moleküller arası kuvvetlerle değil aynı zamanda atomsal bağlarla birbirine bağlanmışlardır.
- Yoğun çapraz bağlı molekül zincirlerinden oluşturduğu yapıya “**termoset**” denir.
- Oda sıcaklığında bu yoğun çapraz bağlı moleküller çok sert ve sağlam olmasına karşın, aynı zamanda da kırılgandır. Termoplastiklerle karşılaştırıldığında ise **termosetler aynı ısı ile çok daha az miktarda yumuşarlar**. Termosetlere örnekler: fenol formaldehit, melamin reçine, poliimid, epoksi reçine

Polimerler / Elastomerler

- Elastomerlerin molekül zincirleri gelişigüzel bir diziliş gösterirler ve düşük oranda çapraz bağ oluştururlar.
- Polimerlerin bu kategorisi **seyrek çapraz bağlı** olarak telaffuz edilebilir.
- Elastomerler **oda sıcaklığında kauçuk gibi** davranırlar.
- Elastomer içinde bulunan çapraz bağlar molekül zincirlerinin birbirine göre hareketini oldukça önemli oranda engeller.
- Elastomerlere örnekler: poliüretanlar, vulkanize kauçuk

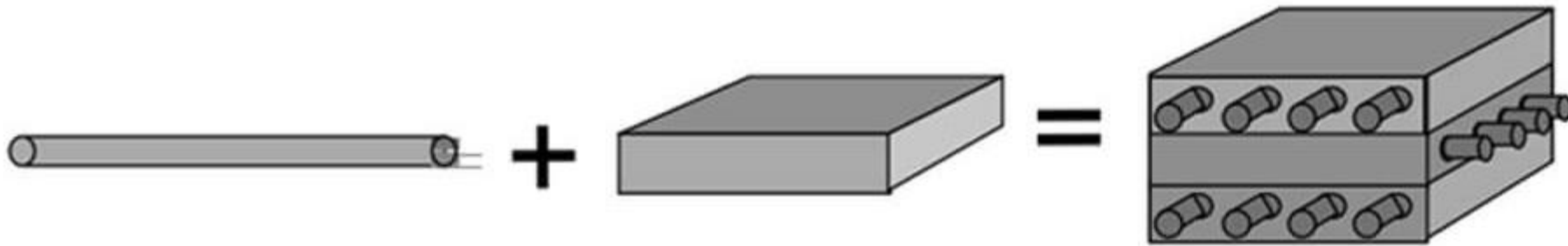
Kompozit (Karma) Malzemeler

- Kompozitler, uygulamanın gerekleri dikkate alınarak kimyasal ve fiziksel özellikleri farklı iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelerek oluşturdukları malzemelerdir.
- Kompoziti oluşturan **malzemeler yapı içinde ayrık** olarak kalırlar.
- Kompozit içinde **temel olarak iki tür malzeme** çeşidi bulunur. Bunlardan ilki **matris**, diğeri ise **takviye** malzemesidir.
 - Matris malzemesi takviye malzemesini tümüyle kaplayarak bunların birbirine göre olan konumlarının muhafazasını sağlar ve yapıya bir bütünlük kazandırır. En yaygın kullanılan matrisler polimerlerdir.
 - Takviye malzemesi ise kompozitin mekanik, fiziksel vb. özelliklerini geliştirmek içindir.
- Mühendislikte çok kullanılan kompozitler polimer matris (reçine/resin) içinde cam veya karbon elyafın (fiber) kullanıldığı malzemelerdir. Bunun yanında metal-seramik veya seramik-seramik kompozitleri de yaygındır.



Kompozit Malzemeler

Kompozitler = Matris + Takviye



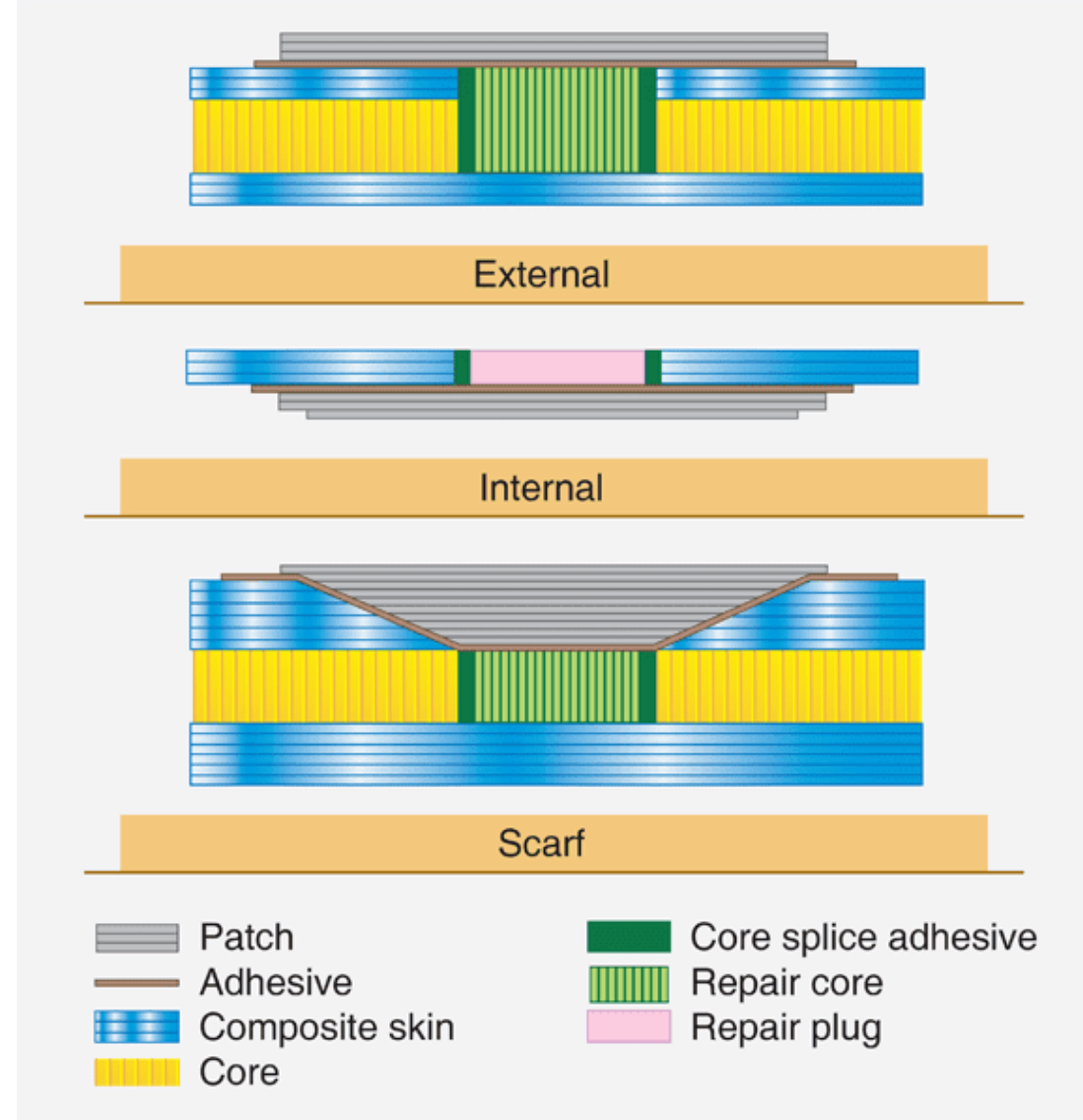
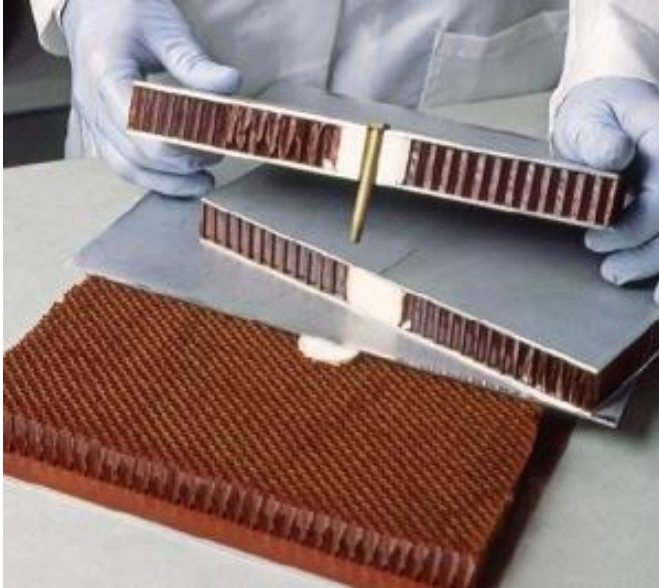
**Fiber/Filament
Reinforcement**

Matrix

Composite

Kompozit Malzemeler

Kompozit Uçak Yapı Elemanları



MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

TEMEL KAVRAMLAR

UÇAKLARDA YER ALAN MALZEMELER

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

MALZEMELER

Demir – Çelik

Alüminyum

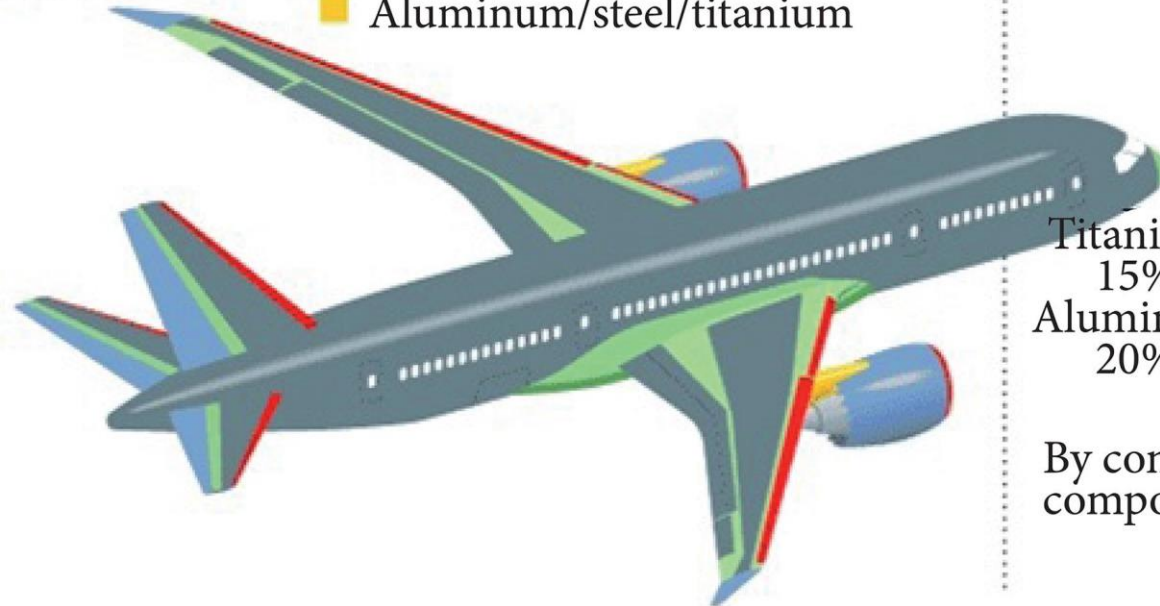
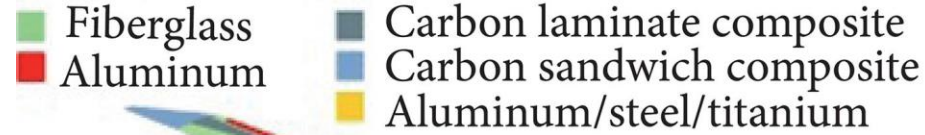
Kompozitler

UÇAKLARDA KULLANILAN MALZEMELER

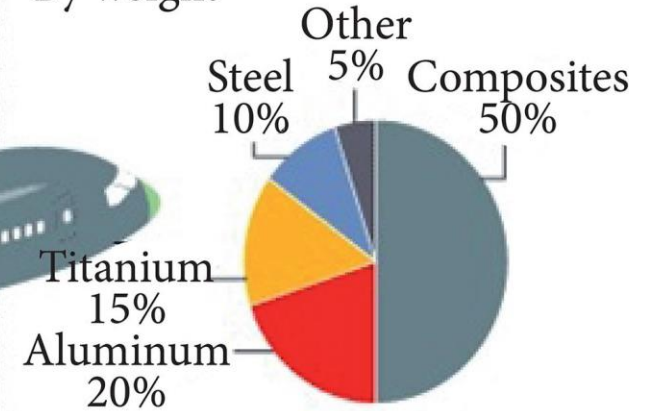
Örnek: B787

- Titanyum %15
- Alüminyum %20
- Çelik %10
- Kompozitler %50
- Diğer %5

Materials used in 787 body



Total materials used
By weight



By comparison, the 777 uses 12 percent composites and 20 percent aluminum

Malzemeler

Demir ve Çelik

Demir, kimyasal simgesi (Fe), yoğunluğu $7,88 \text{ g/cm}^3$ ergime derecesi $1535 \text{ }^\circ\text{C}$, kaynama noktası $3000 \text{ }^\circ\text{C}$, 67 Brinell sertlik değeri ile oldukça yumuşak çekme mukavemeti 27 kg/mm^2 , gri renkli, mıknatıslanabilen, elektrik ve ısıyı iyi iletebilen bir metaldir. Yer kabuğunun yaklaşık %5'ini teşkil eden demir kolay biçimlendirilebilen, çeşitli alaşım türleriyle en fazla kullanılan metal malzemedir.

İçerisinde % 1,7'ye kadar karbon, % 1'e kadar mangan % 0,5 kadar silisyum bulunan kükürt ve fosfor oranı da % 0,05'ten az olan demir karbon alaşımıdır. Çelik içindeki karbon miktarı çeliğin özelliklerinde önemli ölçüde değişimlere neden olur. Karbon oranı arttıkça sert ve kırılgan olur. Günümüzde modern binaların, köprülerin, otomobillerin, uzay araçlarının makinelerin ve ev araçlarının yapımında çelik kullanılır.

Malzemeler

Çelik Alaşımları

Uçakta kullanılan çelik alaşımları: Havacılıkta yapısal elemanların imalinde yüksek mukavemet değerleri sayesinde geniş kullanım alanına sahip vazgeçilmez metallerdir. Ağırlık dezavantajına rağmen uçakların ana iskeletinin ve iniş takımı dikmelerinin ana elemanlarıdır ancak tali yapılarda yerini alüminyum alaşımlarına bırakır.

Uçaklarda kullanılan demir cinsi olmayan malzemeler alüminyum ve alaşımları, titanyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, kurşun ve alaşımları, magnezyum ve alaşımları ile kompozit malzemeler olarak sınıflandırabiliriz.

Malzemeler

Çelik Alaşımlarının Kullanım Yerleri



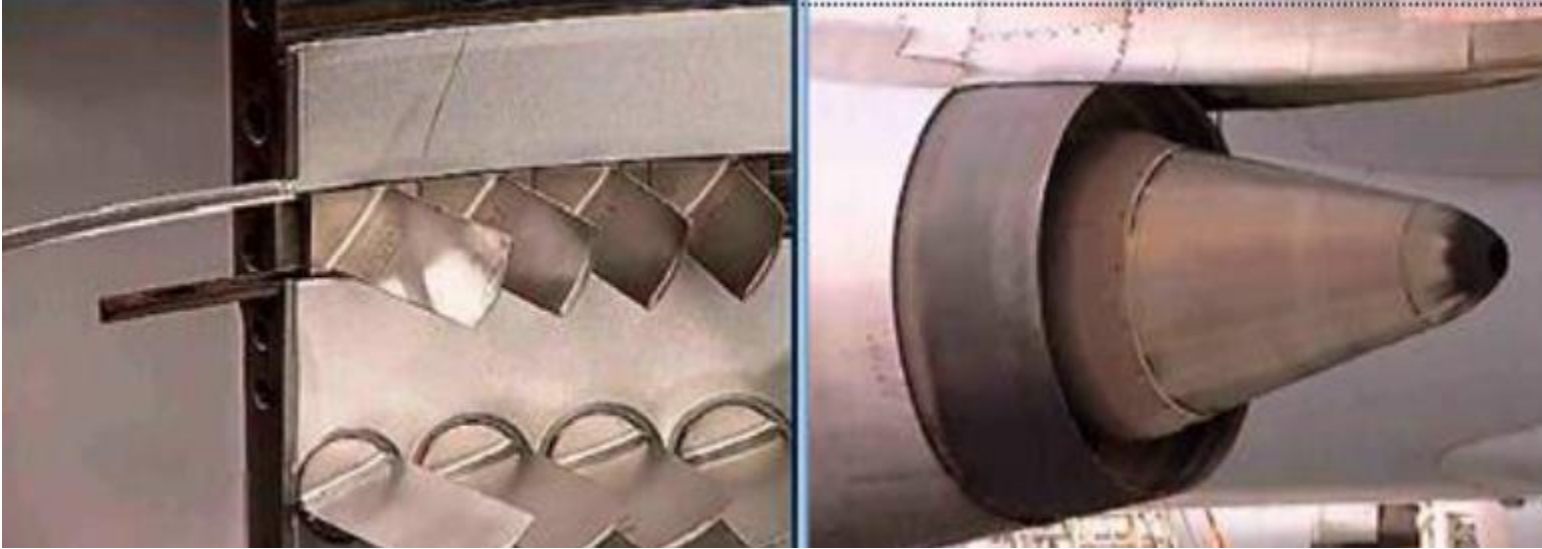
Manifoldlar



İniş takımları

Malzemeler

Çelik Alaşımlarının Kullanım Yerleri



Motor türbin kanatçıkları ve egzoz çıkış nozulu

Malzemeler

Demir★ Dışı Madensel Malzemeler

Kurşun	Kalay
Altın	Manganez
Platin	Magnezyum
Bakır	Kobalt ★
Nikel ★	Vanadyum
Krom	Gümüş
Volfram	Alüminyum

★ Ferromanyetik, mıknatıslanabilen metaller



Malzemeler

Alüminyum Alaşımları

6061 Alaşımı: (% 1,0 Mg -% 0,6 Si - % 0,25 Cu - % 0,025 Cr) Yüksek mukavemetin, işlenebilirliğin, kaynak kabiliyetinin ve korozyona iyi bir direncin istendiği durumlarda kullanılır. Uçak iniş merdivenleri gibi elemanlarında uygulama alanı vardır. 20 °C'deki yoğunluğu 2.70 g/cm³tür. Çıplak ve kaplı alaşım olarak kullanılır. 260-510 °C arasında sıcak çalışabilir. Tam tavlama 413 °C'de yapılır. Bu sıcaklıkta 2-3 saat bekletildikten sonra saate10 °C hızla fırında soğutulur.

Malzemeler

Alüminyum Alaşımları – Uçak Yapı Elemanı

7075 Alaşımı: (%5,5 Zn- %2,5 Mn - %1,5 Cu- %0,3 Cr)Yüksek mukavemetin ve korozyona iyi direncin gerektiği durumlarda kullanılır. Uçak yapı elemanlarının büyük bir kısmı 7075 alaşımından yapılır. 20°C'deki yoğunluğu 2,80 g/cm³tür. Mukavemeti çekme gerilmesi mukavemetinin yaklaşık %55'tir. 260-455 °C arasında sıcak çalışabilir. Tam tavlama 413 °C'de 2-3 saat bekletmeyle yapılır. Sonra havada soğutulur. Malzeme kullanılmadan önce bir süre depolanacaksa 232 °C'de yeni bir ısıtmaya tabi tutulmalıdır.

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

TEMEL KAVRAMLAR

Malzemedede Hata ve Hasar Çeşitleri **Yorulma Hasarı**

TEMEL KAVRAMLAR / Hata – Kusur - Hasar

- Süreksizlik
- Hata
- Kusur
- Boşluk
- Çatlak
- *Flaw*
- *Defect*
- *Void*
- *Fault*
- *Failure*
- *Discontinuity*
- *Imperfection*
- *Impurity*
- *Crack*

TEMEL KAVRAMLAR

Malzemedeki Süreksizlikler (Hata, Hasar, Çatlak)



Şekil 1.1: Yüzeğe açık süreksizlik

- Yüzeğin altında veya yüzeğe yakın: Yüzeğe yakın süreksizlikleri kapsar.



Şekil 1.2: Yüzeğe yakın süreksizlik

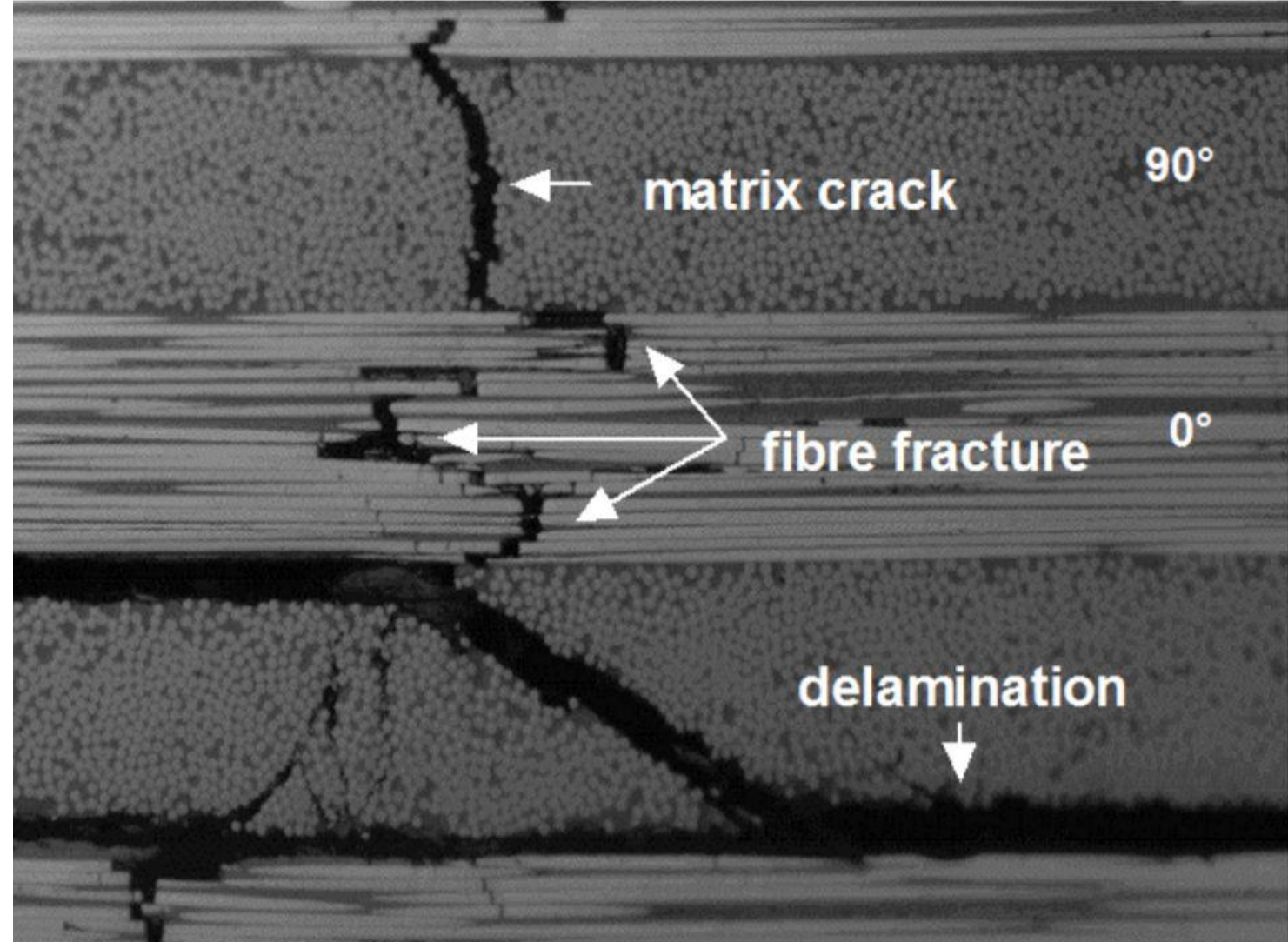
- Malzeme içindeki: Her iki yüzeyden uzak olan süreksizlikler.



Şekil 1.3: Malzeme içindeki süreksizlik

TEMEL KAVRAMLAR

- **Örnek Görsel:**
Karbon fiber kompozitlerde çok görülen hasar ve hata çeşitleri



TEMEL KAVRAMLAR

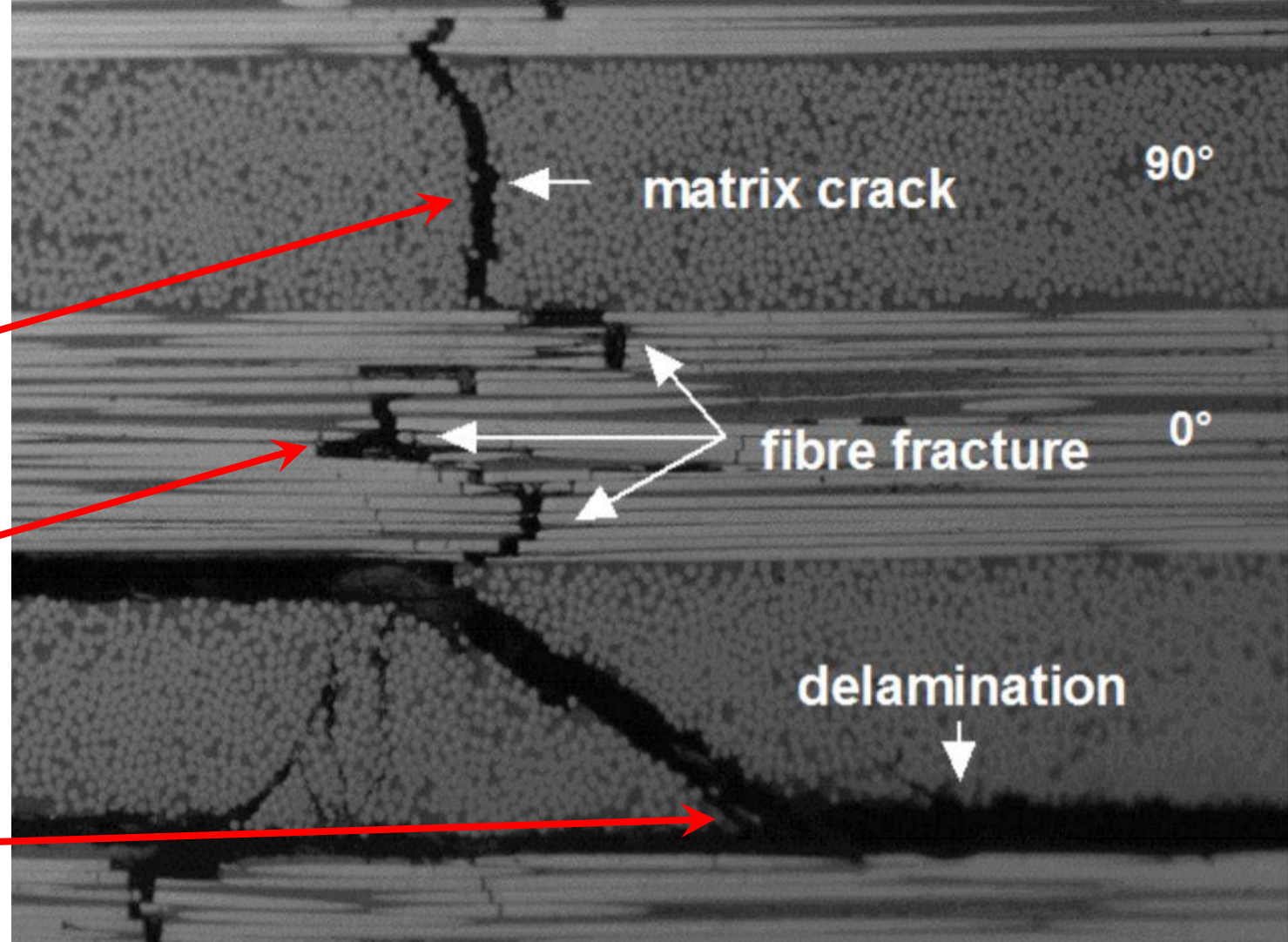
Polimer matrisli karbon fiber kompozit malzemede rastlanan kusur çeşitleri

- **Örnek Görsel:**

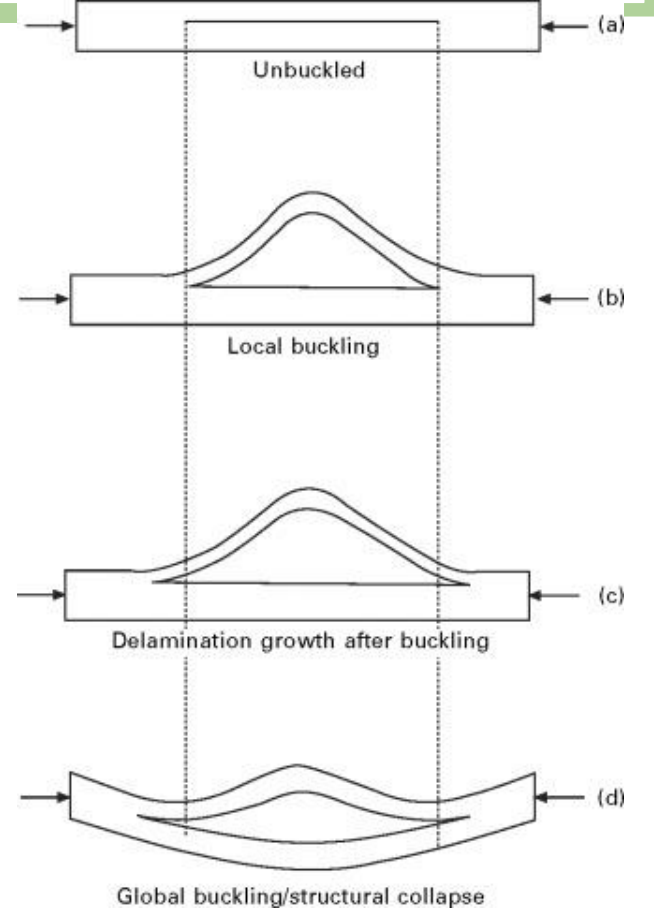
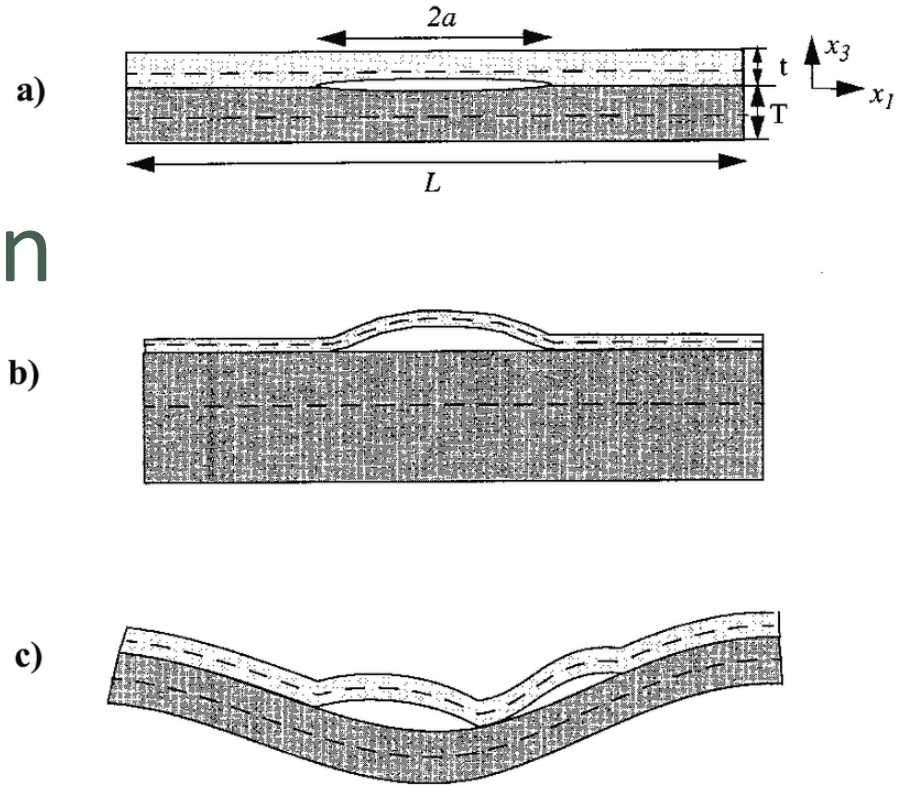
Matriste çatlak
(*matrix crack*)

Elyaf (lif) kırıkları
(*fibre fracture*)

Katmanların ayrılması
(*delamination*)



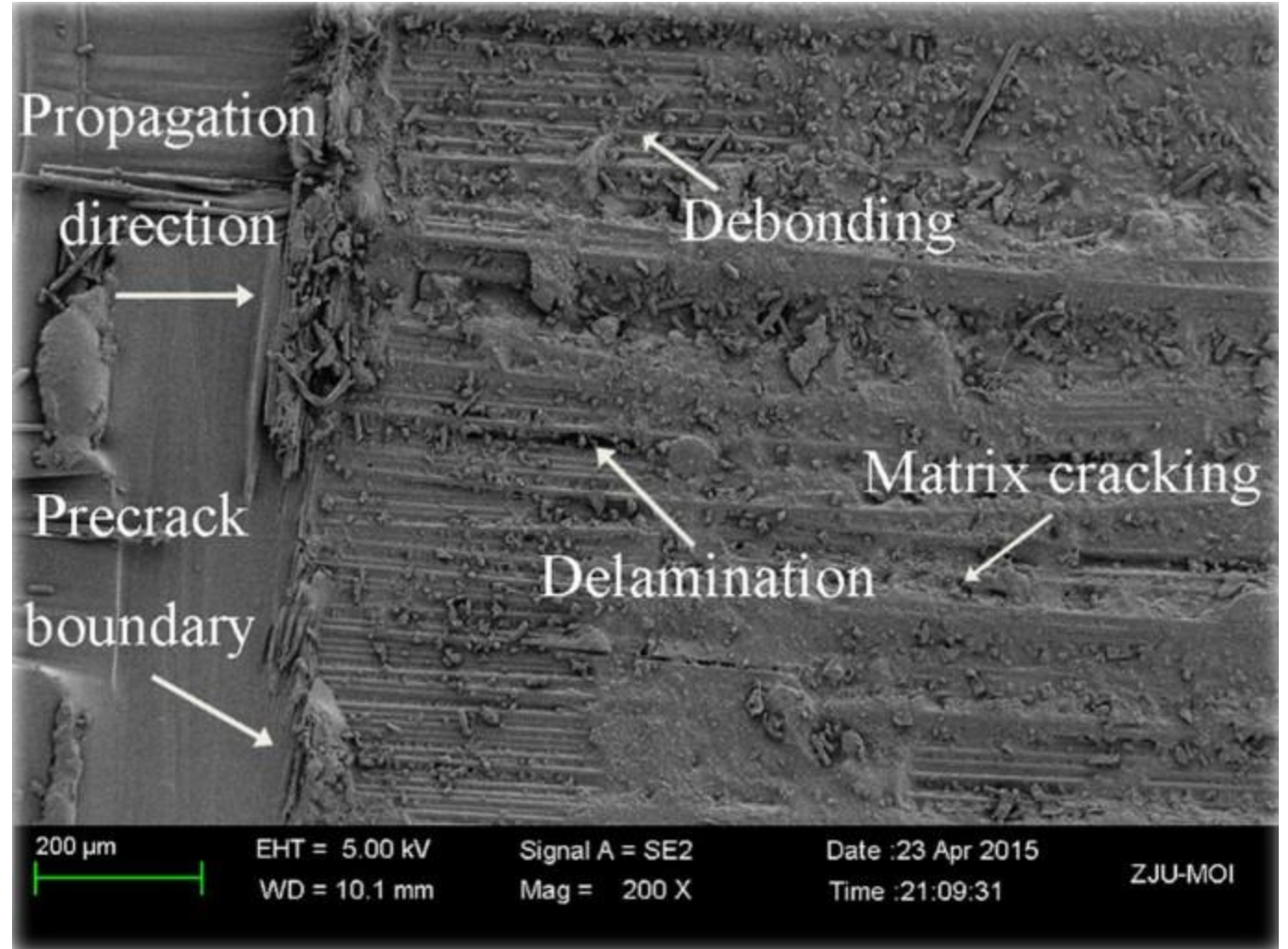
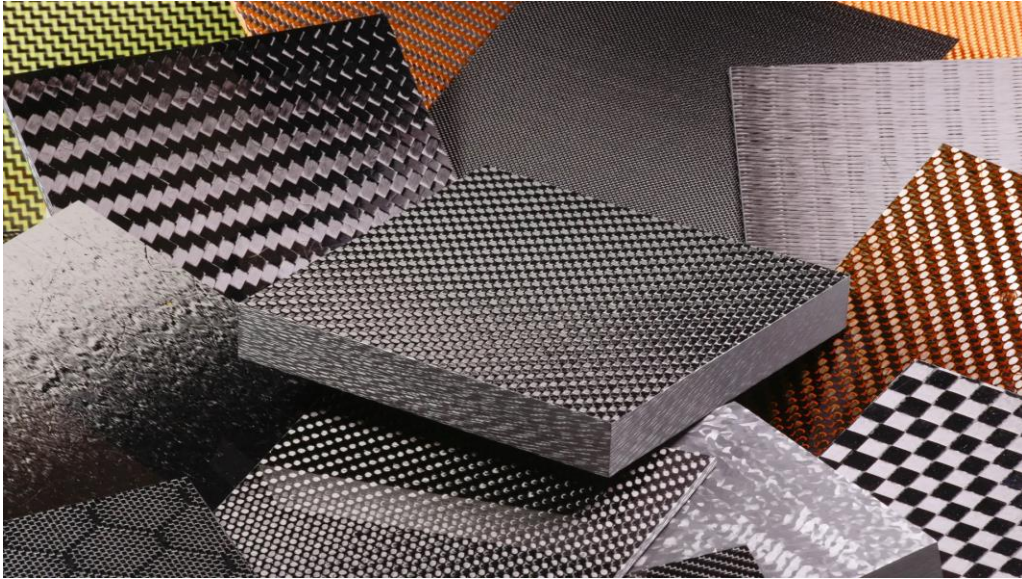
Delaminasyon



Kompoziti oluşturan **tabakaların birbirinden ayrılması** olarak tanımlanmaktadır. Tabakalı kompozit malzemelerde tabakalar arasındaki mukavemetin düşük olması sebebiyle en çok karşılaşılan hasar tipidir.

Malzemede rijitlik kaybı ve malzeme ömrünün kısalması gibi sonuçlar ortaya çıkarabileceğinden önemli bir çalışma konusudur.

Delaminasyon



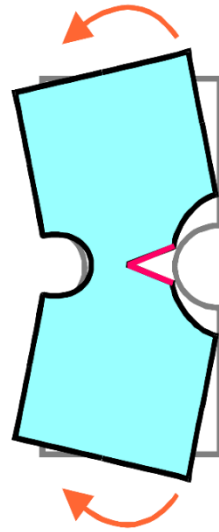
Örnek GörSEL: Karbon elyafı / epoksi (carbon fiber/epoxy) esaslı kompozit malzemede oluşan kusurlar

Yorulma Hasarı

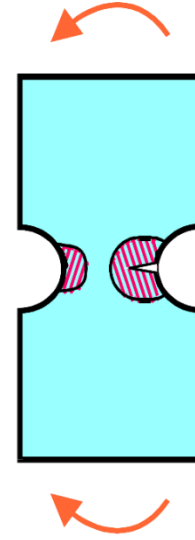
- Makine parçaları ve komponentler genellikle **dinamik zorlanmalar** etkisindedir. Gerilmenin büyüklüğü zamanla değişir.
- Dinamik zorlanmalar sadece kuvvetin (skaler olarak) değişken olduğu durumlarda ortaya çıkmaz. Örneğin, dönen parçalarda **kuvvet sabit olsa dahi değişken (vektörel olarak) zorlanmalar** meydana gelir.
- Bu zorlanmalara maruz makina elemanları, **akma dayanımlarının çok altındaki gerilmeler altında**, zaman içinde hasara uğrarlar.

Yorulma nedir?

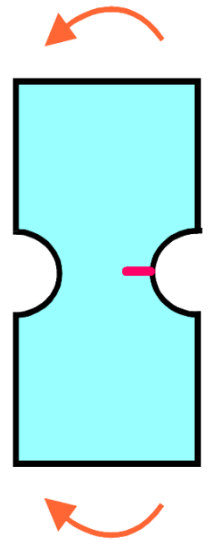
- Malzeme biliminde bir malzemenin devirli olarak sürekli – tekrarlı (cyclic loads) yüklemeye uğraması sonucu **(çatlak) ilerlemeli ve yerel yapısal hasara uğramasıdır**.
- Malzeme akma/kopma dayanımının altındaki yüklerde hasara uğrar.



Static failure
(large global deformation and large plastic strain)

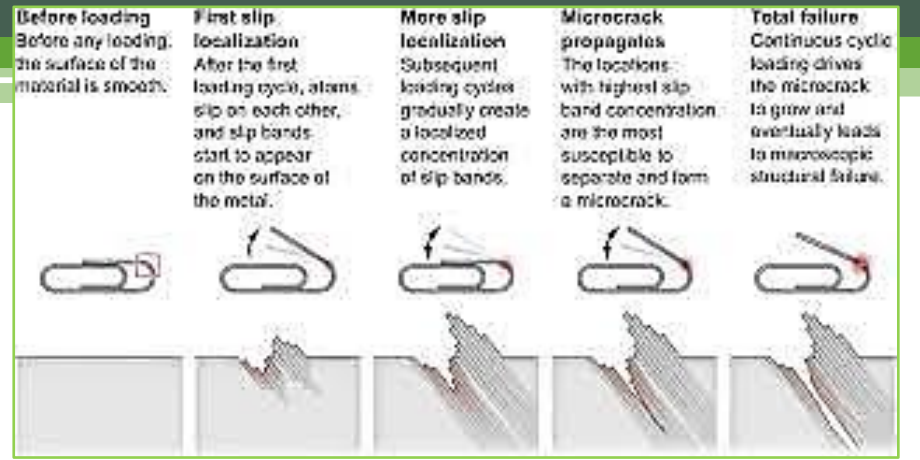


Low cycle fatigue
(small local plastic strains)



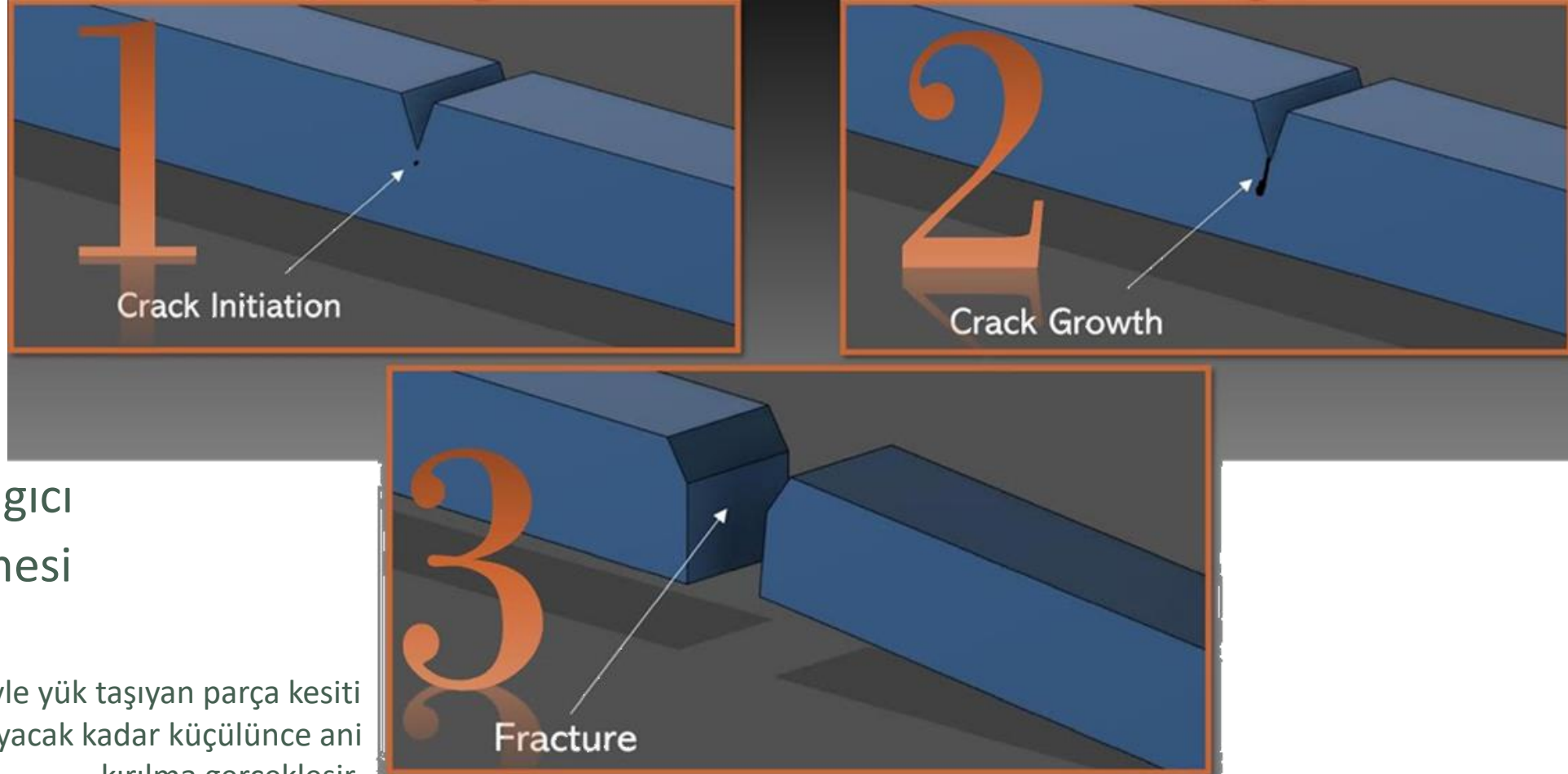
High cycle fatigue
(small local elastic strains)

Yorulma Hasarı



- Değişken zorlanmalar altında parçalarda meydana gelen bu hasar “**yorulma hasarı**” olarak adlandırılır.
- Yorulmada nihai hasar, **malzeme içinde oluşan küçük mikro çatlakların**, değişken zorlanmalar neticesinde zamanla ilerleyerek büyümesi sonucunda ortaya çıkar. Bu olay daha ziyade metal malzemelerde olmakla beraber her malzemedede gözlenebilir.
- Parça tasarımında yer alan çeşitli süreksizlikler (kama yuvası, fatura, omuz, vida dişi, pim deliği, segman yuvası vb. gibi) yorulma hasarını hızlandırıcı etki yapar.

Yorulma nedir?



1. Çatlak başlangıcı
2. Çatlak ilerlemesi
3. Kırılma

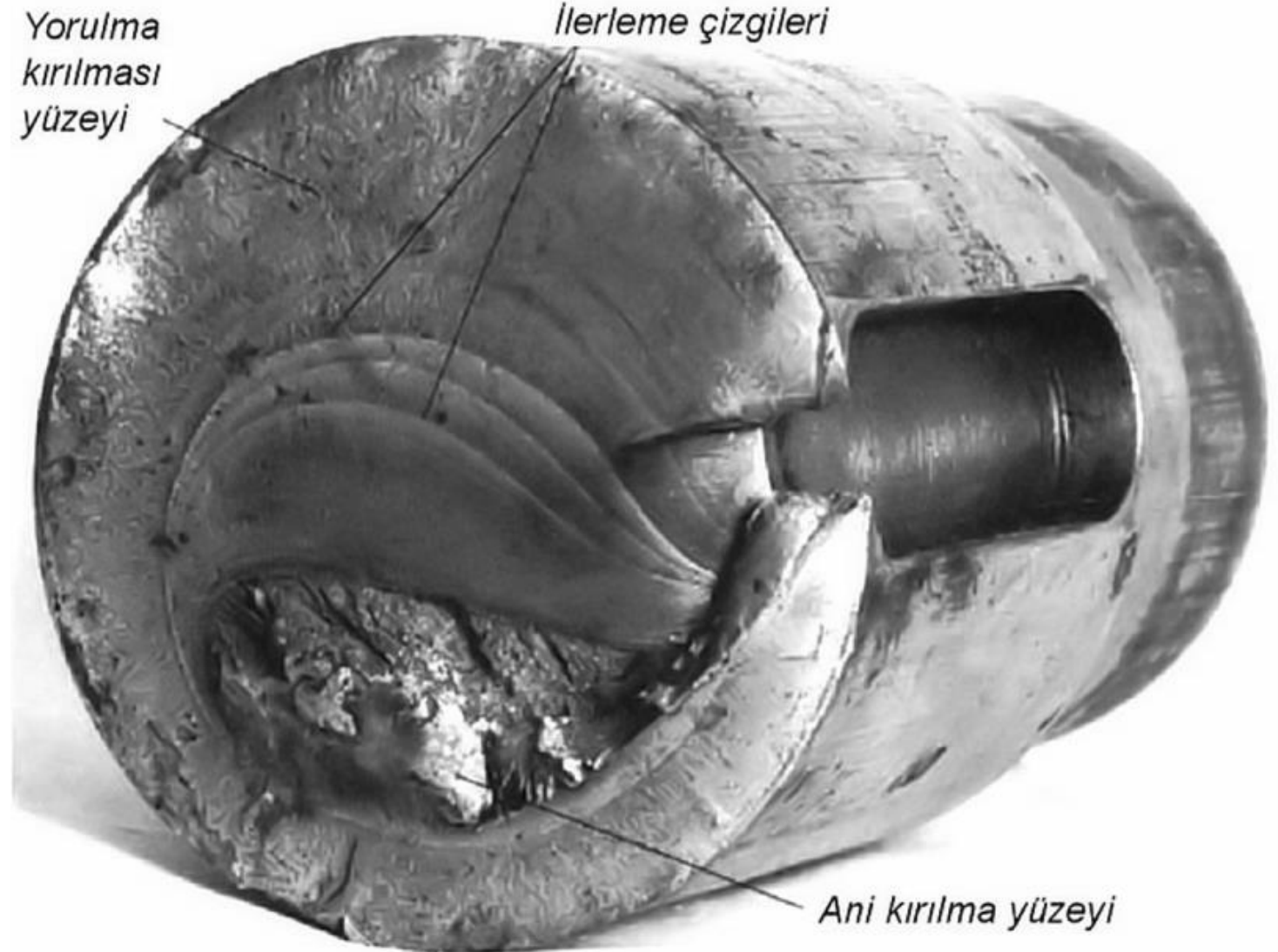
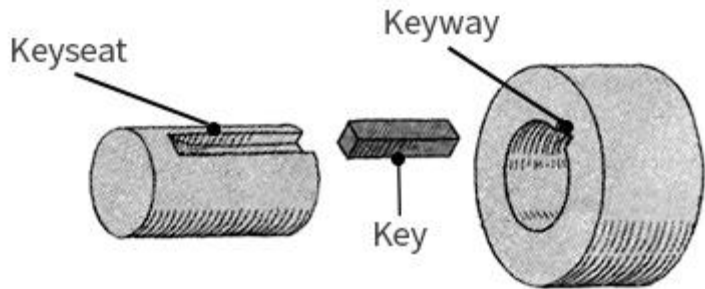
Çatlak ilerlemesi sebebiyle yük taşıyan parça kesiti küçülür. Yükü taşıyamayacak kadar küçülünce ani kırılma gerçekleşir.

Yorulmaya Etki Eden Faktörler

- 1) Gerilme hali:** gerilme genliği, ortalama gerilme, iki eksenli gerilme halinin varlığı, kayma gerilmeleri vb.
- 2) Geometri:** **Yorulma çatlağını başlatabilecek ve gerilme yığılmalarına neden olan süreksizliklerin** varlığı (küçük delikler, çentikler, keskin köşeler vb.)
- 3) Malzeme türü:** Yorulma ömrü malzeme türüne göre büyük değişiklikler gösterebilir.
- 4) Artık gerilmeler:** Kaynak, döküm vb. işlemler sonunda oluşan artık gerilmeler yorulma ömrünü azaltır
- 5) İç kusurların boyutları ve dağılımı:** Örneğin döküm sonrası oluşan boşluklar yorulma ömrünü çok azaltır
- 6) Yükleme doğrultusu:** İzotrop (yönden bağımsız) olmayan malzemeler için önemlidir
- 7) Tane büyüklüğü:** Pek çok metal için küçük tane büyüklüğü uzun yorulma ömrü anlamına gelir
- 8) Çevre:** Gaz ortamı, korozyon, erozyon vb. gibi çevre şartları yorulma ömrünü çok etkiler
- 9) Sıcaklık:** Çok yüksek veya çok düşük sıcaklıklar yorulma ömrünü azaltır

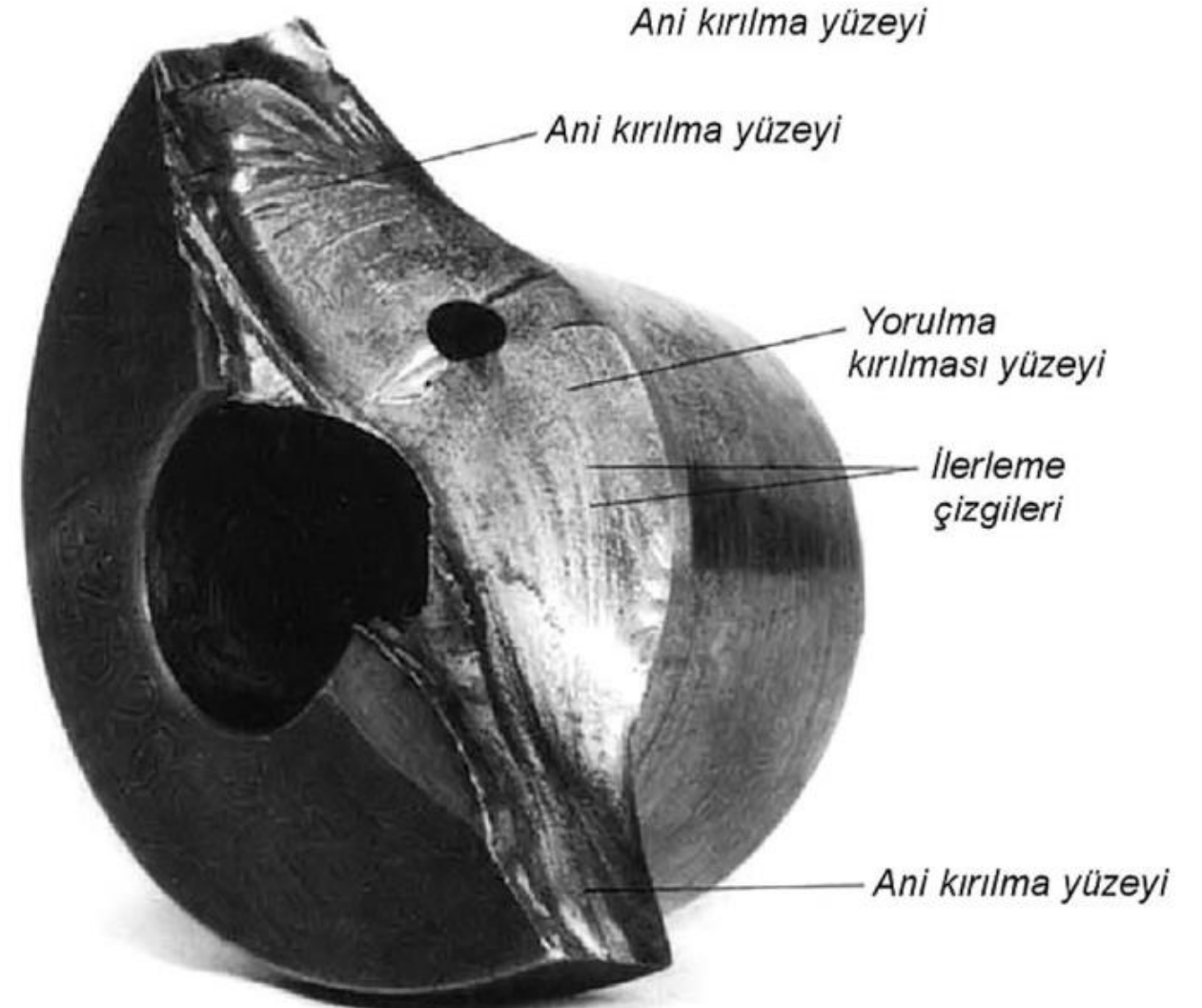
Yorulma Hasar Örnekleri (1)

- Bir pinyon milindeki tipik yorulma hasarı



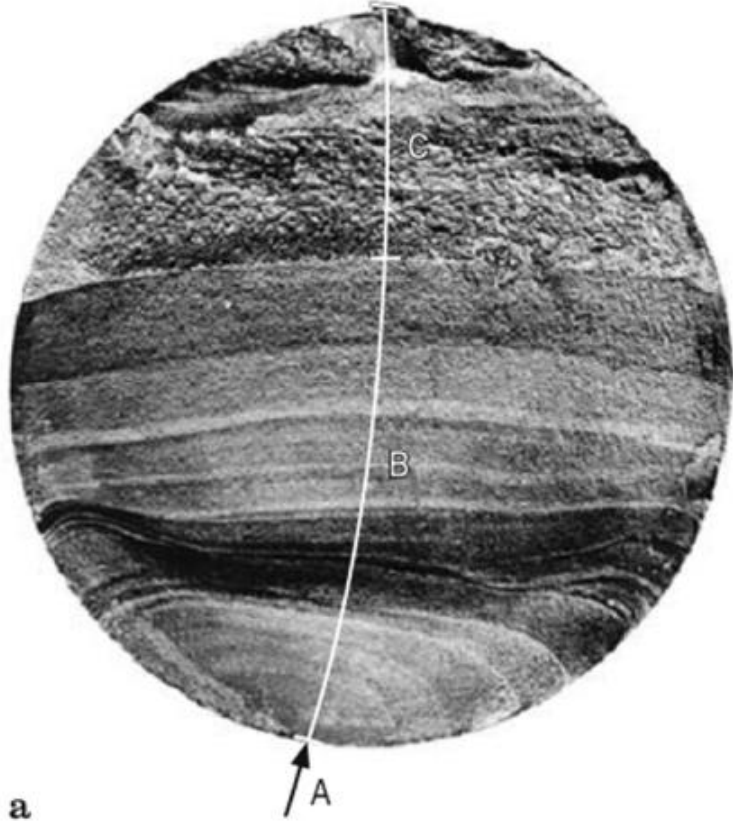
Yorulma Hasar Örnekleri (2)

- Bir krank milindeki tipik yorulma hasarı



Yorulma Hasar Örnekleri (3)

- a) Eğilmeye maruz bir eksantrik kırıcıdaki yorulma hasarı
- b) Çok küçük yuvarlatma sonucu bir iticide oluşan yorulma kırığı
- c) Burulma çubuğunda oluşan yorulma kırığı



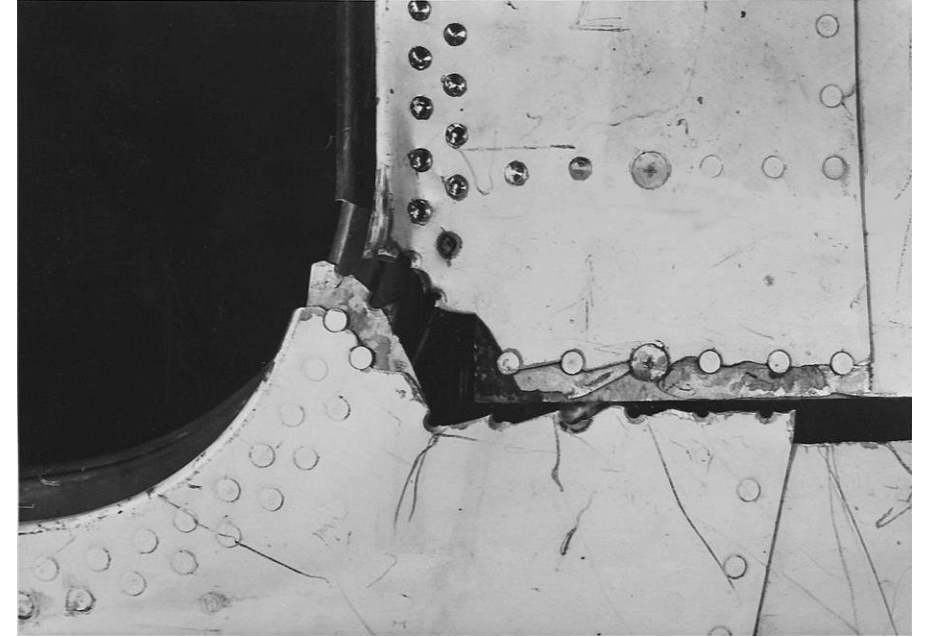
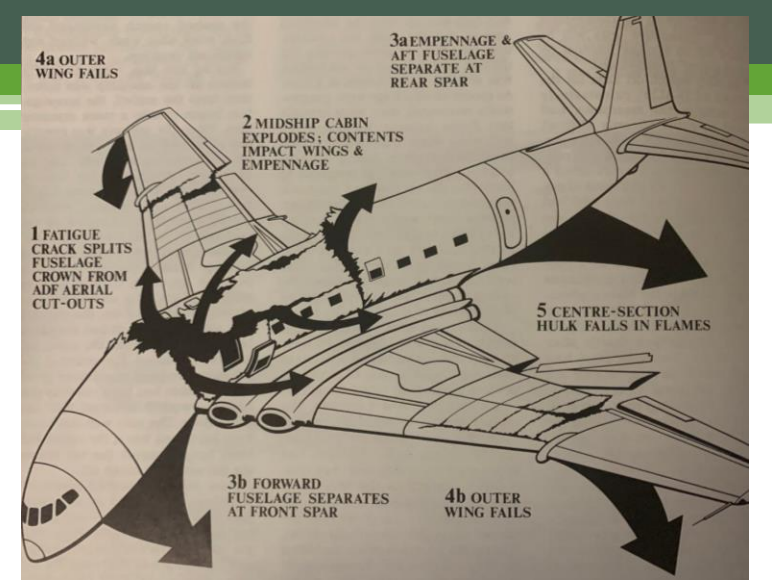
Yorulma Hasar Örnekleri (4)

- Alüminyum malzemedeki bisiklet pedal kolunun (krank arm) kırılması
Koyu renkli çizgi alanı: yavaş çatlak büyümesi.
Parlak granüler alan: ani kırılma.



Yorulma Hasar Örnekleri (5)

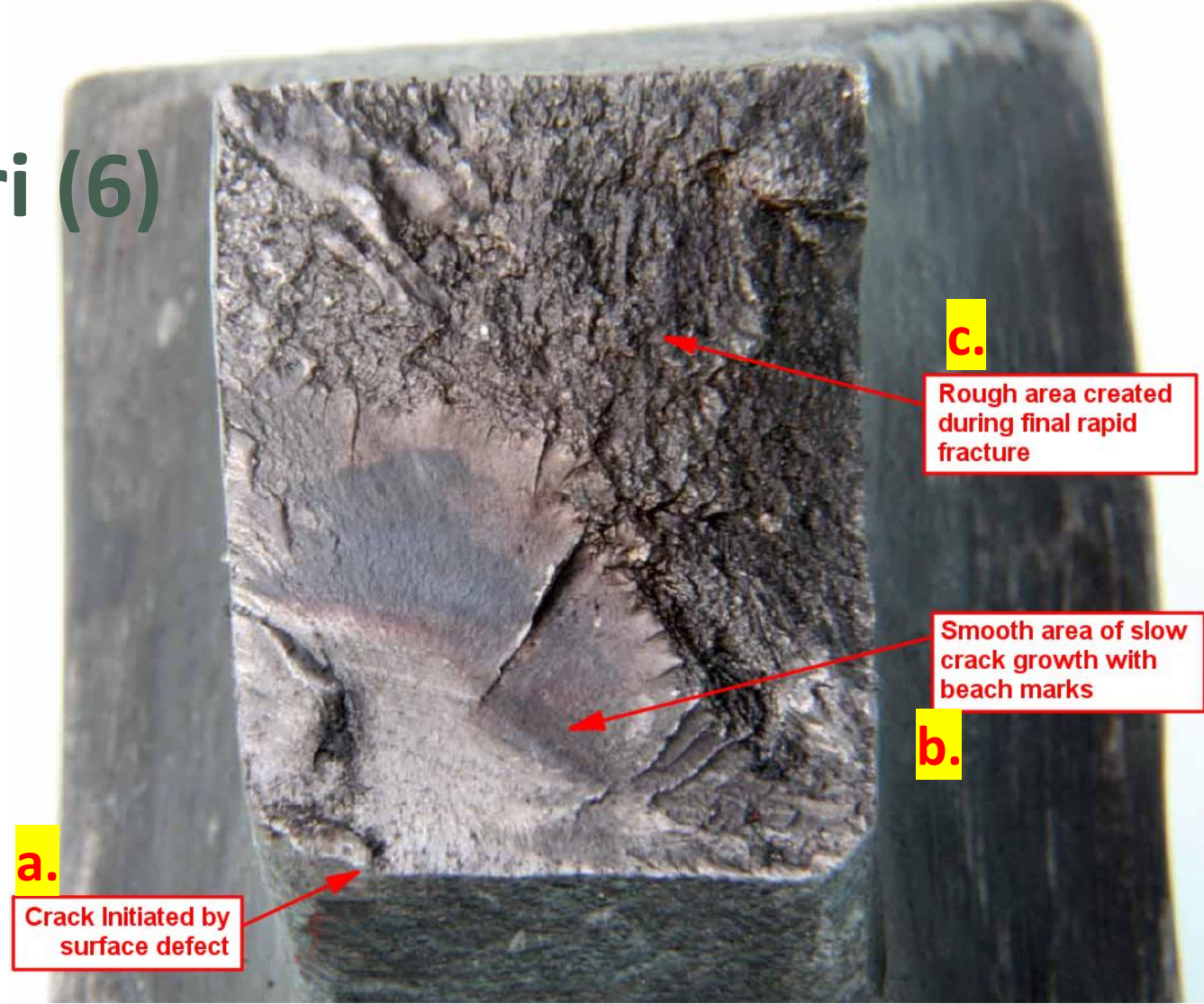
- De Havilland Comet uçağının pencere köşelerinde meydana gelen çatlaklar. Comet ilk ticari uçuşunu 1952 yılında yapmıştır. Köşeli pencere uygulamaları daha sonra terk edilmiştir.



Yorulma Hasar Örnekleri (6)

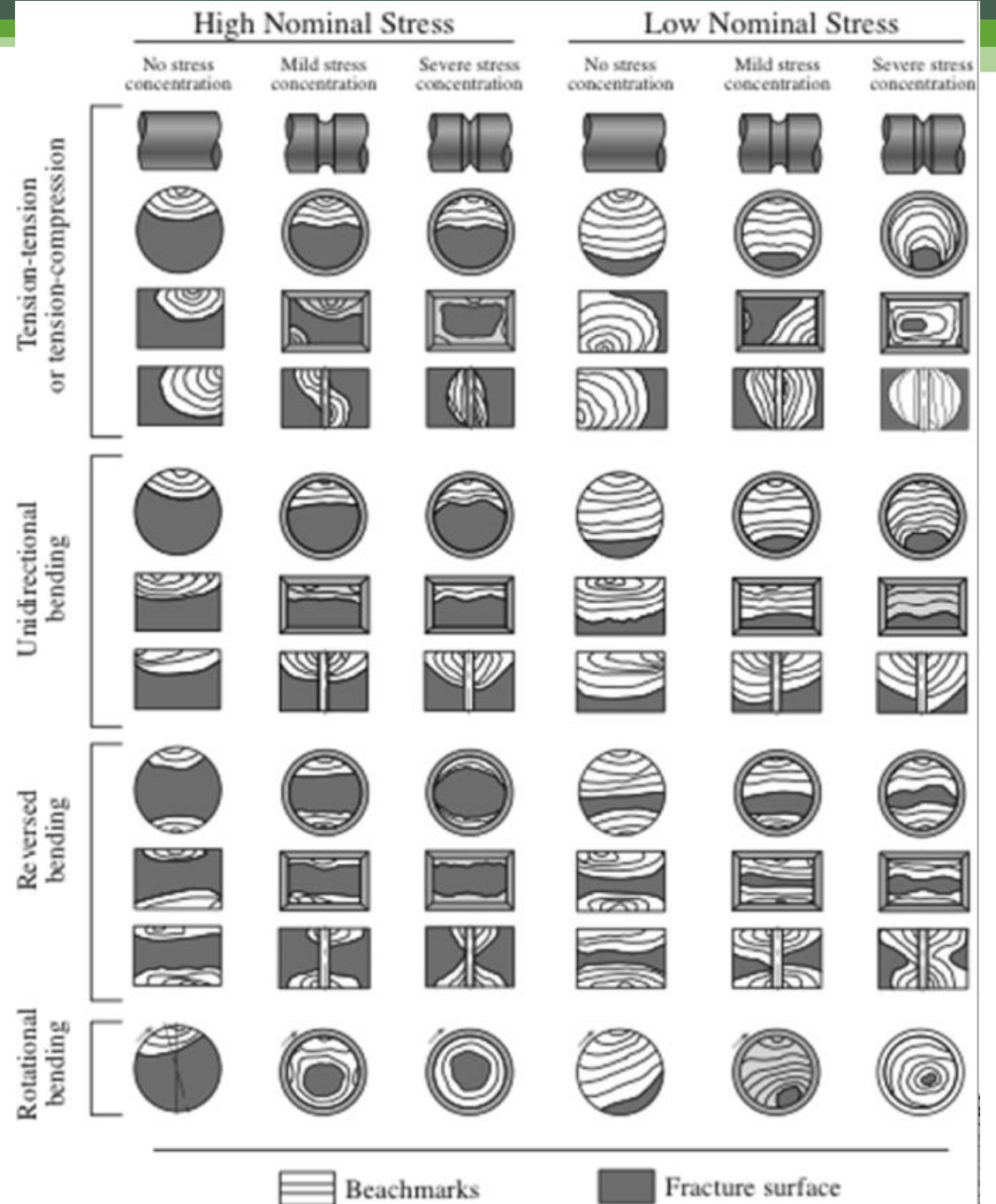
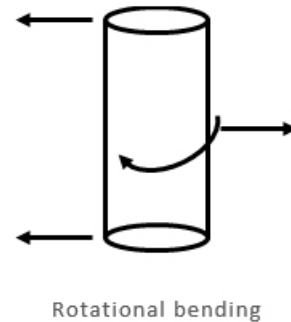
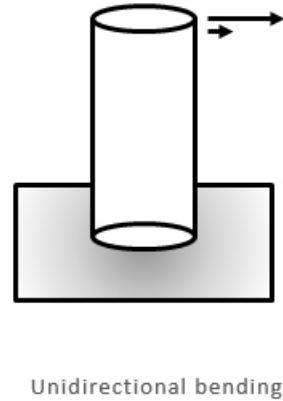
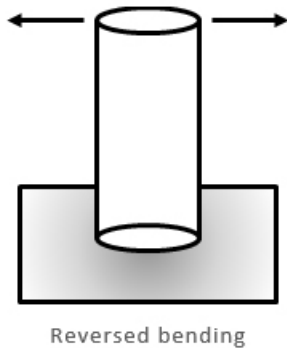
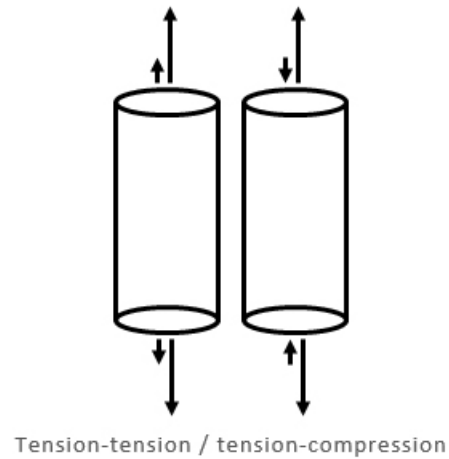
Yüzey kusuru (a.) ile başlayan çatlağın ilerleyerek kırılmaya neden olması. Çalışma sırasında yükleme döngüleri ile oluşan pürüzsüz yüzeydeki (b.) ilerleme çizgileri.

Ani kırılma sonucu oluşan pürüzlü (c.) yüzey.



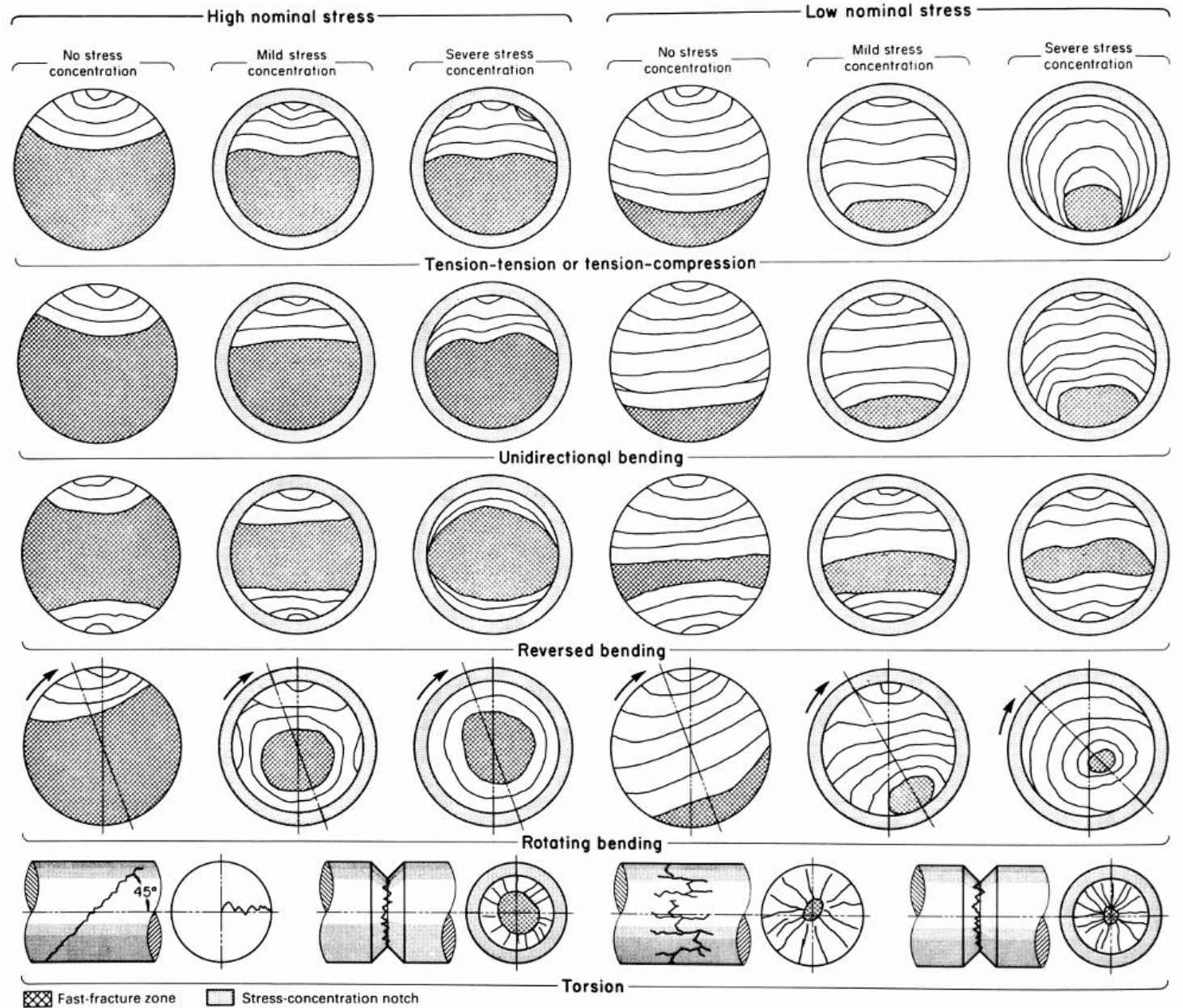
Yorulma Hasar Tablosu

(Fatigue fracture surfaces)



Yorulma Hasar Tablosu

- Yorulma hasar kesitlerinin görsel olarak sınıflandırıldığı tablolardan faydalanılabilir.
- **Örnek:** Makine elemanlarında görülen hasar türleri tablosu, kırılma kesitlerini gösterir

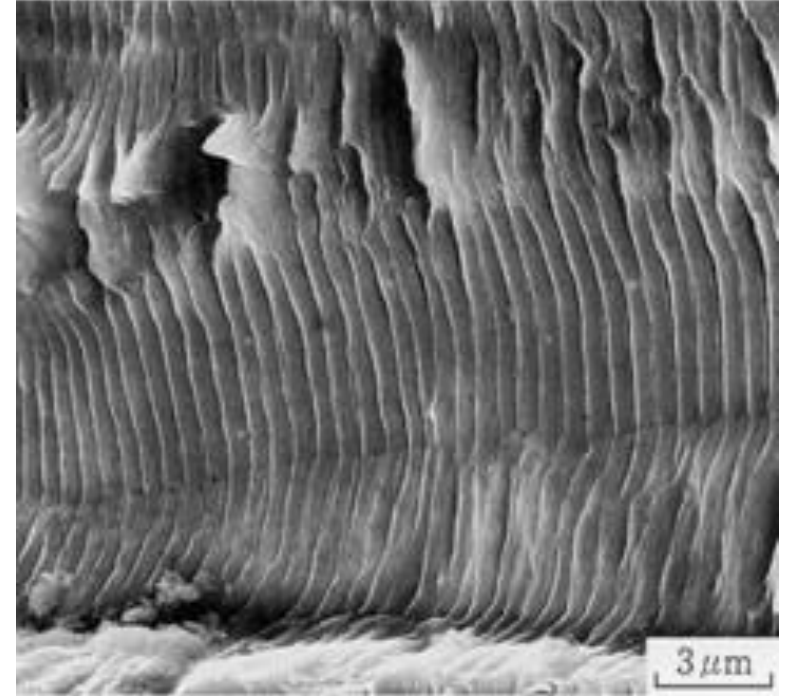


Schematic representation of fatigue fracture surface marks produced on smooth and notched components with circular cross sections under various loading conditions

Striasyon

Striasyon (*striation*) çizgileri, bir yorulma çatlağının artan büyümesini gösteren, kırılma yüzeyinde üretilen işaretlerdir. Bir çizgi, çatlak ucunun meydana geldiği andaki konumunu gösterir. Çizilme terimi genellikle, çöküntüler veya çatlaklar ile ayrılmış kırılma yüzeyindeki yuvarlak bantlar ve yorulma çatlağının eşleşen yüzeylerinin her iki tarafında aynı görünüme sahip olabilen sünek çizgilere atıfta bulunur. Bazı araştırmalar, tek bir çizgi oluşturmak için birçok yükleme döngüsünün gerekli olduğunu öne sürse de, artık genel olarak her çizginin tek bir yükleme döngüsünün sonucu olduğu düşünülmektedir.

Çizgilerin varlığı, bir yorulma çatlağının büyüdüğüünün göstergesi olarak hasar analizinde kullanılır. Çatlak küçükken yorulma nedeniyle büyümesine rağmen genellikle çizgiler görülmez, ancak çatlak büyüdükçe ortaya çıkmaya başlar. Kırılma yüzeyindeki tüm periyodik işaretler çizgi değildir. Belirli bir malzeme için bir çizginin boyutu, tipik olarak, stres yoğunluğu faktör aralığı, ortalama stres ve çevre ile karakterize edilen yüklemenin büyüklüğü ile ilgilidir. Bir çizginin genişliği, genel çatlak büyüme hızının göstergesidir ancak kırılma yüzeyinde lokal olarak daha hızlı veya daha yavaş olabilir.



MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

TEMEL KAVRAMLAR

Elektromanyetik Radyasyon

Ses

Manyetizma

Titreşim

Elektriksel Özellikler

Standartlar

Kompozit Malzemeler

Yorulma

Hasar Hata Tespit

TEMEL KAVRAMLAR

- Tahribatsız muayene uygulamalarında kullanılan yöntemler, çeşitli cihaz ve ölçüm araçları vasıtasıyla, çeşitli **fiziksel etkilerin ve özelliklerin** algılanıp ölçülmesi esasına dayanmaktadır.
- Temel kavramlar kapsamında bu fiziksel etki ve özelliklerin, muayene personeli tarafından bilinmesi ve anlaşılması; **malzeme türü ve özelliklerine uygun muayene metotlarının** belirlenerek uygulanması gerekmektedir.

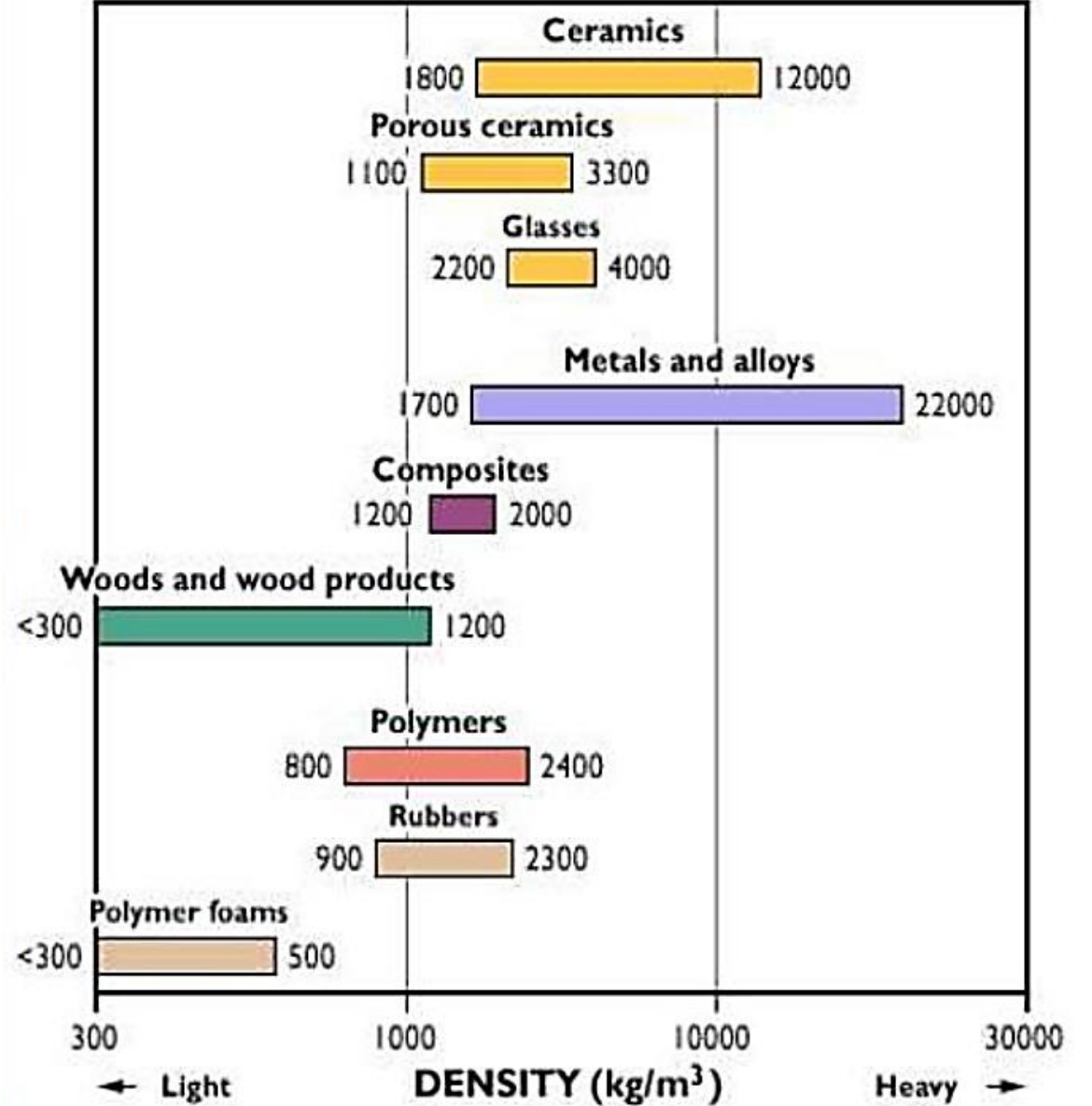
TEMEL KAVRAMLAR: Fiziksel Etkiler ve Özellikler

- ❖ *Elektromanyetik Radyasyon Türleri: X Işını, Gama Işını, Kızılötesi, Lazer*
- ❖ *Manyetizma: Mıknatıslanma*
- ❖ *Elektriksel Özellikler: İletkenlik, Direnç, Girdap Akımları*
- ❖ *Mekanik Dalgalar: Ses, Ultrason (sesötesi), Titreşim*
- ❖ *Kapiler Etki*

Malzemelerin Özellikleri

Malzeme Diyagramları

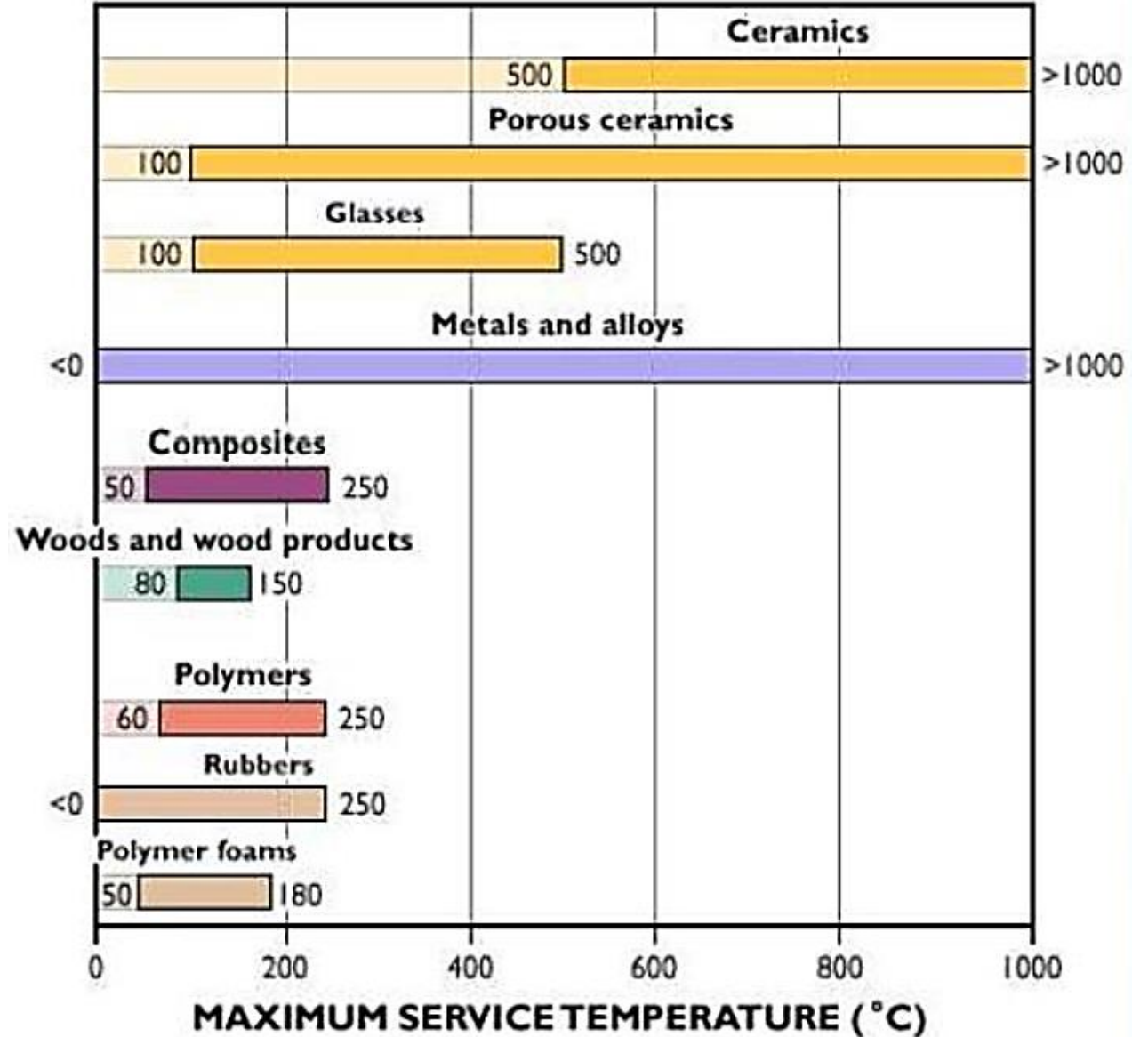
- Yoğunluk karşılaştırması



Malzemelerin Özellikleri

Malzeme Diyagramları

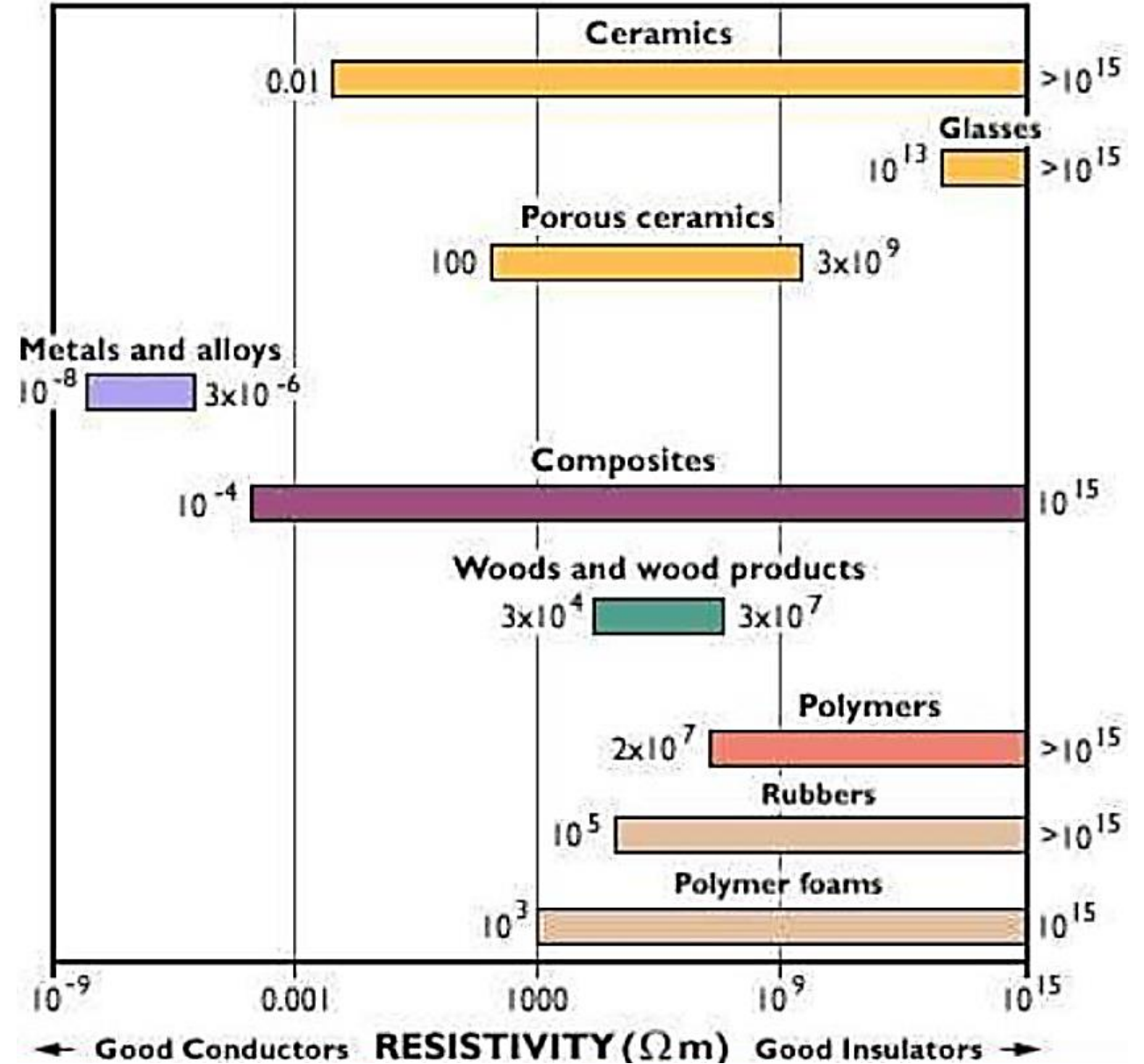
- En büyük işletme sıcaklıklarının karşılaştırması



Malzemelerin Özellikleri

Malzeme Diyagramları

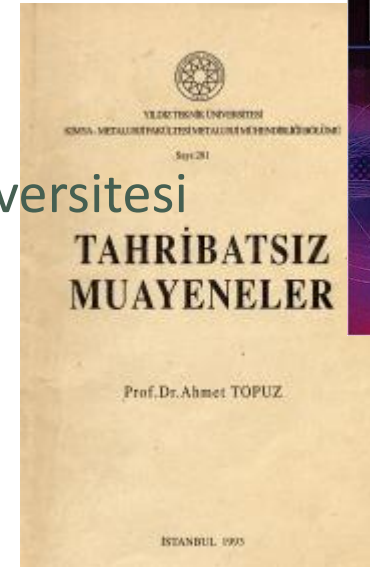
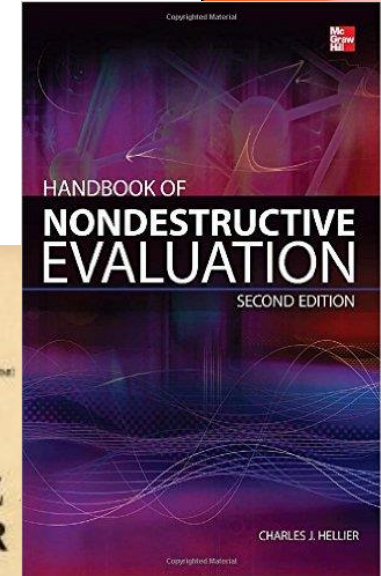
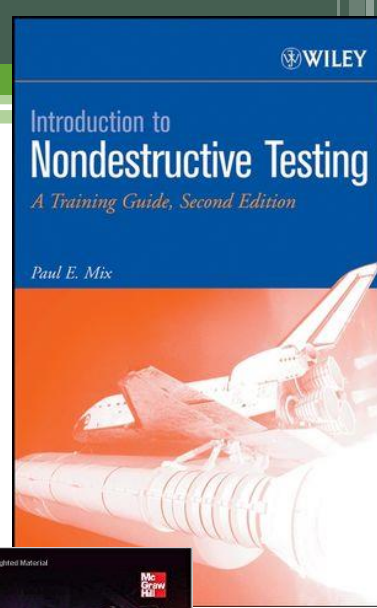
- Elektrik direnç değerlerinin karşılaştırması



Kaynak Kitaplar:

- Introduction to Nondestructive Testing: A Training Guide 2nd Ed.* 2005
 - Yazar: Paul E. Mix / Yayıncı: Wiley-Interscience
- Handbook of Nondestructive Evaluation 2nd Ed.* 2001
 - Yazar: Hellier, Chuck / Yayıncı: McGraw-Hill Professional
- Tahribatsız Muayeneler* İst. 1993
 - Yazar: Prof. Dr. Ahmet Topuz / Yayıncı: Yıldız Teknik Üniversitesi

*(Tavsiye niteliğindedir)



Kaynaklar: (web)

- MCE 476 - Nondestructive Testing Methods / Doç.Dr. Mostafa RANJBAR / AYBÜ
- https://aybu.edu.tr/mranjbar/dosya_listesi-297-531-mce-476---nondestructive-testing-methods.html
- Nondestructive Evaluation Techniques / Iowa State University
- <https://www.nde-ed.org/NDETechniques/index.xhtml>
- NDT Encyclopedia / Open Access Portal of Nondestructive Testing (NDT)
- <https://www.ndt.net/ndtaz/ndtaz.php>

Kaynaklar: (MEGEP)

- **Uçaklarda Tahribatsız Muayene / MEGEP (.pdf)***
 - http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/U%C3%A7aklarda%20Tahribats%C4%B1z%20Muayene.pdf
- **Tahribatsız Muayene / MEGEP (.pdf)***
 - http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Tahribats%C4%B1z%20Muayene.pdf
- **Sinyal Analizi / MEGEP (.pdf)***
 - http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sinyal%20Analizi.pdf
- **Malzeme Muayenesi / MEGEP (.pdf)***
 - http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Malzeme%20Muayenesi.pdf
- **Uçak Malzemeleri / MEGEP (.pdf)***
 - http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/U%C3%A7ak%20Malzemeleri.pdf

*(MEB Yayınları)

Kaynakça:

- Fizik Dersi Konuları - <https://fizikdersi.gen.tr>
- Uçak Bakımında Darbe Hasarının Tahribatsız Kontrolü (Makale) – Dr. Müge Armatlı Kayrak Anadolu Üni. http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/f22939dc8e02a68_ek.pdf?dergi=1265
- Uçak Bakımında Tahribatsız Kontrol Yöntemleri <https://www.eskisehir.edu.tr/akademik/enstituler/ders/129589/ucak-bakiminda-tahribatsiz-kontrol-yontemleri/ders-icerik>
- Makine Mühendisliğinde Malzeme Seçimi – Doç. Dr. Bülent AKTAŞ / Harran Üni. http://eng.harran.edu.tr/baktas/wp-content/uploads/2016/02/MALZEME-SE%C3%87%C4%B0M%C4%B0_SUNU.pdf
- Makine Elemanları Ders Notları – Dr. Vedat Temiz / İTÜ Makina Fak. <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Sunular.htm>
- <https://tr.wikipedia.org/wiki/l%C5%9F%C4%B1k>
- <https://plasticranger.com/plastics-vs-polymers/>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Striation_\(fatigue\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Striation_(fatigue))
- <https://malzemebilimi.net/izotropi-ve-anizotropi-nedir.html>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Fatigue_\(material\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Fatigue_(material))
- <https://www.fastenal.com/en/3289/fastener-fatigue>
- <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ferromanyetizma>
- <https://www.serdarkorkut.com/2017/05/03/kompozit-malzemelerde-delaminasyon/>