[redacted]

MALZEME SEÇİMİ

[redacted]

1. MALZEME SEÇİMİNİN ÖNEMİ

Genel anlamda; İnsanların ihtiyacı olan her şeye MALZEME denir.

Özel anlamda ; üretim yapmak için kullanılan her türlü araç ve gerece MALZEME denir.

Malzemelerin fiziksel, mekanik ve kimyasal vs. özelliklerini MALZEME BİLİMİ inceler.

Her teknik eleman malzemeler hakkında bilgi sahibi olmak zorundadır.

Yoksa kullanma alanına en uygun olan malzemeyi seçemez.



Malzeme seçimi niçin önemli?

1. Farzedelim Türkiye'den Amerika'ya konserve ihraç edelim. Konserveler kutulara doldurulup gemiye yükleniyor. Bir aylık yolculuktan sonra Amerika'ya vardığında kapaklar açılıyor. O da ne? Konserve kapakları küflenmiş. Tabii mallar geri gönderiliyor. Milyarlarca lira zarar.





Küflenmenin sebebi, ”Düşük Karbonlu Çelik kutuların” korozyona dayanması için kaplama yapılmayışıdır.





2. Başka bir örnek ; Helikopter için gerekli bir mil malzemesini “dövme çelikten” yapmak zorundayız. Helikopterde can kaybı olma riski vardır. Oysa temizlik robotunda kullanılan aynı mili, dökme çelikten yapabiliriz.





3. Önceki anlattığımız örneklerden de görüldüğü gibi ;

Malzemelerin kullanılacakları yere ve yükleme şartlarına uygun olacak şekilde seçilmesi gereklidir



Titizlik ve disiplin

2. MALZEME SEÇİMİ-TASARIM İLİŞKİSİ

Endüstride malzeme seçiminin TASARIM'la yakın bir ilişkisi vardır.

2.1 TASARIM NEDİR?

Bir ürün (ev, araba, alet vs.) yapmak istiyorsanız önce onu tasarlamanız gerekir. Örneğin DOĞA , tanrısal bir tasarımın sonucu oluşmuştur.



Hanımların şapkalarından tutun da, yağlı dişli kutuları birer tasarım eseridirler. Bu kadar geniş anlamı olan “tasarım” kavramını [redacted] daha dar alana sokmak zorundayız.



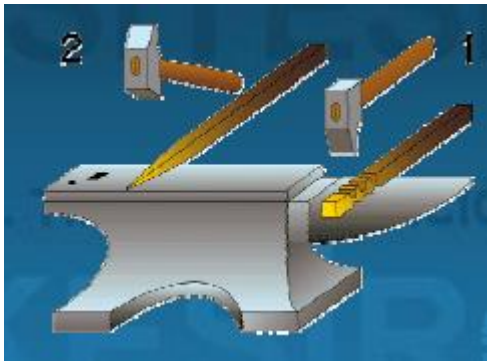


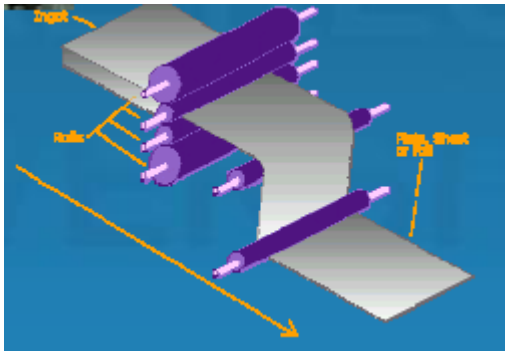
[redacted] tasarımdan anladığımız şey, MEKANİK TASARIM’ dır. Mekanik tasarım, hareketli veya hareketsiz bir SİSTEM olabilir. Bu sistemi oluşturan “parçalar” vardır.(örnek- dişliler, kollar, miller, yataklar, vs. gibi). Bu parçalar “malzeme”lerden oluşurlar (örnek-bu parçaların bazısı çelik, bazısı plastik, bazısı seramik vs. gibi)



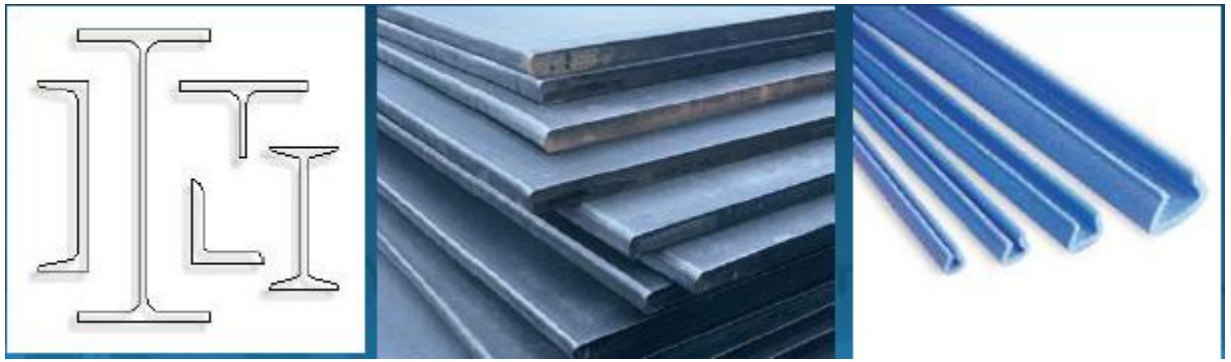
Bu malzemeler değişik “imalat yöntemleri” (döküm sonucu, dövme sonucu, haddeleme sonucu vs. gibi) sonucu ürün haline gelmişlerdir.



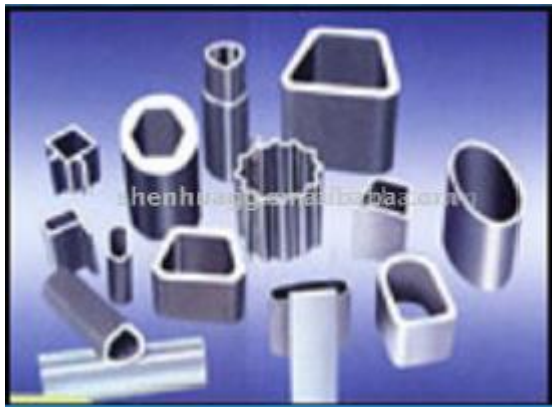




Bu ürünlerin aşağıdakiler gibi çok değişik “şekilleri” vardır.

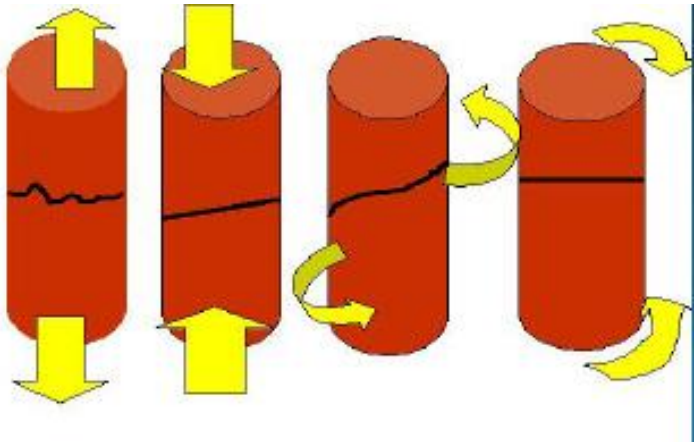


I - Profil
T - Profil
U - Profil
Yuvarlak

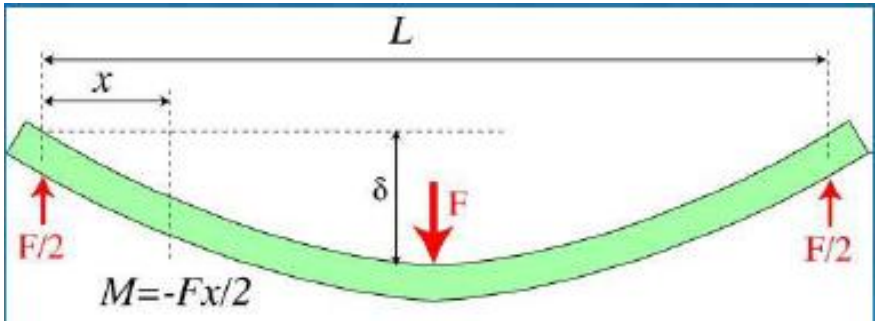


Çokgen kesit
Saç, Plaka, Şerit
Kare profil

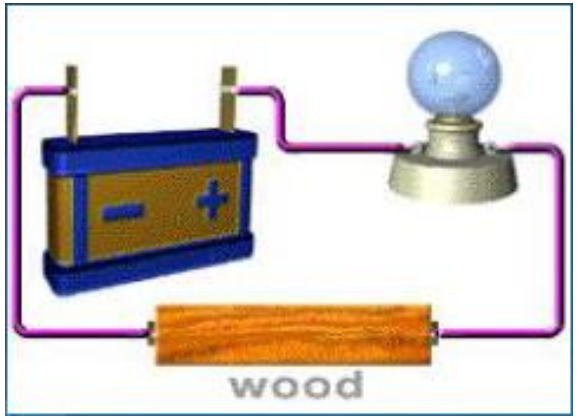
Bu parçalar, bulundukları çalışma yerlerindeki şekilleri ile “yük taşır” lar, zorlamalara maruz kalırlar.



Bu zorlamalar Çekme, basma, Burma, Kesme ve Eğme yüklemeleri şeklindedir.



Bu malzemeler, “ısı iletirler, yorulurlar, genleşirler, aşınırlar, korozyona” uğrarlar.







Bu derste anlatılacak konular;

Bütün bu aktivitelerin birbirleri ile nasıl ilişkide olduğunu bize öğretecektir. Unutmayalım ki hem malzemeler hem de şekil verme yöntemleri eskiye göre hızlı bir şekilde gelişip yenilenmektedir.



Eski



Yeni





2.2 TASARIMDA MALZEMELER

Tasarım, düşünülen bir fikri, bir ürüne dönüştürme işlemidir. Tıpkı bir köprü kuracağım deyip bu rüyayı gerçekleştirme gibi.





- Bu köprü tasarımının her aşamasında, karar alma vardır.
- Bu köprü tasarımı , malzeme seçme'yi zorunlu kılar.
- Bu köprü tasarımında yeni malzemeler çıktıkça eski malzemeler terkedilir. Mühendislerin kullandıkları malzeme sayısı 120 bin'in üzerindedir.



Seçme

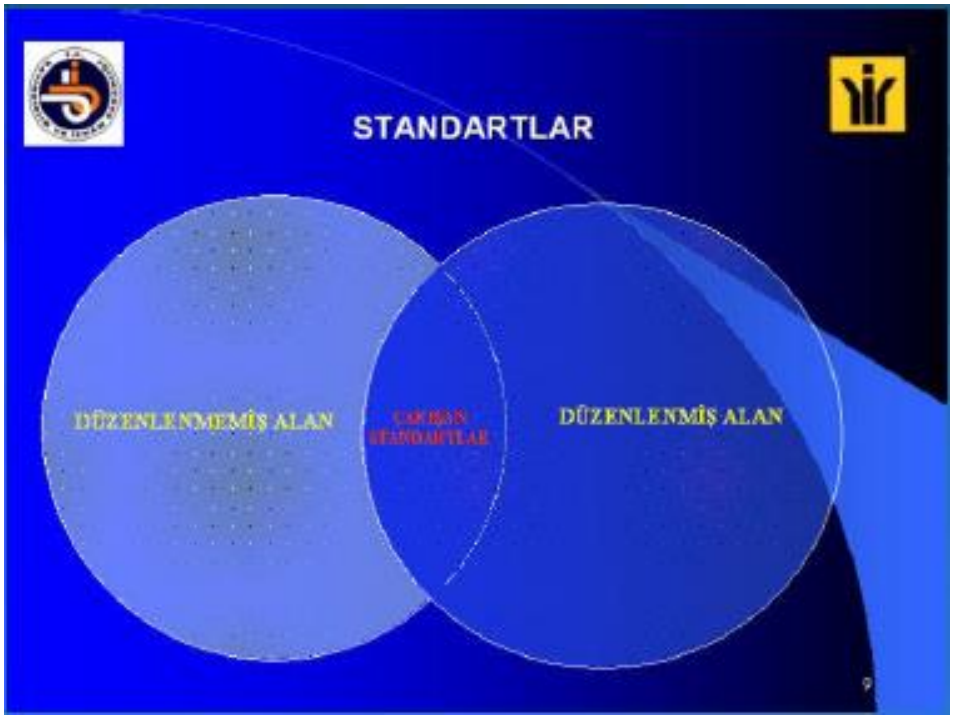


Eski



Yeni

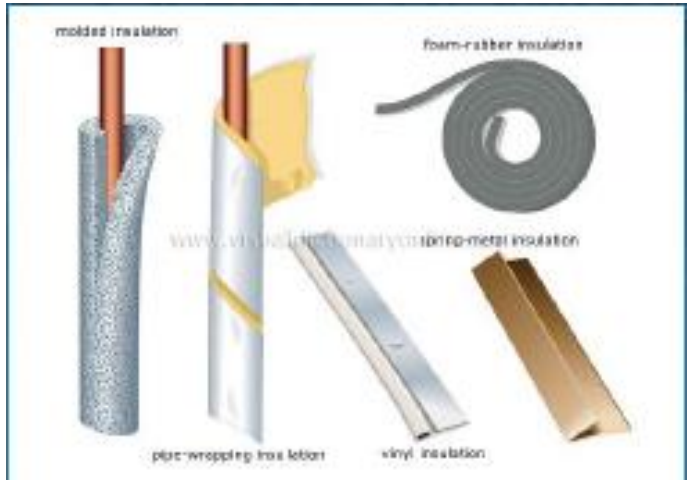
- Standardizasyon çalışmaları sayesinde bu 120 bin sayısı düşürülmeye çalışılmaktadır.



BİR MÜHENDİS BU KADAR GENİŞ BİR MALZEME LİSTESİNDEN AMACA UYGUN, EN İYİ MALZEYİ NASIL SEÇMELİ ?

- Son yıllarda mühendislik tasarımında "malzeme seçimi" ile ilgili çok ilerlemeler oldu.





- Malzeme seçiminde sistematik bir yol izlemeye ihtiyaç vardır. Başlangıçta tasarım AKICI'dır ve fikirler GENİŞTİR.

Tüm malzemeler GÖZÖNÜNE ALINIR.



plastikler



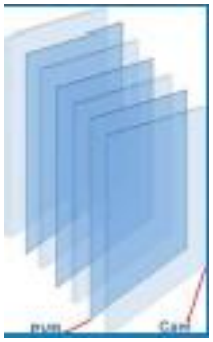
metaller



seramikler



kompozitler



camlar



hibridler

- Sonra tasarım bir ODAK NOKTA'ya doğru gelir. Malzeme seçme kriteri KESKİNLEŞİR. Malzeme listesi DAHA DAR ve KISA olur.

  Örneğin Seçilecek Malzeme iki gruba düşer.



metaller



seramikler

- Tasarımın ileri aşamalarında çok daha doğru veriler geldikçe seçilecek malzeme sayısı da düşer.
- En sonunda hassas verilere varıldıkça, seçilecek malzeme tek sayıya bile iner. Aşağıda görüldüğü gibi sadece metallerden pirinç ve bronz gibi



metaller



pirinçler

Malzeme seçimi, onu üretmek ve şekillendirmek için yapılan ;

deformasyon,

birleştirme,

yüzey işlemlerinden bağımsız yapılamaz.

Onların da göz önüne alınması gerekir.



Malzeme seçiminde ;

malzemenin fiyatı,

malzemenin çevreye olan etkisi

de gözönüne alınır.





- İyi bir mühendislik tasarımı, tek başına ürünü satmaya yetmez . Şu cümleler çok önemlidir.
- İyi bir tasarım çalışır, Ama
- Mükemmel bir tasarım zevk verir.





Bir tasarımcının en çok ihtiyaç duyduğu şey, AÇIK DİMAĞ'lı olmasıdır. Tüm ihtimalleri göz önüne almalıdır. Bu şuna benzer ;

"GENİŞ BALIK AĞI KURAR SAN ÇOK BALIK ÇEKERSİN"



Unutma !

Bu ders notları sana karışık bir ormanda rehberlik yapacaktır. Malzemenin bazen en iyisini seçeceksin, bazen de en yakın olanını, çünkü etkili olan parametreler bir hayli fazla olacak.



3) MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Genel olarak malzemeleri elektrik iletkenliği ve kaynak edilebilirlik özellikleri baz alındığında iki gruba ayırabiliriz.

1. Metaller



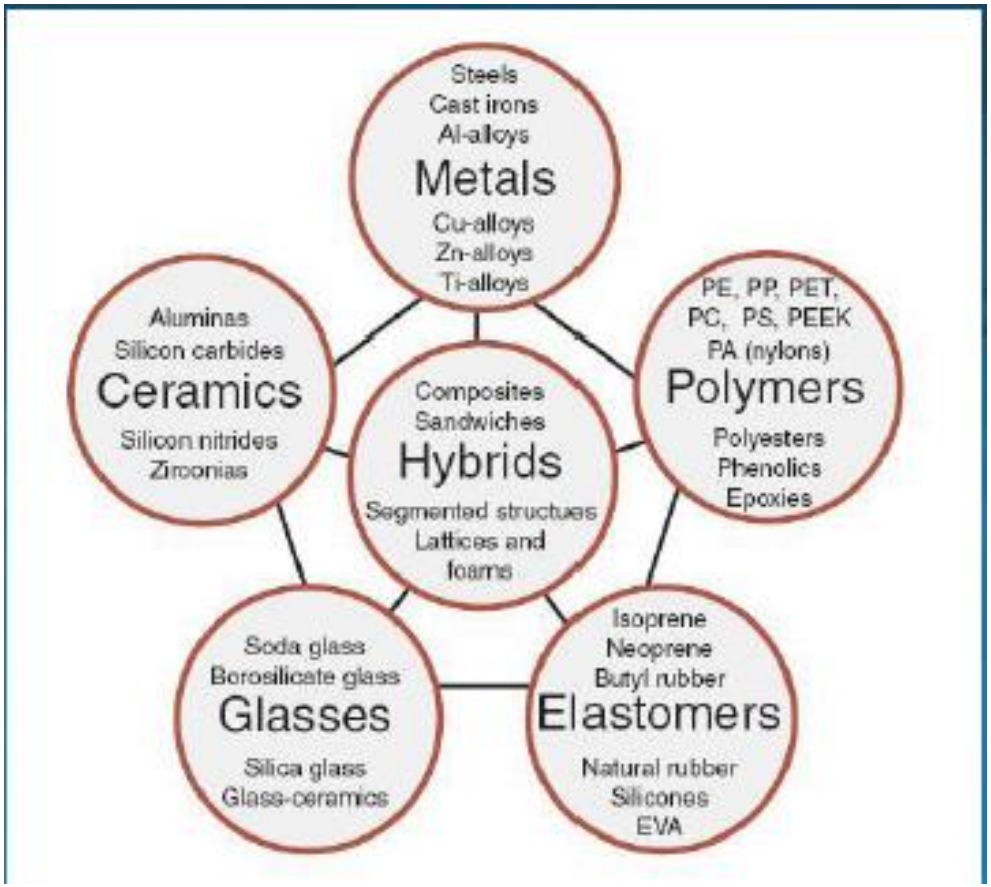
Fe ve Çelik

2. Demir dışı metal malzemeler



Al Cu Ti Sn

Şayet, atomlararası bağ kuvvetleri ve diğer özellikleri dikkate alırsanız o zaman da aşağıdaki gibi 6 ayrı sınıfa ayırabiliriz.



Malzemelerin sınıflandırılmaları ve özellikleri

Metaller (Fe,çelik,Zn, Cu,Ni vb)	**Plastikler** (lastik,PVC, Bakalit, yapıştırıcı)	**Seramikler** (Briket,cam, porselen vb)	**Kompozitler** (Beton,kerpiç, kontraplak,kemik vb)
Metalik bağ	**Kovalent bağ**	**İyonik bağ**	**Makro düzeyde birleşme**
Mukavemet yüksek-(Pb hariç)	**Mukavemet düşük**	**Basma mukavemeti yüksek**	**Muk.iyi (MMK) Muk.dşk(PMK)**
Isıl iltk. yüksek	**Isıl iltk. düşük**	**Isıl iltk. düşük**	**Değişken**
Elktrik iltk. yüksek	**Elktrik iltk. düşük**	**Elktrik iltk. düşük**	**Değişken**

Korelasyon sayısı KS≥8	KS≤8	KS≤6	-----
Özg.ağırlık yüksek (ağır)	Özg.ağırlık düşük (hafif)	ρplas.< ρserm. < ρmetal.	Düşük (PMK) Yüksk (MMK)
Pşv Yeteneği iyi	Pşv var (thermplst) Pşv yok (thermoset)	Pşv yeteneği yok	Pşv yeteneği zayıf
Sünek(Al) Gevrek(W)	Sünek(ther moplast) gevrek (thermoset)	Sert, Gevrek	Sünek(PMK) – Gevrek(SMK)

D.direnci yüksek(çelik) – Düşük(Pb)	D.direnci yüksek	D.direnci düşük	D.direnci yüksek (PMK) düşük (SMK)
K.Direnci iyi (paslanmaz ç) kötü (Fe)	K.Direnci iyi	K.Direnci iyi	K.Direnci iyi (PMK) Kötü (MMK)

MMK : Metal matrixli kompozit, **PMK :** Polimer matrixli kompozit **KS :** Koordinasyon sayısı, **r :**Özgül ağırlık, **PŞV:** Plastik şekil verme, **SMK :** Seramik matrisli kompozit, D.direnci : Darbe direnci , K.Direnci : Korozyon direnci

4) MALZEME SEÇİMİNDE GENEL OLARAK DİKKATE ALINACAK FAKTÖRLER

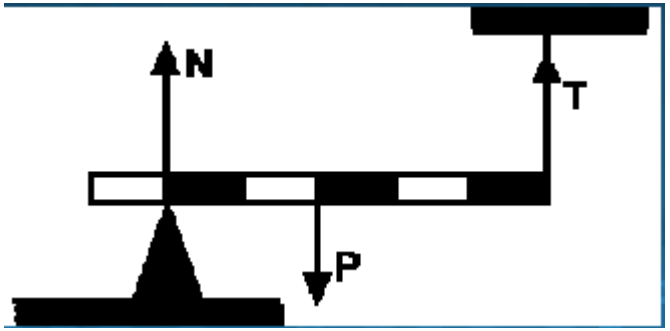
1. Mukavemet
2. Süneklik
3. Kararlılık
4. İmal edilebilirlik
5. Elde edilebilirlik
6. Korozyon direnci
7. Isı transfer özelliği
8. Maliyet

Birçok uygulama, bütün bu faktörlerin olmasını gerekli kılmaz.

Ama bazı uygulamalarda da ek faktörlerin devreye girmesi bile gerekebilir.

Sıcaklık, çevre koşulları, uygulanan gerilmenin derecesi, ve diğer faktörleri içeren imalat ve çalışma koşulları bilinmeden “uygun malzemeyi seçmek” zordur.





$$\sigma = \frac{F}{A}$$



1. Mukavemet

Bu kriter şu sorunun karşılığı olarak önemlidir. Bu malzeme çalışma esnasında uygulanan yüke ve doğacak gerilmeye dayanır mı? dayanmaz mı?

Yüzde yüz mukavemet gerekince bu parametre birinci sırada olmasına karşılık bazen birinci sıraya bir anda sertlik, korozyon, iletkenlik, manyetiklik, özgül ağırlık, mukavemet / özg.ağırlık gelebilir.



Evdeki su tesisatı bakır borudan da döşenir, çelik borudan da döşenir.



	Bakır boru	Çelik boru
Su basıncı	Düşük	Düşük
Mukavemet	Dayanıksız	Dayanıklı
Tesisat masrafı	Düşük	Yüksek
Malzeme fiyatı	Yüksek	Düşük
Kışın donda	Esner	Çatlar

Yorum :

Bu olayda düşük su basıncı olduğu sürece, çelik boru yerine bakır boru kullanımı, bakırın yüksek fiyatını, tesisat masrafının düşük oluşu ile telafi ettiğinden ve eğer soğuk bir ortamda isek çatlama yapmayacağı için çeliğin yüksek olan mukavemetine tercih edebiliriz.

DEMEK Kİ MALZEME SEÇİMİNDE KULLANILAN KRİTER HER ZAMAN “TEK BİR ÖZELLİK” DEĞİLDİR.

2. Süneklik :

Bu kriter şu sorunun karşılığı olarak önemlidir. Bu malzeme çalışma esnasında ne kadar sünek olması gerekir?

Yeterli süneklilik genelde mukavemetten fedakarlıkla elde edilir.



Bu parçalar soğuk işlemle şekillendirilmiş, mukavemetleri yüksek ama süneklilikleri düşüktür.

Maksat, büyük mukavemet kaybı olmadan ne kadar süneklilik olabilir?

Tren ray'ında süneklilik az istenir., zira çalışma koşulları serttir. Yani buradaki süneklilik ne olmalı?





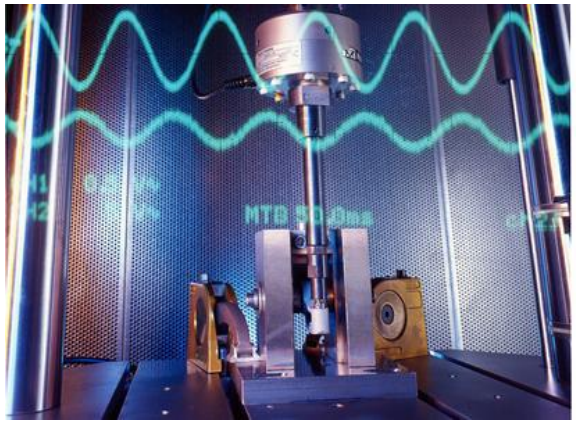
Buhar türbin kanadında %1,5 luk süneklilik kanadın aerodinamiğini yok etmeye yeter. Böyle bir uygulamada gevreklik avantaj olabilir.

Ama buna rağmen haddelemede, extrüzyonda tel çekmede ve diğer bazı işleme proseslerinde aranan özelliktir.

3. Tasarım-Yorulma

Bu kriter şu sorunun karşılığı olarak önemlidir. Bu malzeme çalışma esnasında neden bu kadar çabuk yoruldu? Tasarımda bir yanlışlık mı var?

Çalışan malzemelerin bozulmalarının büyük ekseriyeti yorulma yüzünden, yorulmanın da % 90 tasarım ve üretim hatası'ndan meydana geldiği kanıtlanmıştır



4. Kararlılık

Bu kriter şu sorunun karşılığı olarak önemlidir. Bu malzeme çalışma esnasında ne kadar süre devamlı çalışması gerekecek?

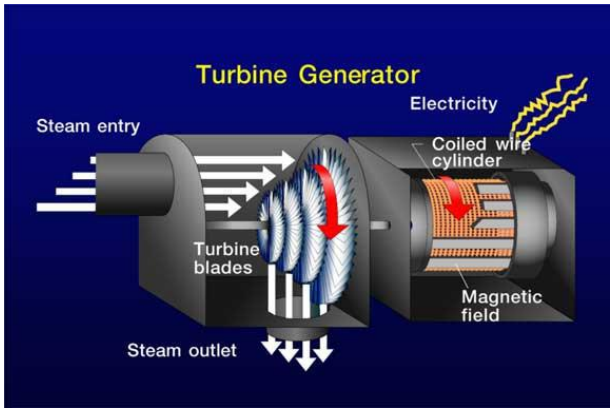
Çalışma halindeki bir malzemenin kararlılığı, doğrudan sıcaklığa, sıcaklık dalgalanmasına ve bu sıcaklıkta uzun süre kalıp kalmamasına bağlıdır.





Malzemenin kararlı çalışmasını en çabuk sıcaklık ve dalgalanmaları bozabilir. Mukavemeti etkiler, sürünmeye ve iç yapı değişikliklerine sebep olur





Bir roket motoru kısa süreli çalışması istenirken, bir buhar türbini yıllarca çalışsın istenir.

Kararlılığın diğer bir yönü de “hatanın ciddiyeti” sorunudur.

Örnek olarak görmüş olduğunuz gibi çaydanlıktaki bir çatlak ile yanıcı ve radyoaktif madde ile dolu kaptaki bir çatlak aynı değildir.





5. Elde edilebilirlik

Bu kriter şu sorunun karşılığı olarak önemlidir. Bu malzeme kolay mı yoksa zor mu bulunur? Sadece tek bir yöntemle mi imalatı söz konusudur? Fiyatı ulaşılamayacak kadar yüksek midir?

Malzemeyi kolay bulamayacaksak tasarımını yapmak mantıksızlıktır.



Burada sözü edilen “elde edilebilirlik” teriminden malzemenin fiyatı ve istenilen şekli alabilmesi anlaşılmalıdır. Örnek , sadece dökümle üretilebilen bir malzeme haddeleme, tel çekme, extrüzyonla yapılamıyorsa, işimiz zor demektir.







Seçilen malzeme yalnızca yurt dışından gelecek ise bu her zaman risklidir. Özellikle savaş zamanlarında







6. Üretilebilirlik

Bu kriter şu sorunun karşılığı olarak önemlidir. Bu malzeme kolay mı yoksa zormu üretiliyor? İstenilen parça sayısı az mı çok mu?

Bu parametre bir önceki "elde edilebilirlik" ile sıkı sıkıya bağlıdır. Sadece fark, parça sayısı fazla olunca metal kalıp gerekecek fakat masraf fazla olacak, ancak kritik sayı aşılınca karlı olunacaktır.

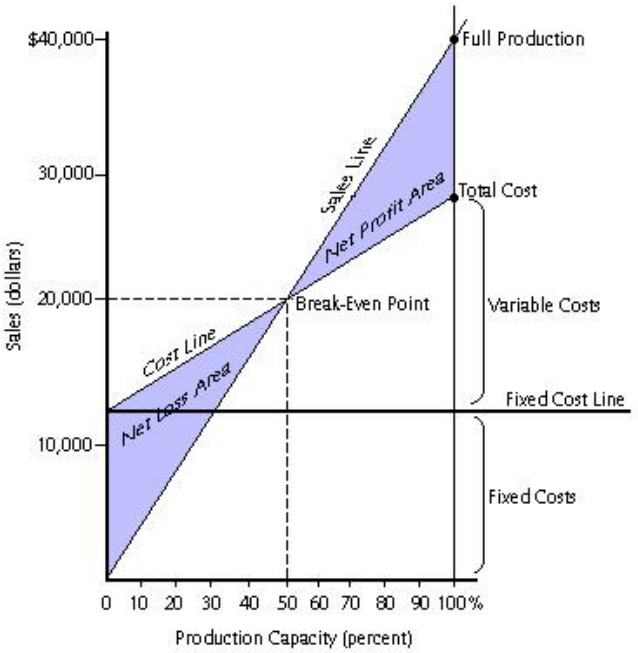
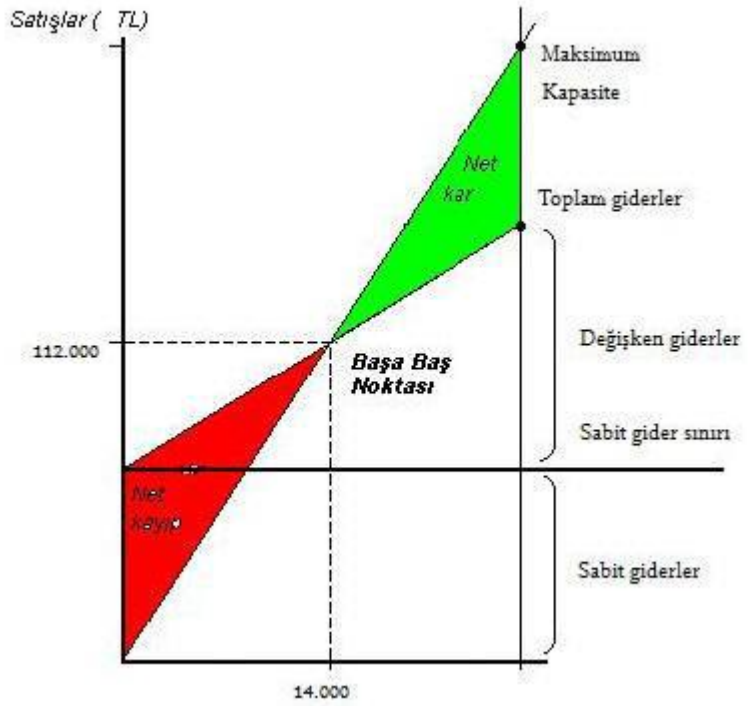


Figure 1
A Break-Even Graph

Parça sayısı az ise imalat el ile yapılır ama ucuz malzeme kullanılır, o zaman da toplam maliyet ucuza getirilir.



7. Korozyon Direnci

Bu kriter şu sorunun karşılığı olarak önemlidir. Bu seçilecek malzeme çalışma koşullarında korozyona karşı dirençli mi? yoksa dirençsiz mi?

Her tasarımda korozyon ihtimali mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.



8. Maliyet

Bu kriter şu sorunun karşılığı olarak önemlidir. Bu seçilecek malzemenin fiyatı nedir?

Malzeme seçiminde bu kriter, son karar olarak ödün vermeyi gerektirebilir. Bu malzemeden vazgeçilebilinir.



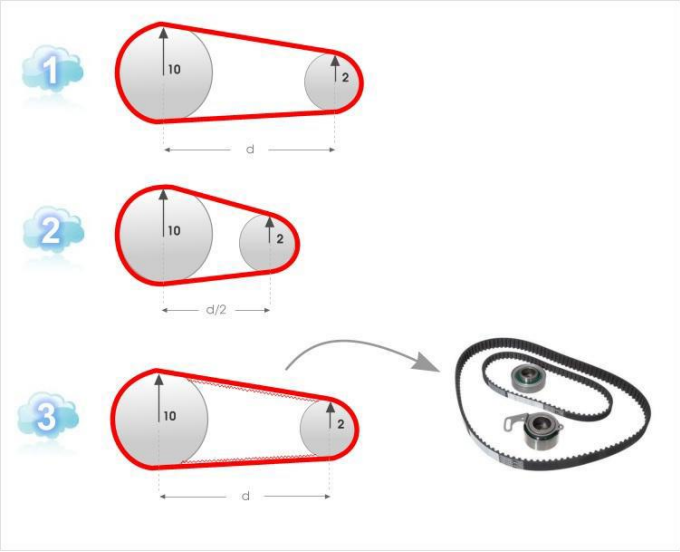
İlişikteki tablo'yu inceleyiniz? Şayet bu tablo'daki sorulardan herhangibirinin cevabı "EVET" olursa "MALZEME SEÇME" işi bitmemiş demektir.

Değer biçme testi

Her malzeme,her parça, her işlem bu test'ten geçirilmelidir.

1. Bu malzeme olmadan yapabilirmiyiz ?
2. İstenilenden daha fazla özelliği var mı?
3. Değerinden daha pahalı mı?
4. İşiyapmak için daha iyi olasılık var mı?
5. Daha ucuz bir metotla yapılır mı?
6. Standart bir malzeme mi?
7. Miktarı da düşünürsen daha ucuza işlenerek kullanılır mı?
8. Maliyet =İşçilik+sabit masraf+malzeme+kar'dan daha fazla mı?
9. Bir başkası aynı malzemeyi daha ucuza temin edermi?
10. Paranız olsaydı çok pahalı olan bu malzemeyi almayı reddedermiydiniz?

- Fiyat çok önemli olduğundan ;
- Tasarımcılar bilgi eksikliği yüzünden, gergili bölgeleri “gereğinden fazla ” yaparak fiyatı artırmış olabilirler.



Örneğin , Krank mili imalatı son yıllara dek hep dövme çelikten yapılırdı. Çünkü “darbeye karşı çok sert oluyor, mutlak dövme ıslah çeliği”nden yapılmalıdır, fikri bu günlerde “darbe çok sert olmamakta, çok yüksek sertliğe gerek olmadığı, sadece yeterli sünekliliğe sahip olması yeterli” şeklinde düşünülerek “grafitli dökme demirden-sfero” de yapılmaya başlanmıştır. Dövme, sferoya göre çok pahalıdır.



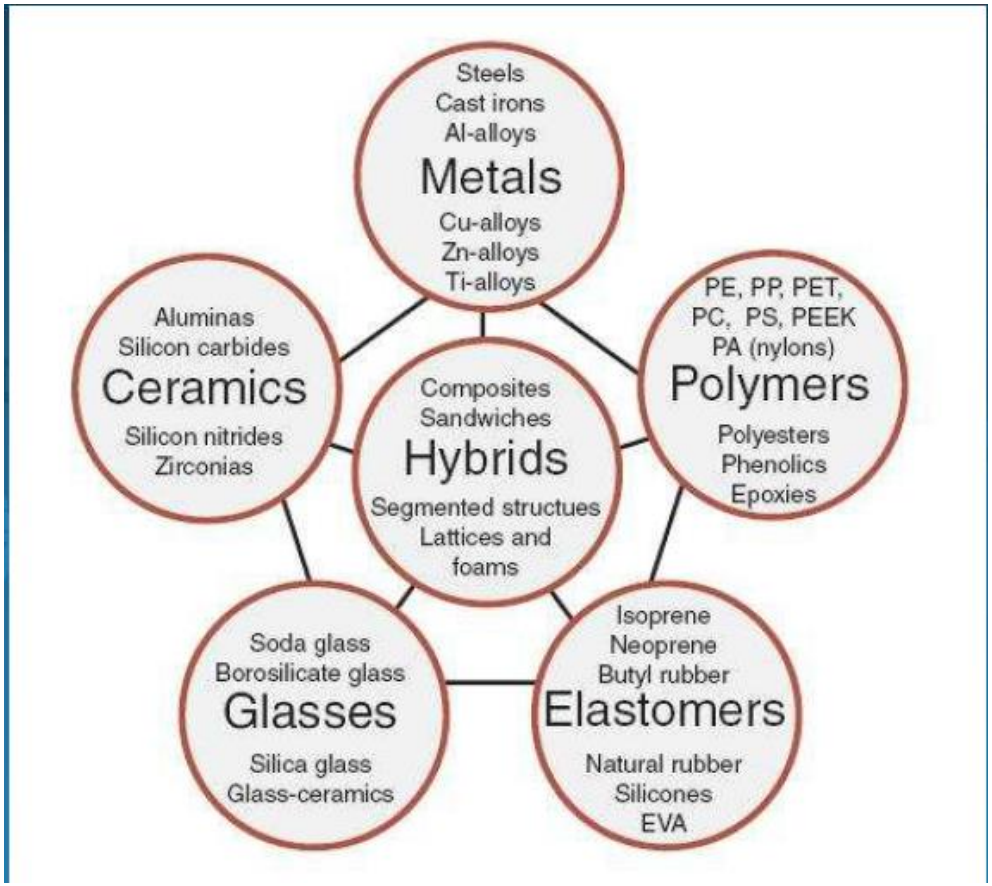
Dövme islah çeliği



Sfero dökme demir

1. MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİNİN MALZEME SEÇİMİNDEKİ ÖNEMİ

"Mühendislik Malzeme Aile"sini aşağıdaki gibi bir arada toplayabiliriz.



1.1 METALLER

Genel olarak metaller deyince kullanım yerlerine göre aşağıdaki malzemeler akla gelir.



Çelikler



Dökme demirler



Al ve alaşımları



Cu ve alaşımları



Zn ve alaşımları

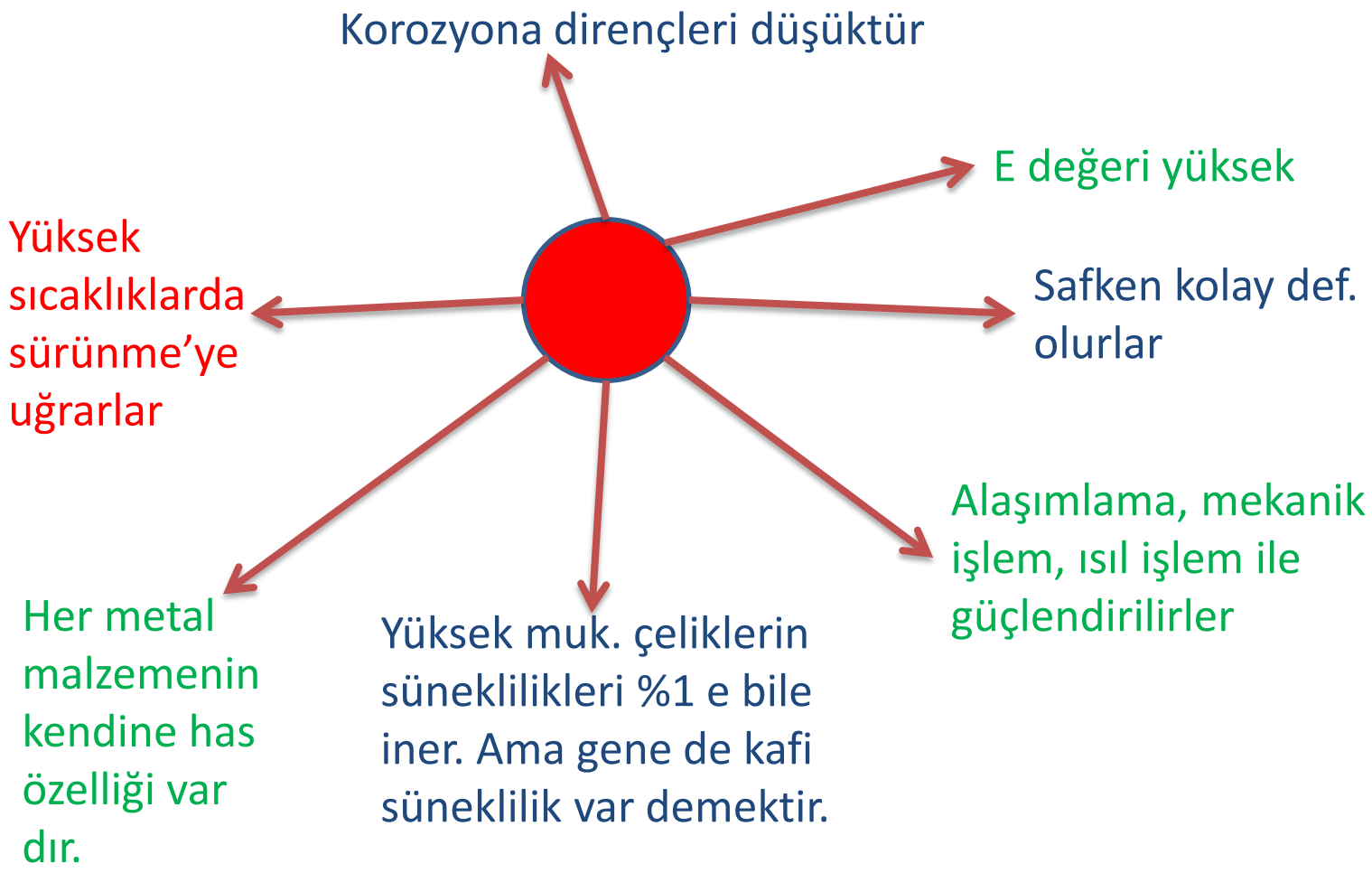


Ti ve alaşımları



Mg ve alaşımları

Metallerin genel özellikleri aşağıdaki gibidir.



1.2 SERAMİKLER

Genel olarak seramik deyince kullanım yerlerine göre aşağıdaki malzemeler akla gelir.



Alumina



Silicon carbides



Silicon Nitrides

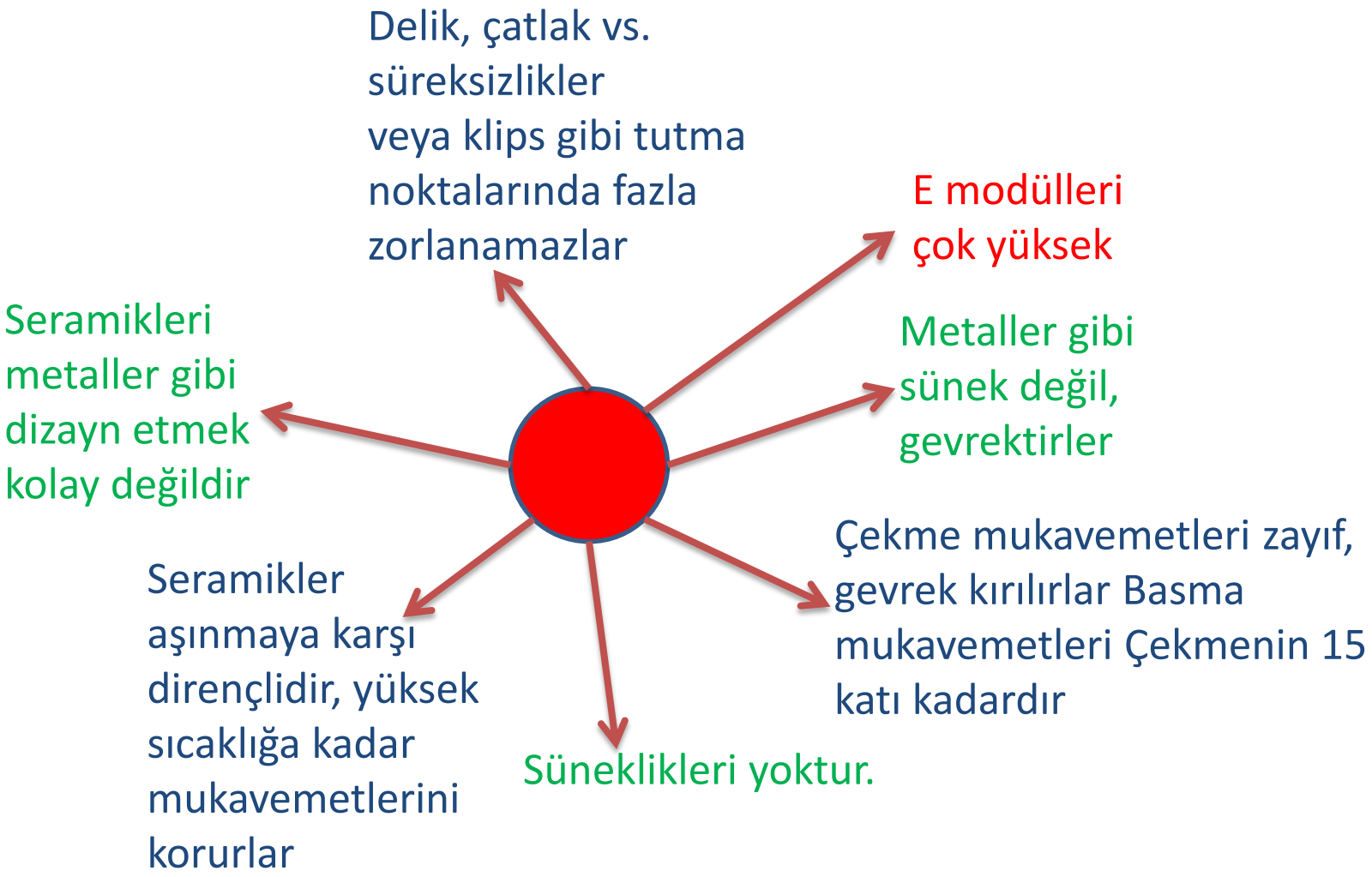


Zirkonya



Silisyum karbür

Seramiklerin genel özellikleri aşağıdaki gibidir.



1.3 CAMLAR

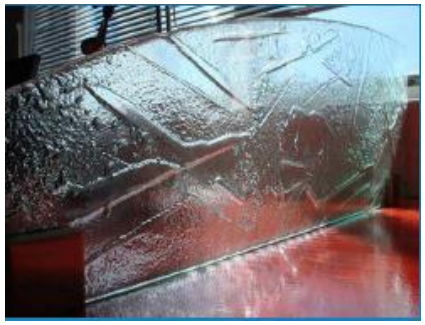
Genel olarak cam deyince kullanım yerlerine göre aşağıdaki malzemeler akla gelir. Cam'lar, kristalin olmayan, amorf yapıdaki katı' seramiklerdir.



Soda glass



Borosilicate glass



Silica glass

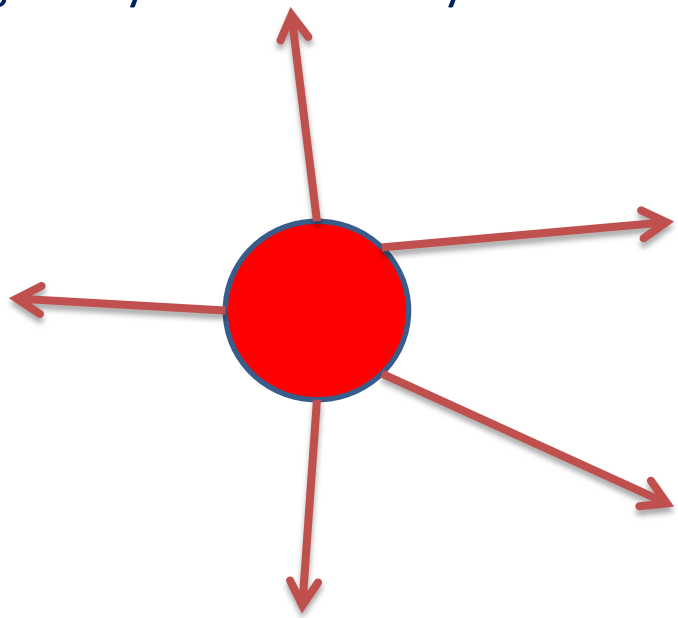


Glass Ceramics

Camların genel özellikleri aşağıdaki gibidir.

Cam akışkan bir malzemedir, ancak, akış süresi uzun olup görmeye insan ömrü yetmez

Adi camın ana maddesi silis yumdur. Bu bileşime (kum-soda-kireç) katılır



Temperleme yapı lan cam,kırılma ve ısıya karşı 4-5 kat dayanıklı olur

Cam, elmasla, CNC ile, pürmüz ısıl kesimle kesilir

Camlar, katılar kadar belirgin ergime sıcaklığı olmayan, sıvı davranış sergileyen katı fazdır

1.4 POLİMERLER

Genel olarak polimer deyince kullanım yerlerine göre aşağıdaki malzemeler akla gelir.



PE



PP



PET



Polyster



Phenolics



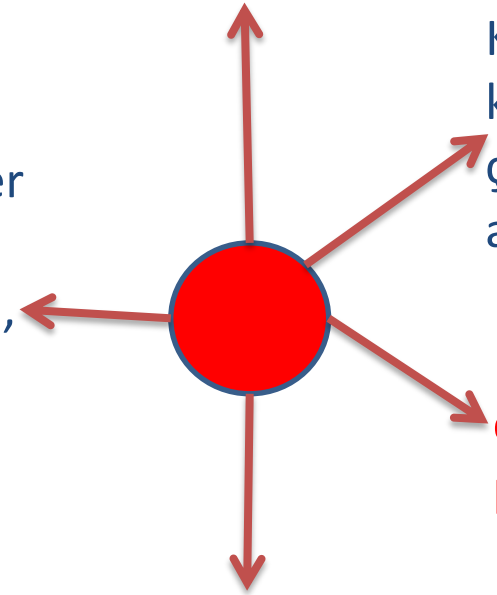
Epoxy

Polimerlerin genel özellikleri aşağıdaki gibidir.

Küçük moleküllü maddeler sıvı ve gaz iken polimerler katıdırlar

Küçük moleküllüler çözücülerde kolay çözünür ,polimerler zor çözünür ,şişer , hacmi 1000 kat artar

Doğal kauçuk, pamuk, ipek, yün, amyant birer doğal polimerdir. Polietilen, polipropilen, polyesterler, poliamidler,sentetik polimer'lerdir.



Küçük moleküllerin çözeltileri şeffaf, polimerlerde ise ışık dağılır

Küçük moleküllerin kristalleşmesi kolay, polimerlerin ki çok zor

1.5 ELASTOMERLER

Genel olarak elastomer deyince kullanım yerlerine göre aşağıdaki malzemeler akla gelir. Elastomer, elastiklik özelliğine sahip bir polimerdir



Isoprene



Neoprene



Butly rubber



Natural rubber



Silikon



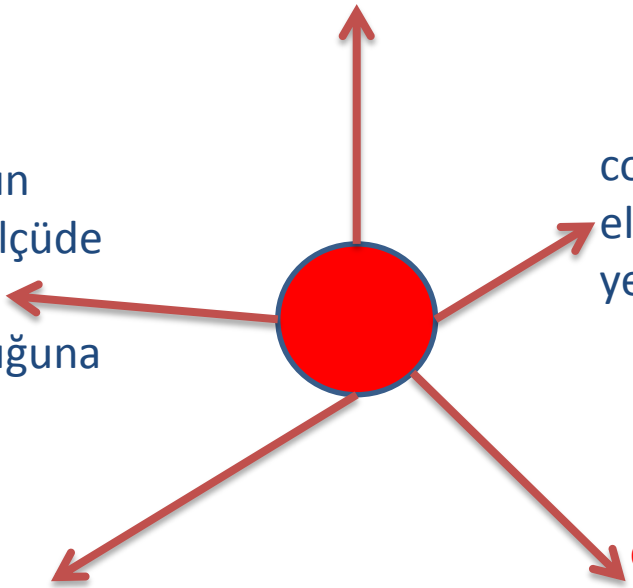
E.V.A.

Elastomerlerin genel özellikleri aşağıdaki gibidir.

camsı bölge sıcaklıklarında ve üzerinde dahi çalışabilen amorf yapıdaki polimerlerdir

Vulkanize kauçuğun özellikleri büyük ölçüde çapraz bağlanma şekline ve yoğunluğuna bağlıdır.(S ile)

contalar, yapıştırıcılar, lastikler elastomerlerin kullanım yerleridir



Kauçuk, çapraz bağlanmamış ama,bağlanabilme özelliğine sahip (vulkanize ile) polimerdir

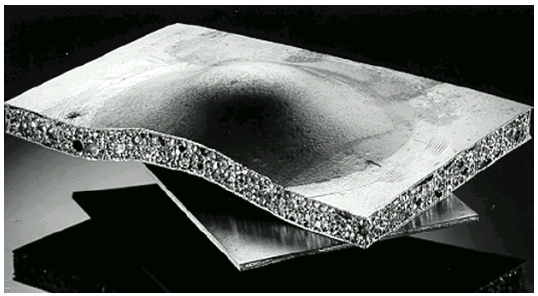
Polimerlerin seyrek ve çapraz bağlanması ile oluşan ağ yapılarıdır.E modülü metallerden 105 daha azdır.

1.6 HİBRİDLER

Genel olarak hibrid malzeme deyince kullanım yerlerine göre aşağıdaki malzemeler akla gelir



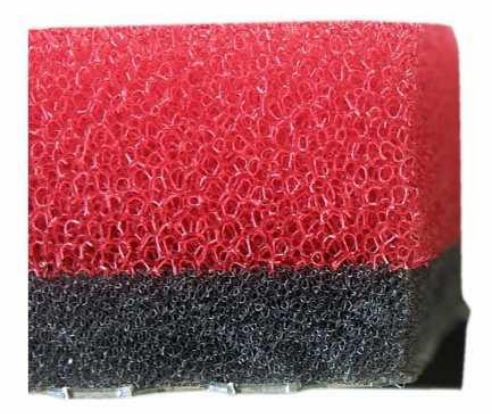
Kompozitler



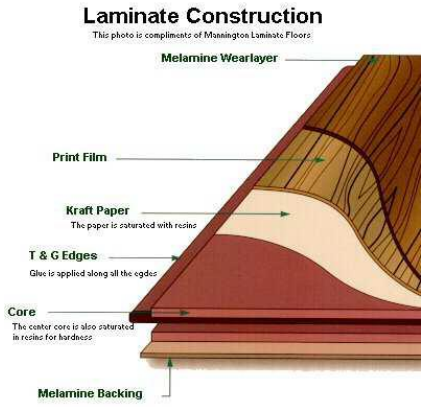
Sandwich yapı



Lattice yapı



köpük

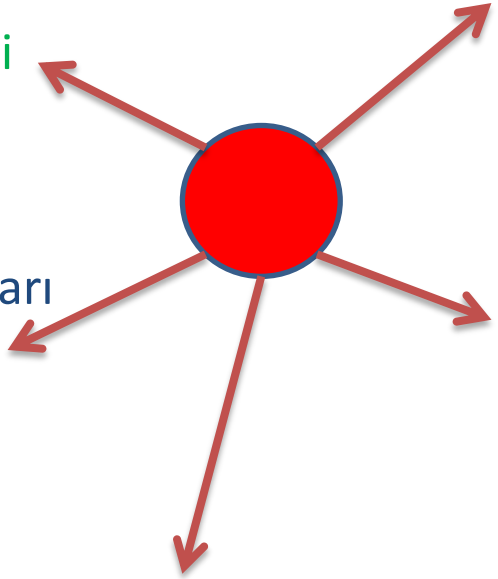


Laminate

Hibridlerin genel özellikleri aşağıdaki gibidir.

Hibridler pahalıdırlar, şekil verilmeleri zordur, birleştirmeleri zordur.

Ağaç, kemik, deri, yaprak gibi malzemeler tabii "hibrid' malzemelerdir.



Yüksek performansları nedeniyle önemleri her geçen gün artmaktadır

Polimer matrix 'e cam elyaf, karbon elyaf ve kevlar (aramid) takviyeli malzemelerdir.

Kompozitler, hafif, katı ve güçlü aynı zamanda tok malzemelerdir. Hibrid malzemelerden birisi polimer olduğunda 2500 C sıcaklıktan daha yüksekte çalışması zor, ancak oda sıcaklığında süper özellikleri vardır.

2. TÜM MALZEMELERDE GÖRÜLEN ÖZELLİKLER

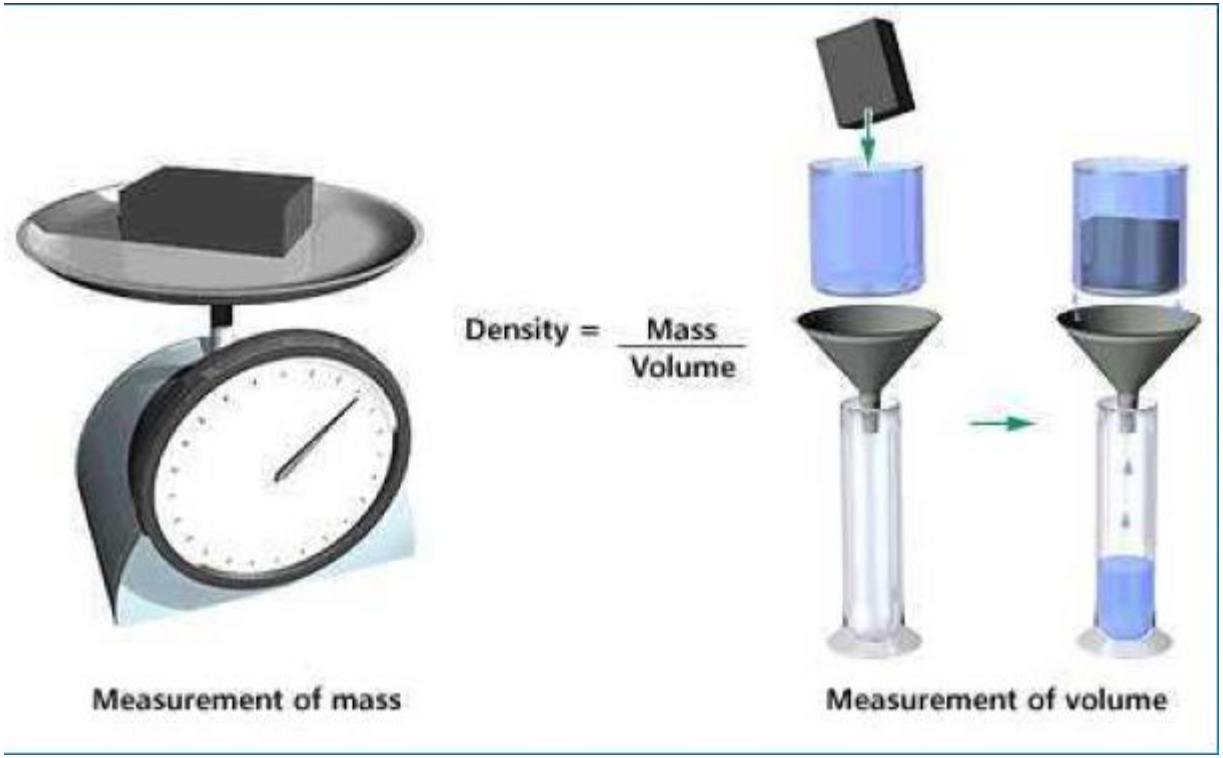
Aşağıdaki tablo'da kullanılan malzemelerin genel, mekanik, termal, elektrik, optik ve çevresel özellikleri, sembolleri ve birimleri gösterilmiştir.

Class	Property	Symbol and units	
General	Density	ρ	(kg/m^3 or Mg/m^3)
	Price	C_m	($/kg)
Mechanical	Elastic moduli (Young's, shear, bulk)	E, G, K	(GPa)
	Yield strength	σ_y	(MPa)
	Ultimate strength	σ_u	(MPa)
	Compressive strength	σ_c	(MPa)
	Failure strength	σ_f	(MPa)
	Hardness	H	(Vickers)
	Elongation	ε	(–)
	Fatigue endurance limit	σ_e	(MPa)
	Fracture toughness	K_{1C}	($MPa.m^{1/2}$)
	Toughness	G_{1C}	(kJ/m^2)
	Loss coefficient (damping capacity)	η	(–)

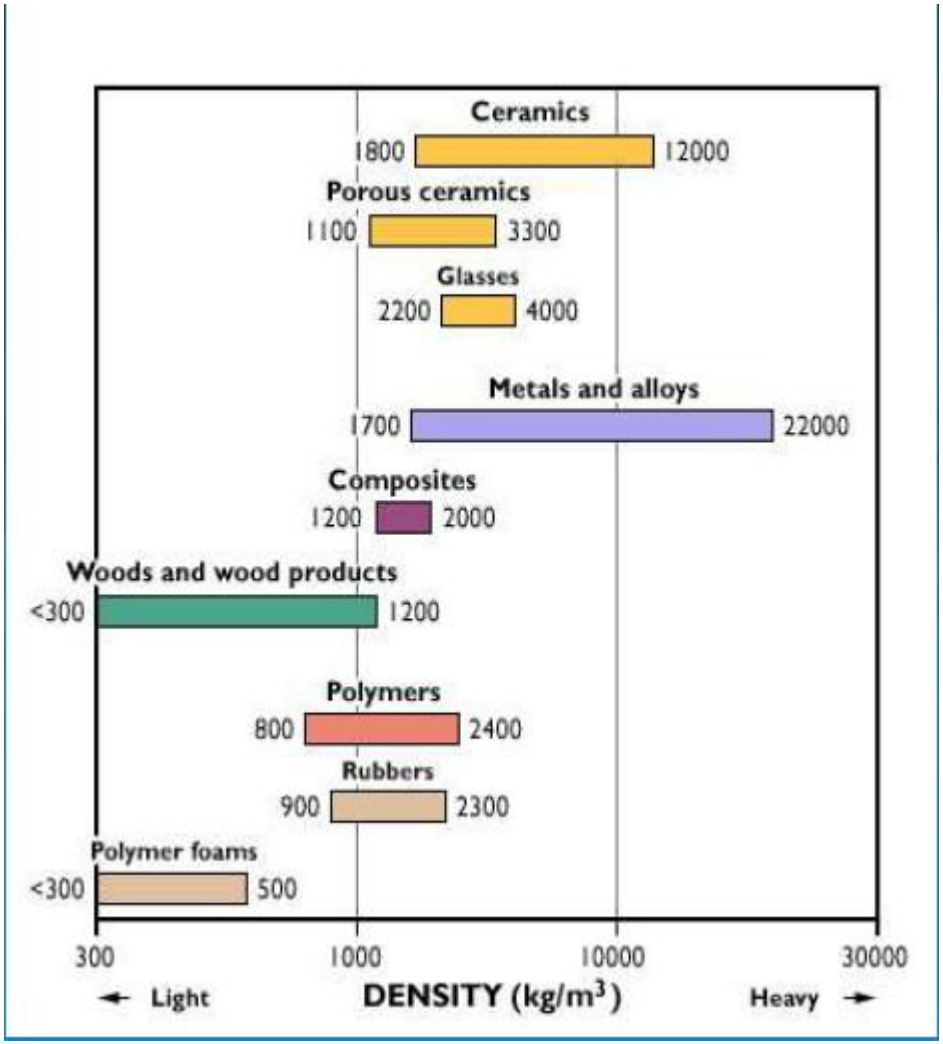
Thermal	Melting point	T_m	(C or K)
	Glass temperature	T_g	(C or K)
	Maximum service temperature	T_{max}	(C or K)
	Minimum service temperature	T_{max}	(C or K)
	Thermal conductivity	λ	(W/m.K)
	Specific heat	C_p	(J/kg.K)
	Thermal expansion coefficient	α	(K^{-1})
	Thermal shock resistance	ΔT_s	(C or K)
Electrical	Electrical resistivity	ρ_e	(Ω.m or $\mu\Omega$.cm)
	Dielectric constant	ε_d	(–)
	Breakdown potential	V_b	(10^6 V/m)
	Power factor	P	(–)

Optical	Optical, transparent, translucent, opaque	Yes/No	
	Refractive index	n	(–)
Eco-properties	Energy/kg to extract material	E_f	(MJ/kg)
	CO_2/kg to extract material	CO_2	(kg/kg)
Environmental resistance	Oxidation rates	Very low, low, average, high, very high	
	Corrosion rates		
	Wear rate constant	K_A	MPa^{-1}

2.1 Tüm malzemeler için yoğunluk ölçümleri

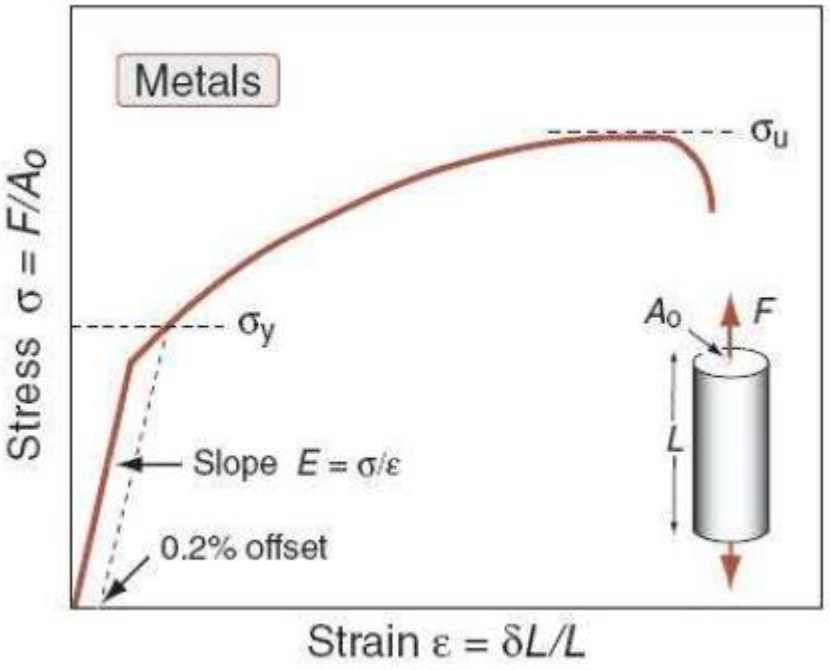


Tüm malzemelerin yoğunluk karşılaştırmaları

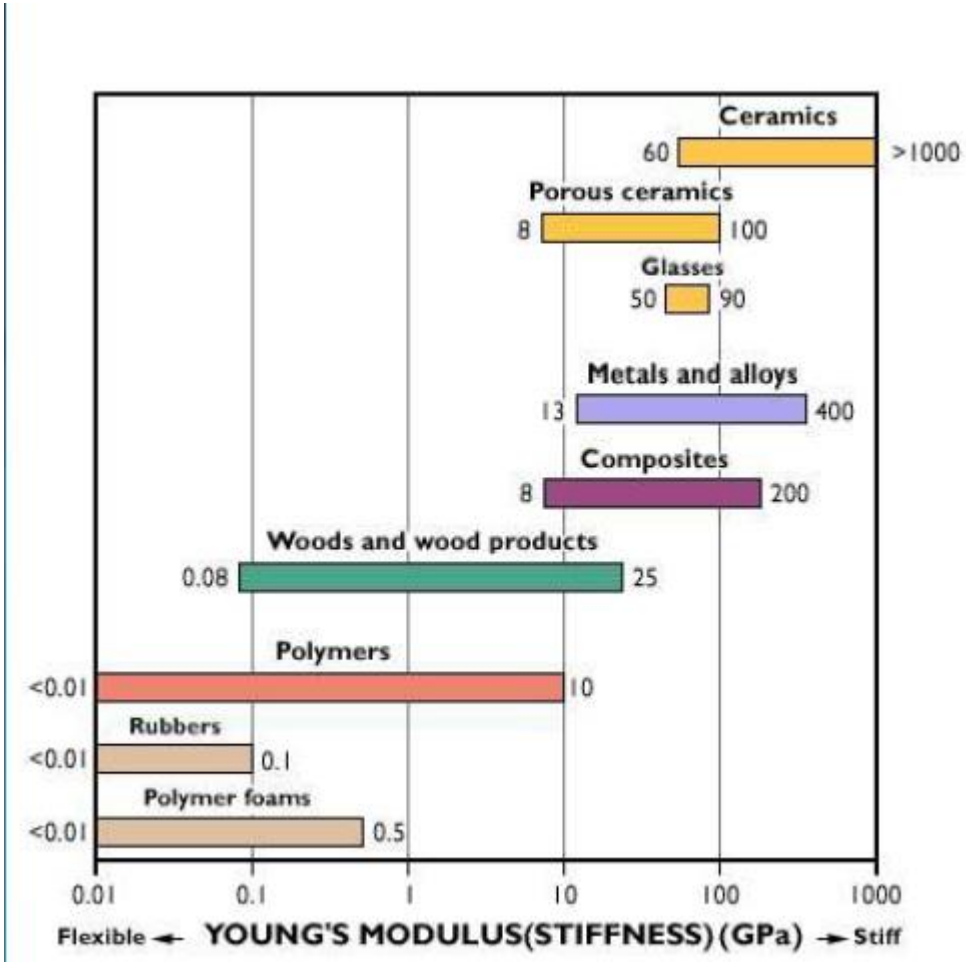


2.2 Metaller için

(Gerilme-uzama) Stress-Strain eğrisinde nelerin hesap edileceği aşağıda gösterilmiştir. E = GPa veya GN/m olarak ifade edilir.



2.3 Tüm malzemeler için (E) Elastisite modül değerlerinin kıyaslamalı gösterimi



- Bu diyagramda gerçekte , eğrinin eğiminden ölçülen Elastisite modülü (E) hatalıdır.
- Çünkü anelasticity, sürünme ve diğer faktörlerden strain'e katkı olduğundan 2 kat veya daha fazla kadar daha düşük değerdedir.
- Doğru (E) Modül, malzemelerin ses dalgalarının ölçülmesiyle veya tel veya kirişlerin tabii titreşimlerinin ölçülmesiyle dinamik olarak ölçülmelidir.

- O zaman da izotropik bir malzemede modül ifadeleri aşağıdaki gibi olur.

$$E = \frac{3G}{1 + G/3K}; \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}; \quad K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

Commonly $\nu \approx 1/3$ when

$$G \approx \frac{3}{8}E \text{ and } K \approx E$$

Elastomers are exceptional. For these $\nu \approx 1/2$ when

$$G \approx \frac{1}{3}E \text{ and } K \gg E$$

Burada ν : poisson oranı

2.4 Mukavemet terimi , dikkatli tanım yapmayı gerektirir.

METALLER için ;

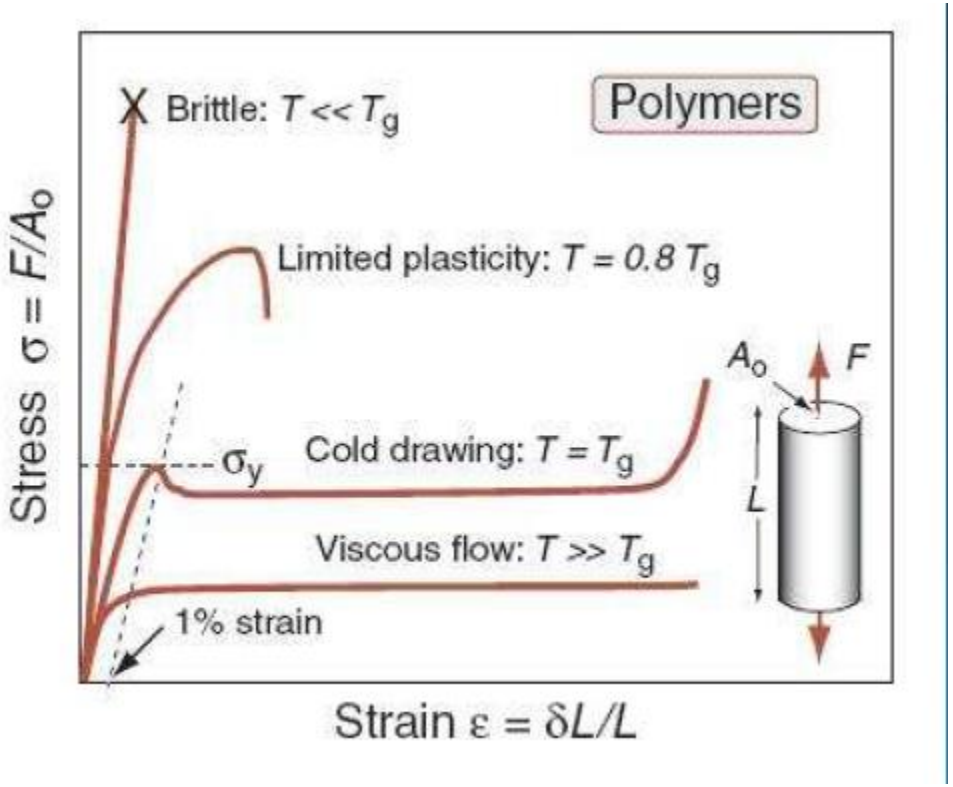
2.4.1 Akma mukavemeti; $\sigma_{ak} = F_{ak} / A_0$

Sert metaller için % 0,2 akma değeri esas alınır. Yatay eksende strain'in %0,2 = 0,002 mm lik nokta belirlenir.

Gerilme-uzama eğrisinin teğetine paralel çizilir. Eğriyi kestiği nokta, % 0,2 akma gerilme değeridir.

2.4.2 Plastikler için

Gerilme-Uzama Eğrisi



POLİMERLER için Mukavemet ;

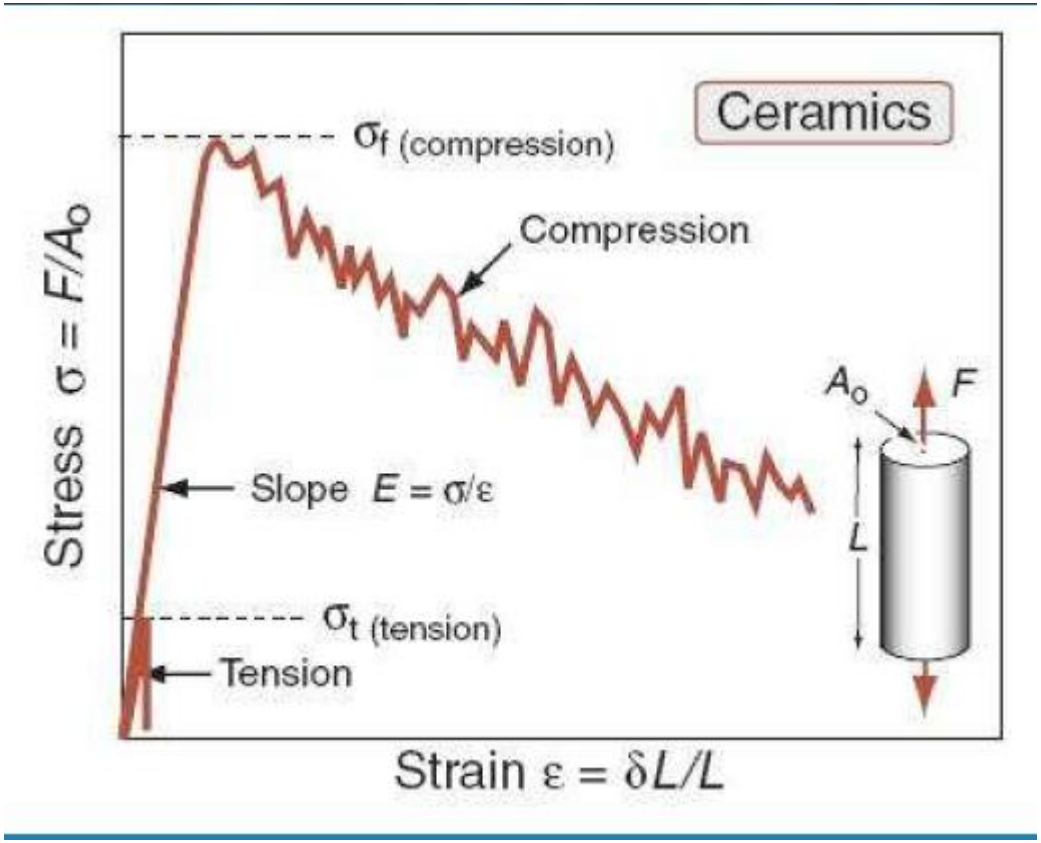
- Akma mukavemet değeri gerilme-uzama eğrisinin belirgin şekilde lineerlikten saptığı noktadır.
- Veya yatay eksende strain'in % 1 = 0,01 mm lik nokta belirlenir. Gerilme-uzama eğrisinin teğetine paralel çizilir. Eğriyi kestiği nokta akma mukavemeti olarak belirlenir ki ;

Plastiklerdeki akma ;

- Bu nokta kayma gerilmesi ile akmanın başladığı nokta,
- Moleküler zincirlerin geri dönülemez şekilde şekil değiştirdikleri nokta,
- Düşük yoğunluğun oluşmaya başladığı nokta,
- Polimer renginin beyazlaşmaya başladığı nokta, çatlak ve benzeri yüzey çatlamalarının oluştuğu nokta'dır.
- Bu noktada, basma halinde elde edilen değer, çekme halinde elde edilen değerden ~ % 20 daha fazladır.
- Plastikler için bu 5 değişik açıdan yorumun hepsi doğrudur.

2.4.3 Seramik ve Cam'larda

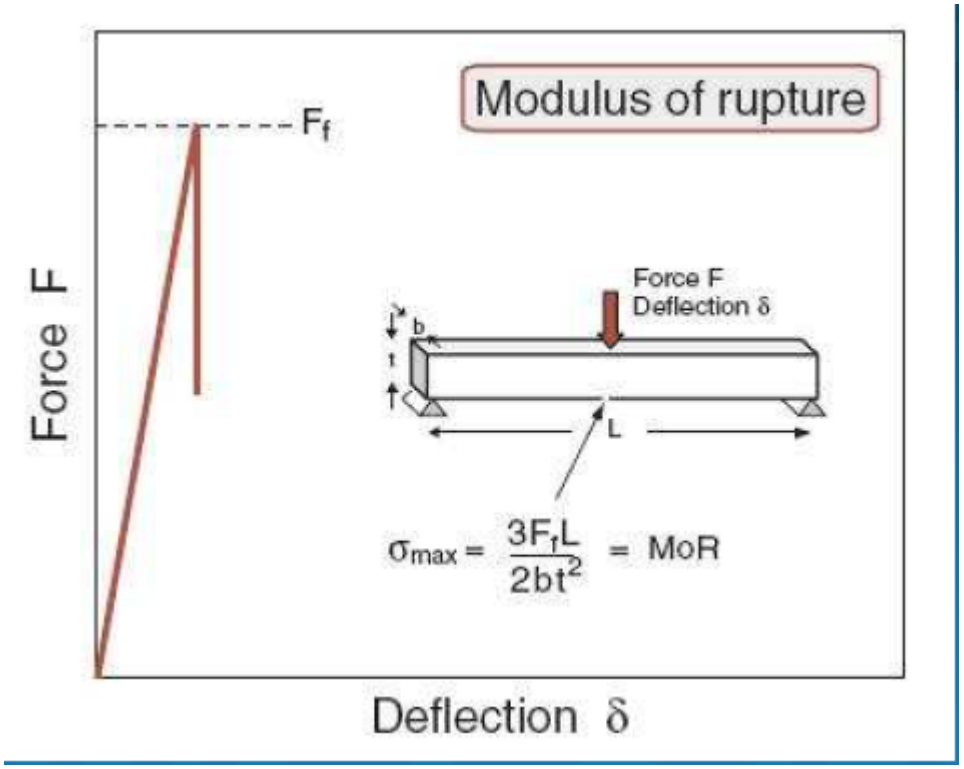
Gerilme-Uzama eğrisi



Cam ve Seramiklerde mukavemet, yükleme modu'na bağlıdır.

- Çekme de mukavemet , kırılma mukavemetine denk gelir. $\sigma_{çek} = \sigma_{kır}$
- Basmada ise ezerek- ufalanma mukavemeti olan (σ_c) ye denk gelir.
- İkisi arasındaki ilişki **$\sigma_{bas} = (10 - 15) . \sigma_{çek}$** kadardır.

Şayet seramik bir malzeme sıkı bir şekilde bir kenarın dan tutulmuş vaziyette ise, o zaman mukavemet ölçü mü için Eğme deki “maximum yüzey gerilmesi” ölçümü yapılır.



Bu max.gerilme, kırılmanın çok ani olduğu andaki gerilme değeridir. Değeri diyagramda görülmektedir.

- Bunu çekme işlemindeki ile aynı olduğunu sananlar yanılır. Seramikler için bu değer 1,5 kat daha büyüktür. Çünkü seramiklerde max. gerilmeye maruz kalan hacim daha küçüktür. İçinde büyük çatlak olma ihtimali de küçüktür. Basit bir çekme halinde, tüm çatlaklar, max. gerilme yüklenmiş şeklinde görülürler.

2.4.4. Kompozitlerde Mukavemet ;

- Lineer-elastik davranışdan bir dizi sapma şeklinde en iyi tanımlanır. Bu sapma bazen % 0,5 alınır.
- Fiber (lif) içeren kompozitler, basma durumunda çekme durumunda olduğundan biraz daha zayıftırlar (~ % 30).
- Çünkü fiberler basma durumunda marullaşır, yani eğrilip bükülürler.
- Kompozitlerde mukavemet olarak çekme durumundaki mukavemet değeri esas alınır.

Mukavemet, Malzeme cinsi ve yükleme moduna bağlıdır.

Şayet çok eksenli yükleme mod'u malzemeye uygulanmış ise ; Metaller için AKMA olayı basit çekme halindeki durumla alakalandırılır.

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_f{}^2$$

Burada $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ asal gerilmelerdir ve bu şekilde sıralanmışlardır.

Polimerlerde bu ifade basınç etkisi de konarak biraz daha iyileştirilerek ;

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_f{}^2\left(1 + \frac{\beta p}{K}\right)^2$$

Şekline dönüştürülmüştür. Burada K polimer'in hacimsel modülü"dür. $\beta \sim 2$ nümerik bir katsayıdır

$$p = -\frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

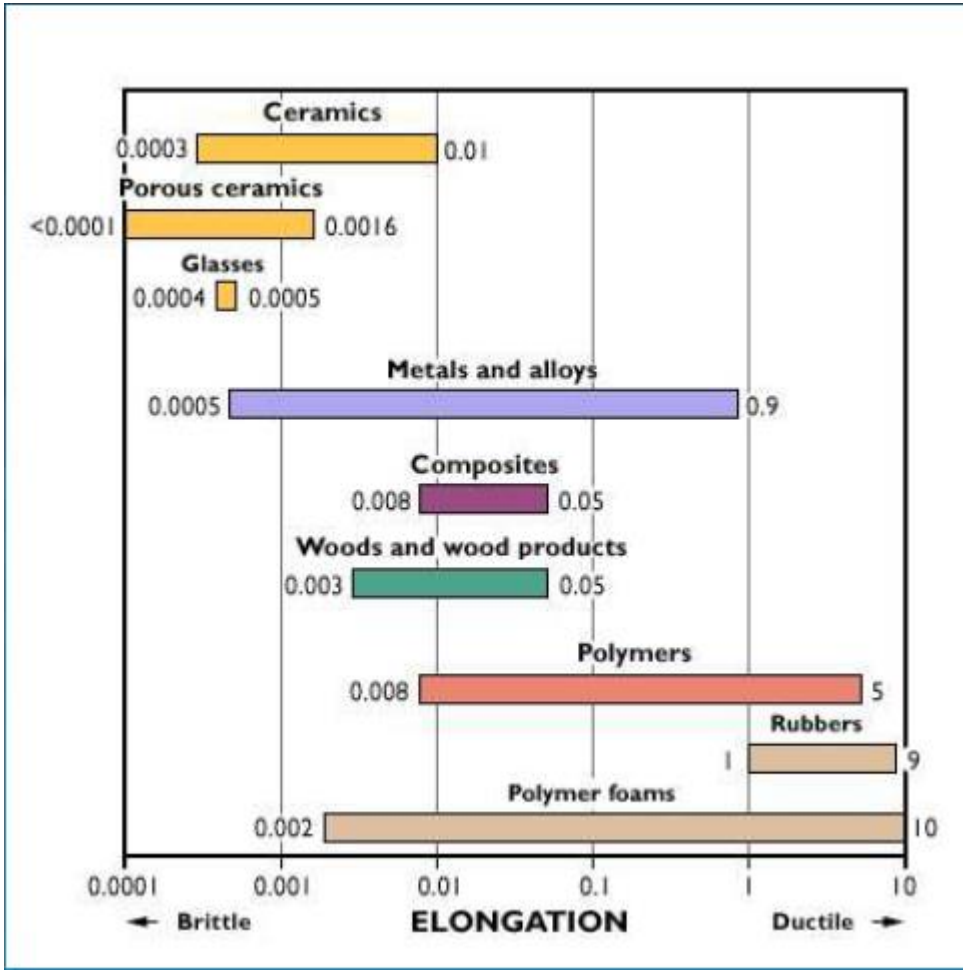
Seramikler için ;

“Columb akış kanunu” kullanılır.

$$\sigma_1 - B\,\sigma_2 = C$$

Burada B ve C sabitlerdir.

Tüm malzemelerin uzama-süneklilik değerleri



2.4.5. Çekme Mukavemeti

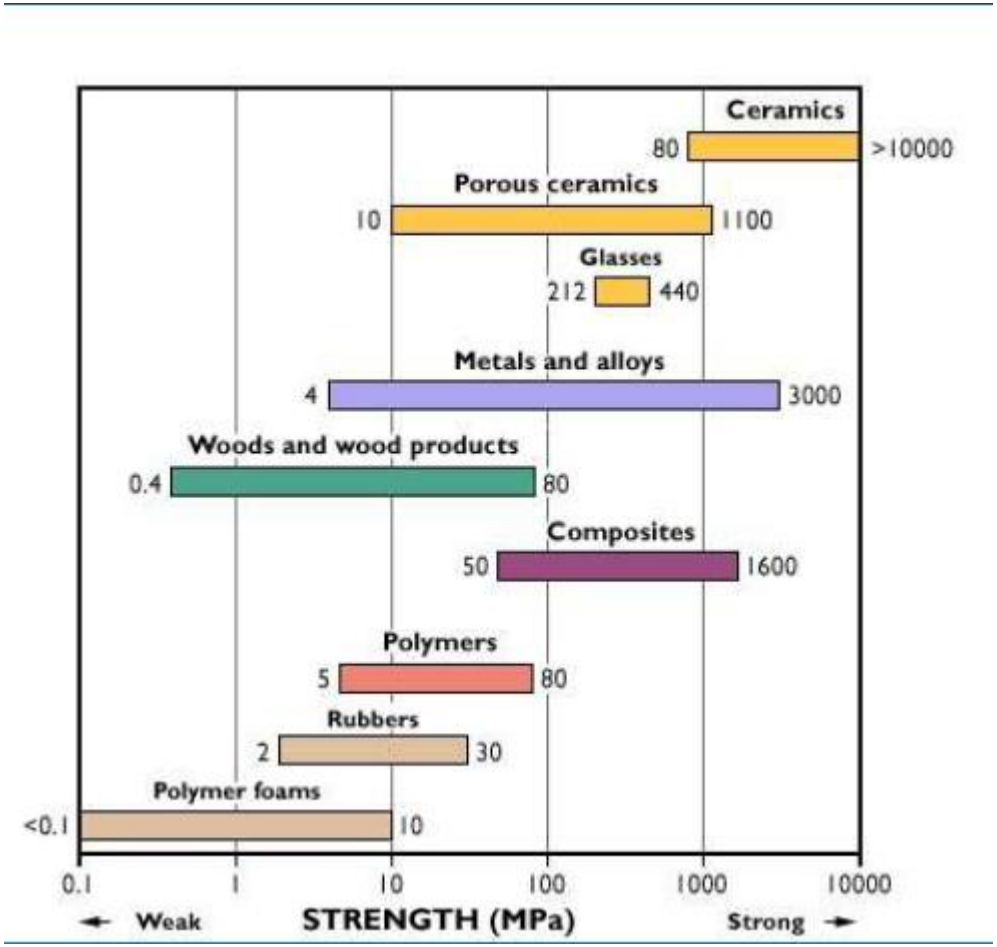
Birimi Mpa ‘dır. Maksimum çekme yükünde parçanın ayrıldığı boğum yaptığı mukavemettir.

Gevrek katılar olarak cam’lar, seramikler, ve gevrek polimerlerde çekme yükünde hata verilen noktadaki mukavemettir.

Metaller, sünek polimerler ve pek çok kompozitlerde pekleşme(metallerde) veya takviye(kompozitlerde) sebebiyle çekme mukavemeti, akma mukavemetinden 1,1 ve 3 kat daha büyüktür.

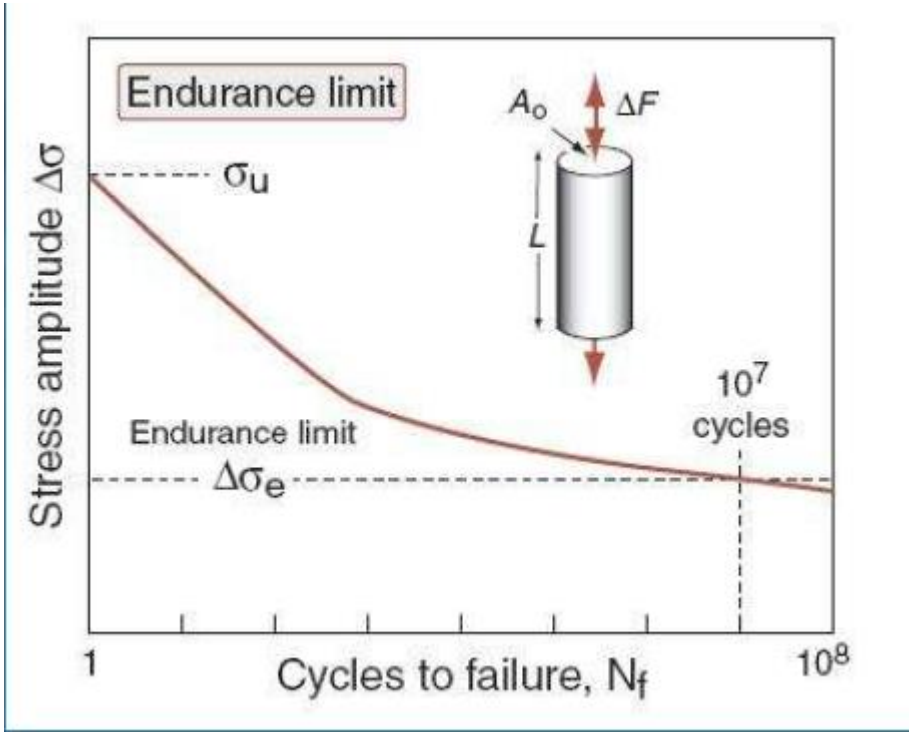
$$\sigma_{çek} > (1{,}1 - 3)\,\sigma_{ak}$$

Tüm malzemelerde mukavemet değerlerinin kıyaslamalı gösterimi



2.5 YORULMA

Tekrarlı yükleme yalnızca enerji harcamaz, bir çatlak oluşturur, onu büyütür ve en sonunda yorulma hatası ile son buldurur.



Pek çok malzeme için “yorulma sınırı” = “endurance limit” vardır.

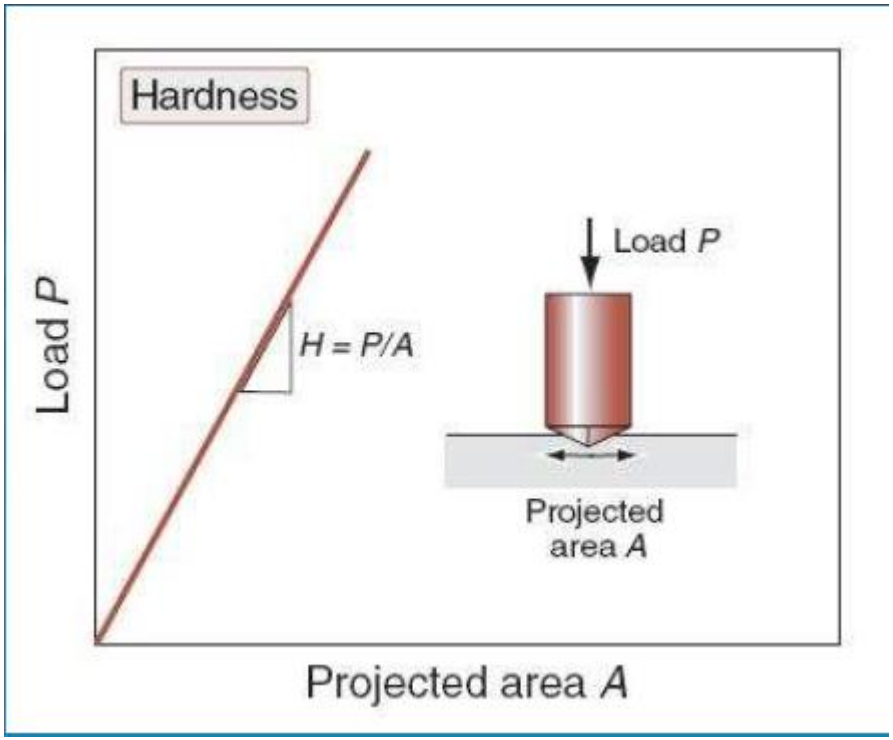
($\Delta\sigma$ - N_f) eğrisinde bu durum gösterilmiştir. Birimi MPa ‘ dır. Burada ;

$\Delta\sigma$: Kırılma gerçekleşmeden önceki “gerilme amplitüdü” veya

$N_f > 10^7$ kırılmanın gerçekleştiği 10^7 den daha büyük bir tekrar sayısı “yorulma sınırı” olarak belirlenir.

2.6 Sertlik

Malzeme mukavemetinin ilkel bir ölçümüdür de diyebiliriz. Malzeme yüzeyine sert bir elmas veya bilya bastırmakla ölçüm yapılır.



Sertlik = Yük / Alan

Sertlik, uygulanan yükün (P) temas alanına (A) bölümüyle bulunur.

SERTLİK (H) ~ 3 .σ_u

SI sisteminde birimi MPa dır. Fakat başka birim sisteminde de gösterilir.

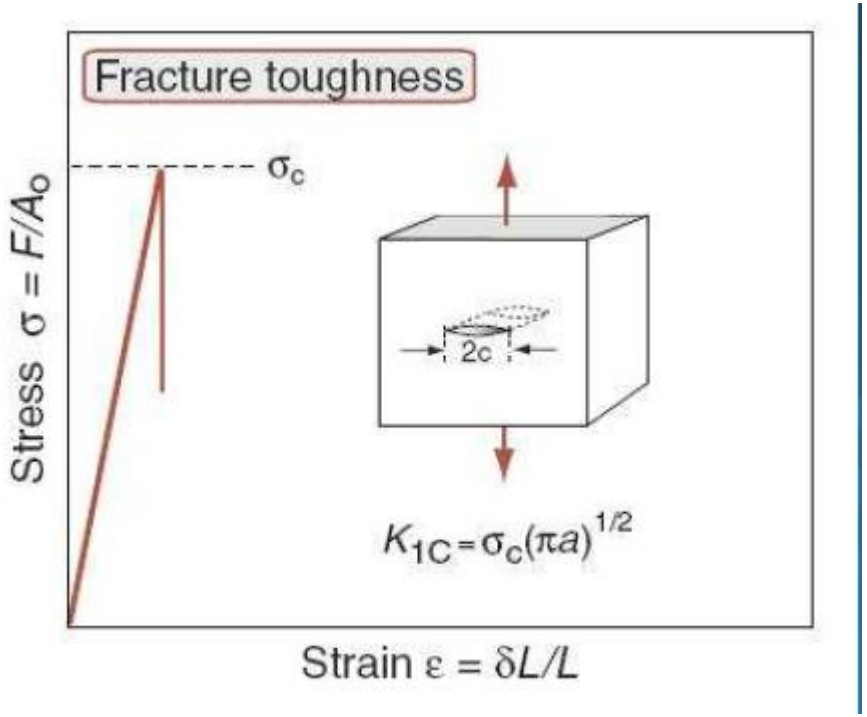
Şayet Vickers sertlik skalasında gösterilecek olursa birimi HV = kg/mm^2 dir.

Bu durumda yukarıdaki birimi MPa olan sertlik ile ilişkisi ise ;

$H_V = H / 10$ şeklindedir.

2.7 Kırılma Tokluğu

Malzeme içerisinde bir çatlağın yayılmasına karşı malzemenin gösterdiği direncin ölçümüdür.



Kırılma tokluğu G_{IC} (kJ/m^2) ile veya K_{IC} ($MN/m^{3/2}$) ile ifade edilir.

Diyagramdan da görüldüğü gibi, içinde 2c uzunluğunda çatlak olan bir malzemeye yük uygulandığında, kritik çatlağın yayılmaya başladığı kritik gerilme (σ_c) ye karşılık gelen malzeme dayanımına kırılma tokluğu(K_{IC}) adı verilir. Hesapla bulmak istersek ;

$K_{IC} = Y\ \sigma_C\ (\pi c)^{1/2}$ formülünden hesaplarız.

Burada Y numune geometrisine bağlı katsayıdır.

G_{IC} (Çatlak yayılma hız ifadesi) olarak ise ;

$G_{IC} = [K_{IC}^2\ ] / E\ (1+\nu)$

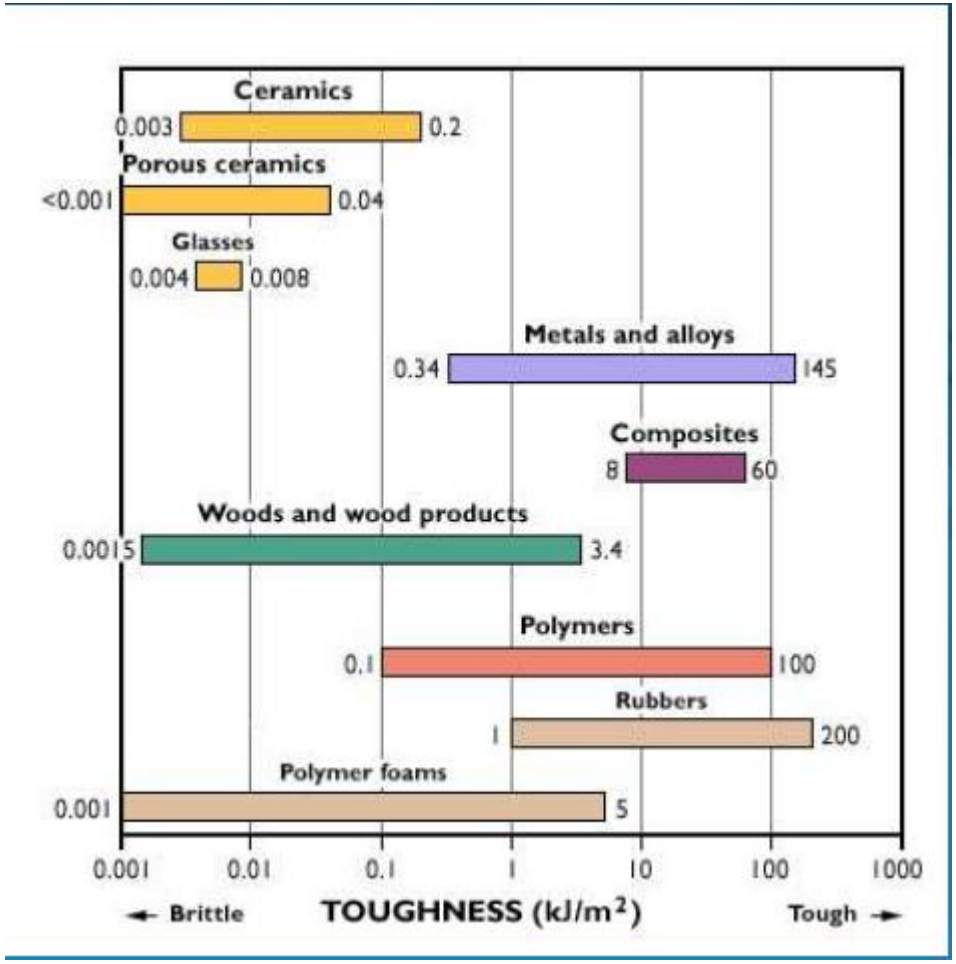
Her iki formül de gevrek malzemeler yani, seramik, cam ve sert polimerler için geçerlidir.

Sünek malzemeler için çatlak kararsız yayılması esnasında önünde oluşan plastik bölge nedeniyle çatlağın yayılması daha güç olacak, formüllerde de yeni iyileştirmeler olması gerekecektir.



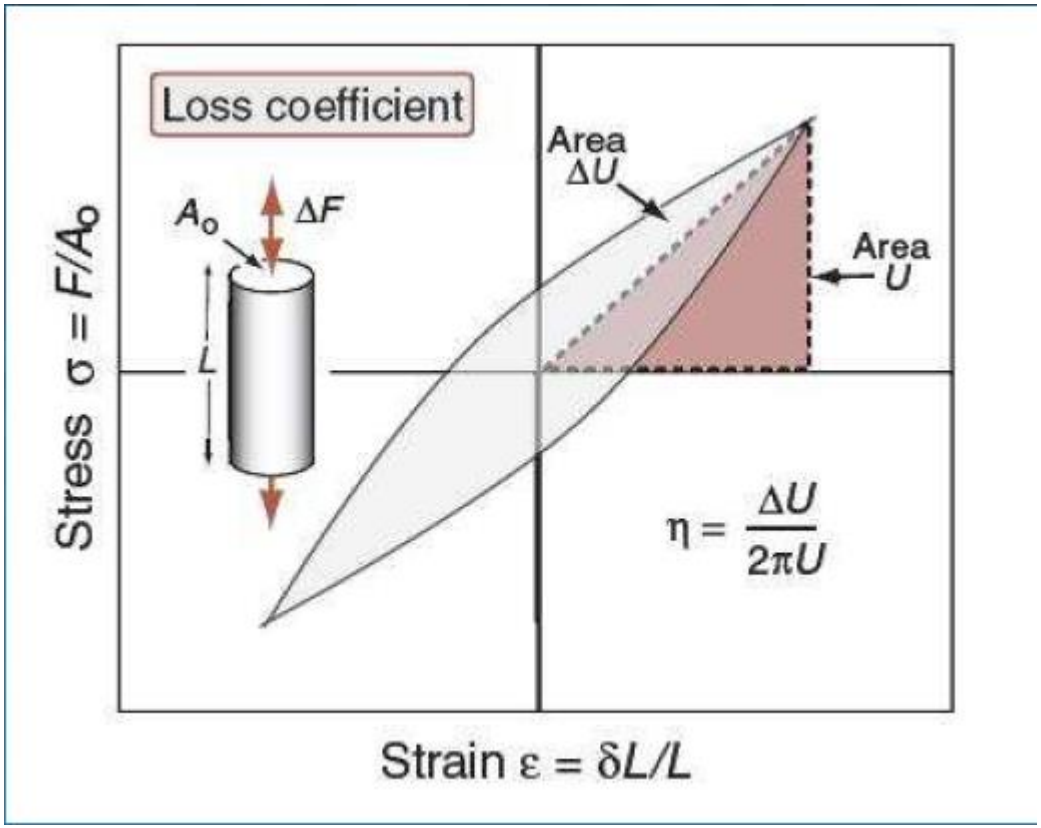


Tüm malzemeler için kırılma tokluğu değerlerinin kıyaslamalı gösterimi



2.8 Kayıp Katsayısı (η)

Bir malzemedeki boşa giden titreşim enerjisinin derecesini belirten bir ifade' dir.



Eğer bir malzeme elastik olarak bir yükle yüklenirse, bu yük sonunda max.gerilme doğar, BİRİM HACİM BAŞINA bu elastik enerji olarak depolanır.

Yani , REZİLYANS

$$U = \int_{o}^{\sigma max} \sigma . d\varepsilon \sim \tfrac{1}{2} . (\sigma^{2}_{max} / E) \text{ olur.}$$

Eğer bir yük yüklenir, sonrada kaldırılırsa, enerji kaybolur.

$$\Delta U = \int \sigma . d\varepsilon \quad \text{Burdan ;}$$

Kayıp katsayısı ise ;

$$\eta = [\Delta U / (2\pi U)]$$

Bu değer genellikle saykıl frekansı veya zaman-skalasına bağlıdır.

Bazen de sönümleme ölçümleri "özel sönümleme kapasitesi" terimini de içermektedir. $D = \Delta U/U$ ve $\log \Delta$ azalması (tabii titreşimlerin ardışık amplitüdlere oranı olarak algılanmalı) , gerilme ve strain arasındaki faz ayağı δ veya resonans faktörü Q olsun.

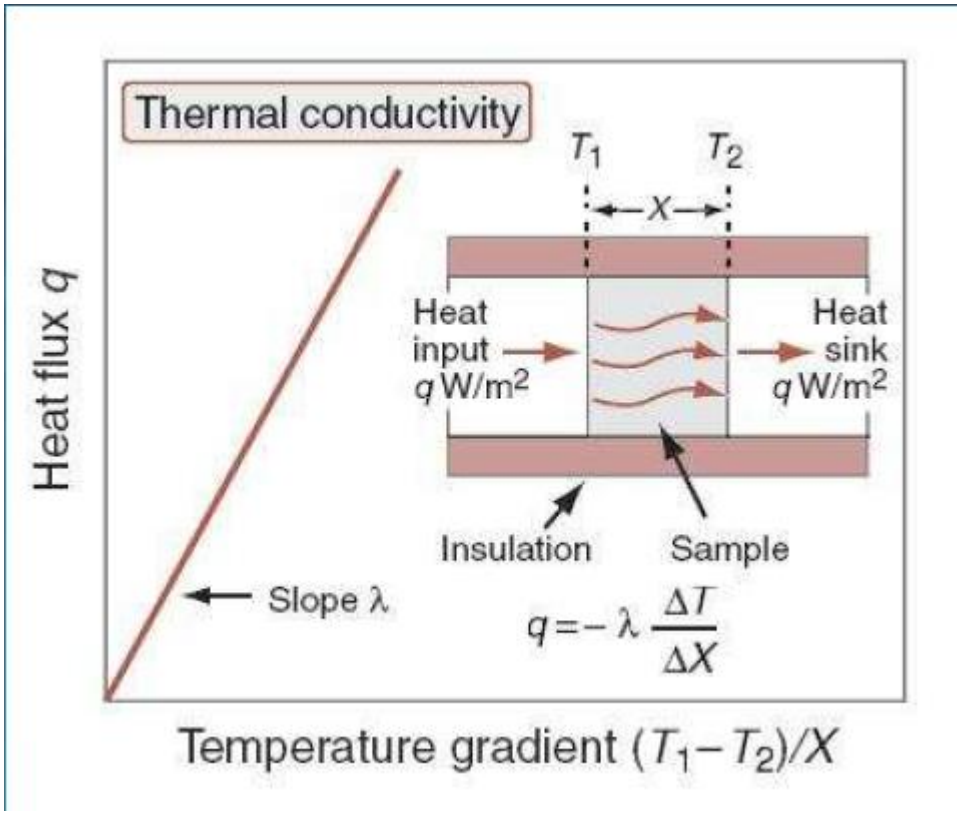
Sönümleme faktörü η<0.01 olduğu zaman, bu ölçümler şu şekilde gösterilir.

$$\eta = D/2\pi = \Delta/\pi = \tan\delta = 1/Q$$

Sönümleme büyük olduğu zaman, artık eşdeğerdir.

2.9 Termal Özellikler

1. Termal özelliği yakından ilgilendiren 2 özellik vardır. Birisi Ergime sıcaklığı (Tm) , diğeri ise Camsı-geçiş sıcaklığı (Tg)



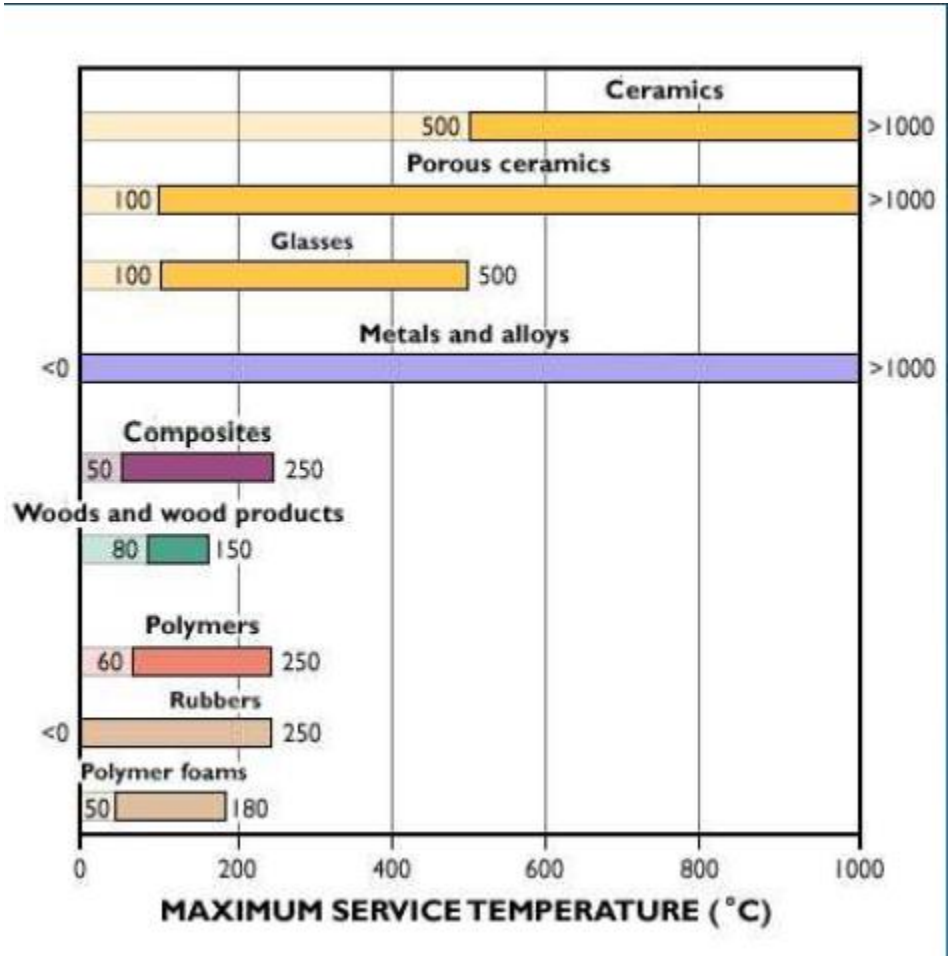
Her ikisi de katıların bağ mukavemetiyle direkt ilgilidir.

- Kristalin katı malzemelerde keskin bir ergime noktası (T_m) vardır. Kristalin olmayan malzemelerde keskinlik yoktur.
- Camsı-geçiş sıcaklığı T_g ; gerçek katı halden çok sıvı viskoz hale geçiş olan sıcaklığı ifade eder.
- Bu sıcaklıklar mühendislik tasarımında daha da ileri olan 2 sıcaklık değerini belirlemede faydalı olurlar.

  - Bunlar T_{max} ve T_{min} servis sıcaklıklarıdır.

T_{max} ; oksitlenme olmadan, sürünme olmadan ve kimyasal değişme olmadan malzemenin kullanılabilecek en yüksek sıcaklığı ifade eder.

Tüm malzemelerin max.işletme sıcaklıklarının kıyaslamalı gösterimi



T_{min} ; Malzemenin gevrek olmaya ve kullanımının artık emniyetsiz olmaya başladığı sıcaklığı belirtir.

Sıcaklıkların birimleri ya K veya C olarak belirtilir.

2. Isıl iletkenlik (l) ;

Isı, bir katının içinden şayet zamanla değişmeyecek şekilde geçiyorsa , λ ile gösterilen ısıl iletkenlikkatsayısı ile ölçülür. Birimi (λ =W/m.K)' dir.

Şekilde bu katsayının nasıl ölçüldüğü görülmektedir.

Katı bir malzemenin içinden T_1 yüksek sıcaklık tarafından T_2 düşük sıcaklık tarafına X kadar mesafeden ısı geçişi olduğunda q = (W/m2) , iletkenlik hesabı aşağıdaki gibi yapılır.

Isıl iletkenlik $q = -\lambda (dT / dX) = \lambda (T_1 - T_2) / X$

Bu değer pratikte ölçülmez.(Özellikle iletkenliği düşük malzemeler için) Fakat şimdilerde güvenilir veriler mevcuttur.

Isı akışı daimi olmadığı-geçici olduğu zaman, ısıl iletkenlik yerine, ($a = m^2/s$) ısıl yayınım ifadesi kullanılır ve şu şekilde hesaplanır.

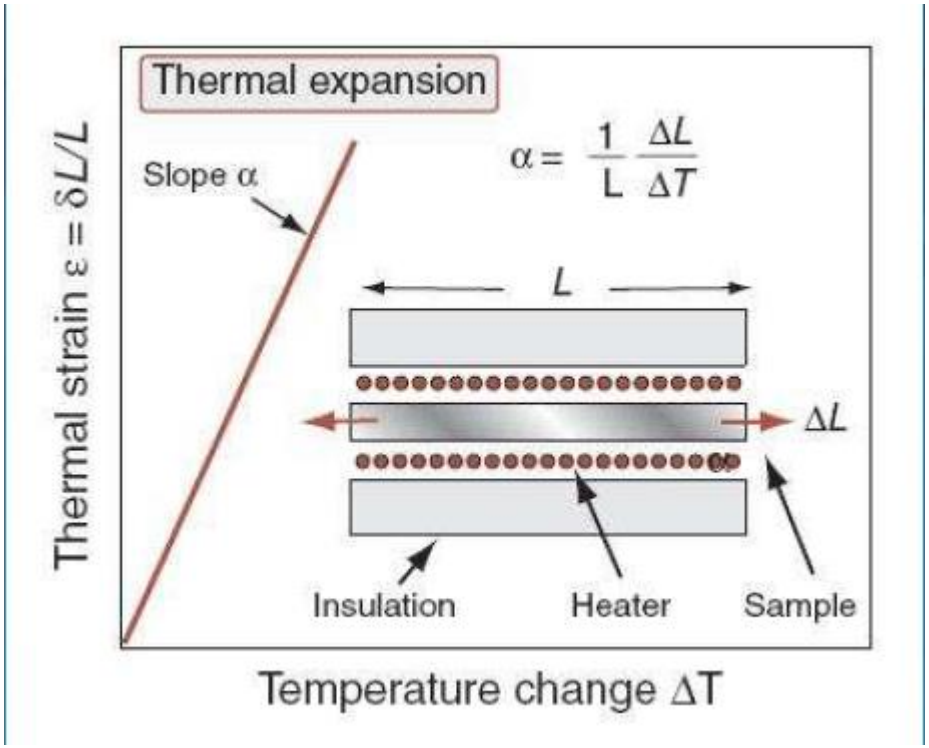
Isıl yayınım $a = \lambda / (\rho . C_p)$

Burada; r = Yoğunluk

C_p = Sabit basınçtaki spesifik ısı (J/kg.K)

2.10 Termal Genleşme

Pek çok malzeme ısıtılınca genleşir. Termal strain / sıcaklık değişimi derecesi, LİNEER THERMAL GENLEŞMEKATSAYISI (α) ile ölçülür. [microstrain / ^{o}C]



Eğer malzeme termal olarak izotropik ise, derece başına hacimsel genleşme 3α dır.

Eğer anizotropik ise, 2α veya daha fazla katsayı gerekir, ve hacimsel genleşme, asal termal strain'lerin toplamına eşit olur.

THERMAL ŞOK DİRENCİ (DTs) ; Malzeme aniden soğutulduğunda zarar görmeden erişilen max. sıcaklık farkına denir. Bu terim ve sürünme direnci terimi yüksek sıcaklık tasarımlarında önemlidir.

Sürünme, şayet malzemeler, ergime sıcaklığının $1/3\ T_m$ veya camsı-geçiş sıcaklığının $2/3\ T_g$ değerleri üzerindeki bir sıcaklıkta yüklendikleri zaman oluşan yavaş ve zamana bağlı deformasyona denir.

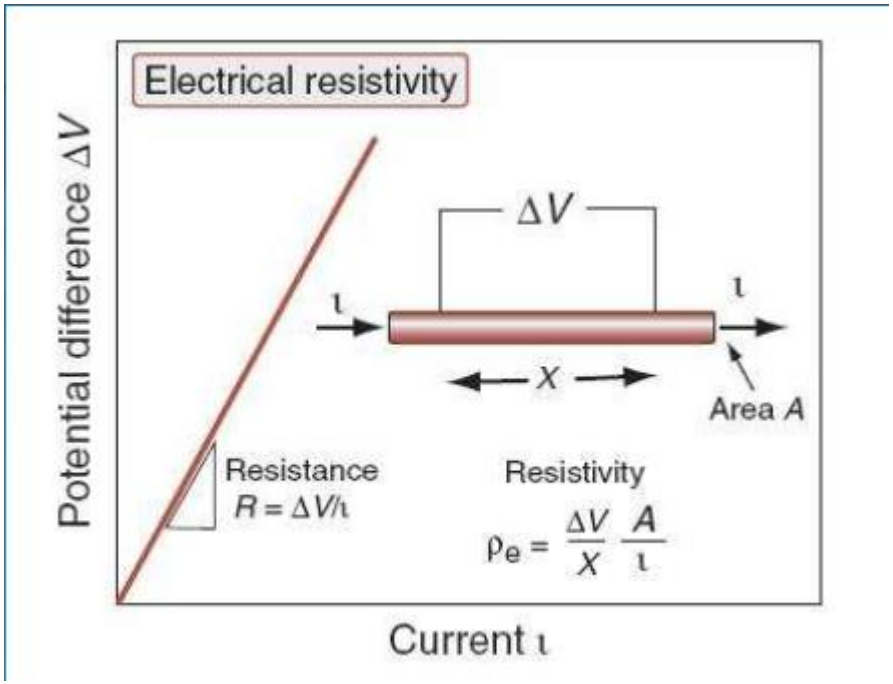
Sürünmeye karşı tasarım, özel bir konudur. Burada malzemenin işletme sıcaklığı üzerindeki sıcaklıklarda bir malzemenin kullanımından sakınma yerine ona güvenme üzerine durulacaktır. (T_{max})

Bu durum plastikler için "ısıl sapma sıcaklığı" olarak bilinir.

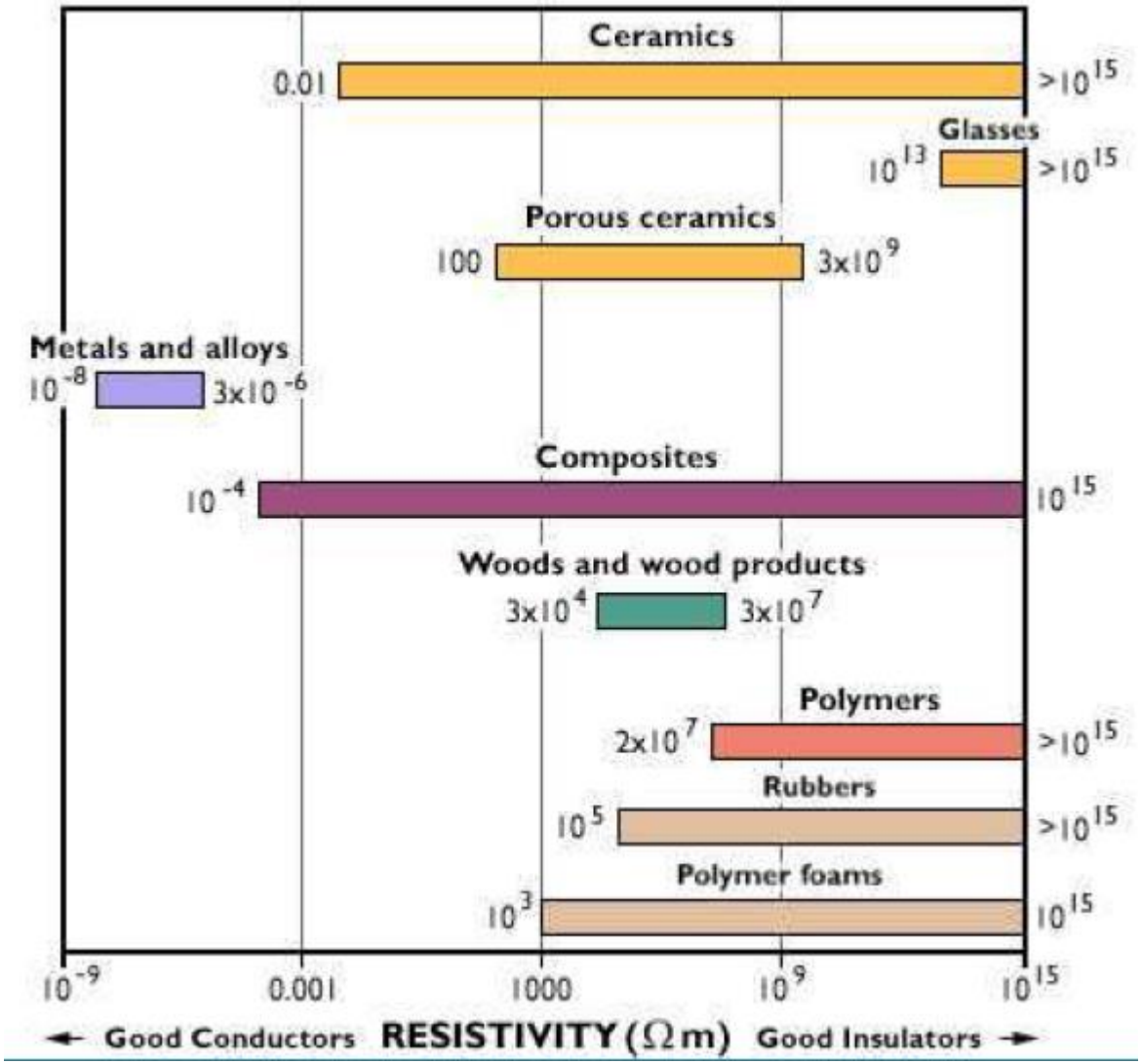
2.11 Elektriksel Özellikler

Öz direnç = elektriksel direnç (ρ_e) ; İki yüzey arasındaki birim potansiyel farkına sahip birim bir küb'ün direnci'dir. Birimi (Ω.m veya $\mu\Omega$cm). Ölçümü şekildeki gibi yapılır. Çok geniş bir aralığı vardır.

[10^{-8} ila 10^{+16} Ω.m]



Tüm malzemelerin direnç değerlerinin kıyaslamalı gösterimi



2.12 Optik özellikler

Bütün metaller, ışığın geçmesine müsaade ederler. Metallerde bile aşırı derecede küçük miktarlarda ışık geçişi vardır.

Malzeme içinde ışığın hızı (ν) , vakumlu ortamdaki ışığın hızı (c)'den daima azdır.

Bir metal yüzeyine, bir ışın demeti (α) açısıyla çarpma sonucunda malzeme içersine girer. (β) açısıyla yansıyarak çıkar.

Yansıma index'i (n)[boyutsuz)] = $c / \nu = \sin\alpha / \sin\beta$

Bu (n) dielektrik sabiti (ε_d) ile alakalıdır.

$n \cong \sqrt{\varepsilon_d}$

Bu n dalga boyuna bağlıdır. Daha yoğun bir metal, daha yüksek bir dielektrik sabiti, daha büyük bir yansıtıcı index'ine sahiptir. n = 1 olduğu zaman, ışın malzemeye girer, ama n > 1 olduğu zaman, biraz yansıma olur. Eğer yüzey düz ve polisajlı ise, bir ışın olarak yansır. Yüzey pürüzlü ise, dağılır. Yansıma Oranı (R) Yansıma index'i (n) ile alakalıdır.

$R = [(n-1)/(n+1)]^2 \cdot 100$

Yani n artarken, R de % 100 e doğru meyleder.

2.13 Çevre özelliği

Üretim enerjisi : Geri dönüşümü (RECYCLİNG)

yapılan malzemenin 1 kg'nı elde etmek için harcanan enerjiye üretim enerjisi diyoruz. Birimi (MJ/Kg). Çevre için 1Kg malzeme üretmek için atmosfere bırakılan CO_2 miktarı-kütlesi önemli bir ölçüdür.

Çevre direnci ;

Bazı malzeme özelliklerini sayıya dökmek zordur. Çünkü çevrede çalışırken iç etkileşim içinde olurlar.

Çevre direnci 5 farklı şekilde incelenir.

- Çok iyi – Çevreye karşı direnci fazla
- İyi
- Orta
- Zayıf
- Çok zayıf – Çevreye karşı direnci tamamen kararsız.

2.14. Aşınma

Başka bir çevre etkileşim parametresi AŞINMA' dır.

Aşınma çok yönlü bir problemdir. Aşınma az ise yok farzedilebilir.

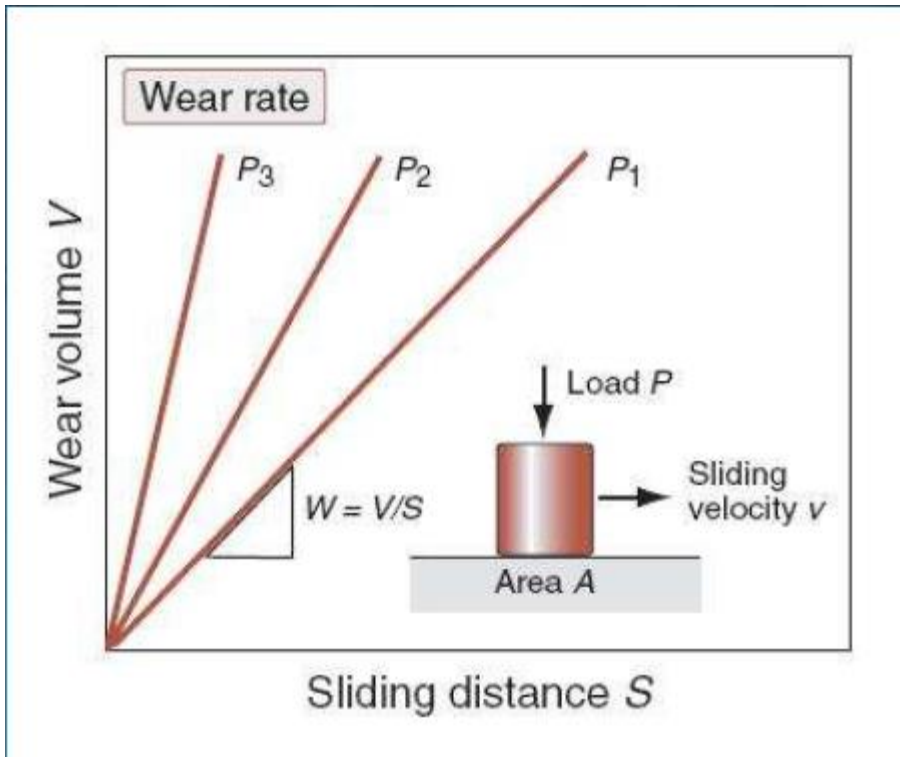
Katı cisimler bir yüzeyden kaydıkları zaman, birim kayma mesafesi başına bir yüzeyden kaybolan malzeme hacmi'ne AŞINMA HIZI (W) adı verilir.

Yüzeyin aşınma direnci, ARCHARD aşınma katsayısı (K_A) ile (birimi MPa^{-1}) tanımlanır.

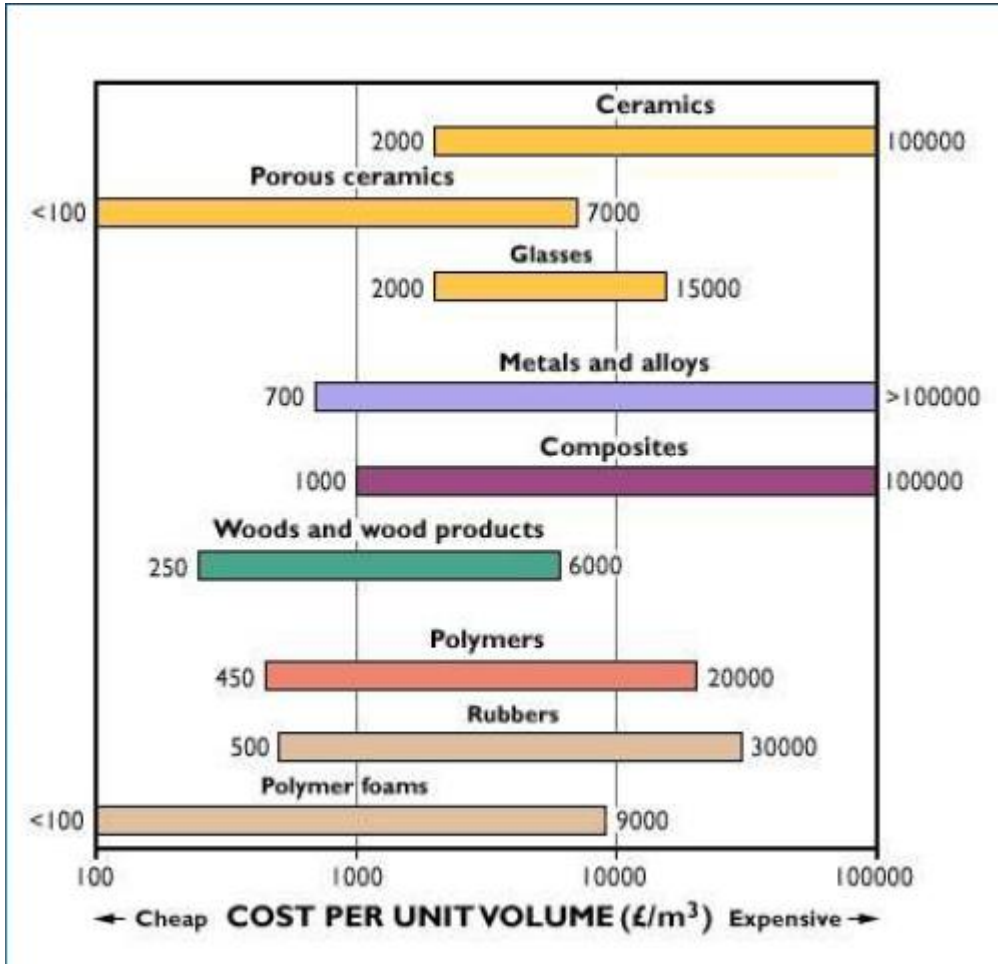
$(W/A) = K_A . P$

Burada A ; yüzey alanı P ise ; Onları basan kuvvet

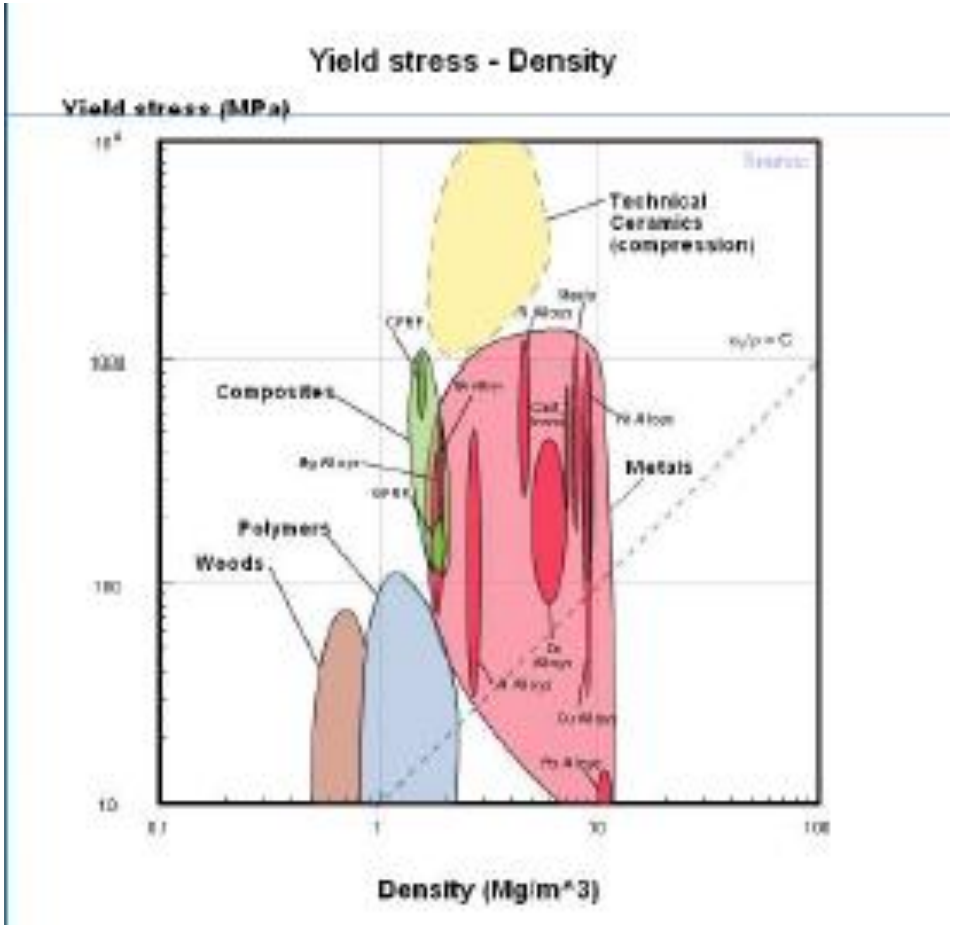
Aşınma


Wear rate
P_3
P_2
P_1
Wear volume V
$W = V/S$
Load P
Sliding velocity v
Area A
Sliding distance S

Malzemelerin birim hacım başına fiyat değerlerinin kıyaslanması



MALZEME ÖZELLİK KARTLARI

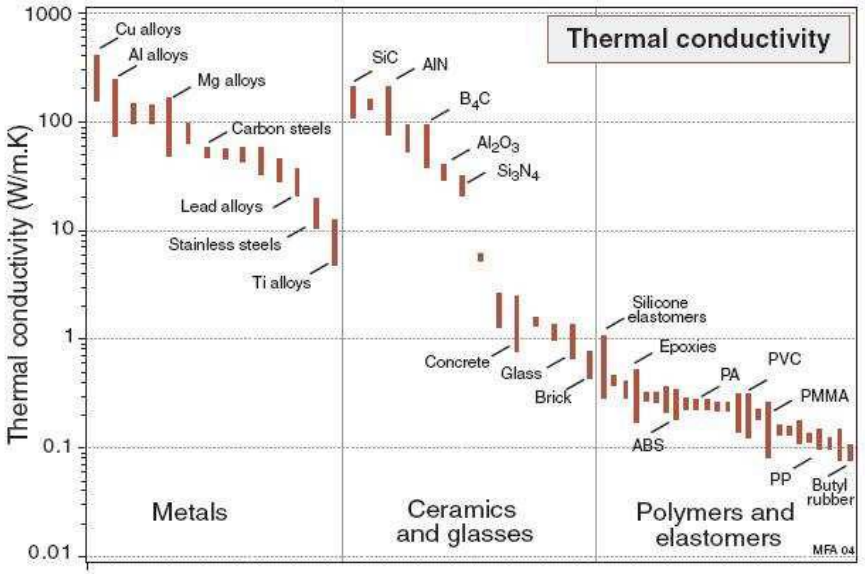


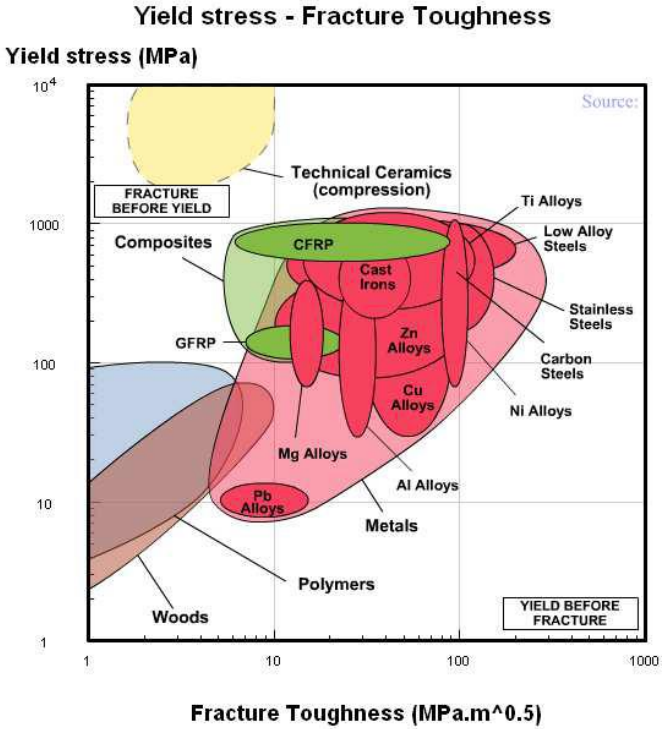
Malzeme Özellik Kartı Nedir?

Malzeme seçimine katkıda bulunmak için hazırlanmış kıyaslamalı malzeme özelliklerinin karşılaştırılmalarına yarayan karttır.

İki tip kart kullanılır.

1. Çubuk malzeme özellik kartı
2. İki malzeme özelliğinin karşılaştıırıldığı kartlar





İki eksene malzeme özellikleri yerleştirilerek eğrilerinin çizilmesi ile tasarımdaki değerlendirmeler yapılabilir ve açıkça tanımlanmış malzemeler arasındaki kıyaslama yapılabilir. Kartlar, temel fiziksel özellikleri ile ilgili malzeme özelliklerini vurgulamak için yapılırlar. (Kompozisyon ve gördüğü imalat prosesinin geçmişi gibi).

Kartların grafik şekli, sayesinde malzeme özellikleri çok daha kolay açıklanır. Kartlar log. Olarak çizildiklerinden bu konuda bilgilenmek faydalı olacaktır.

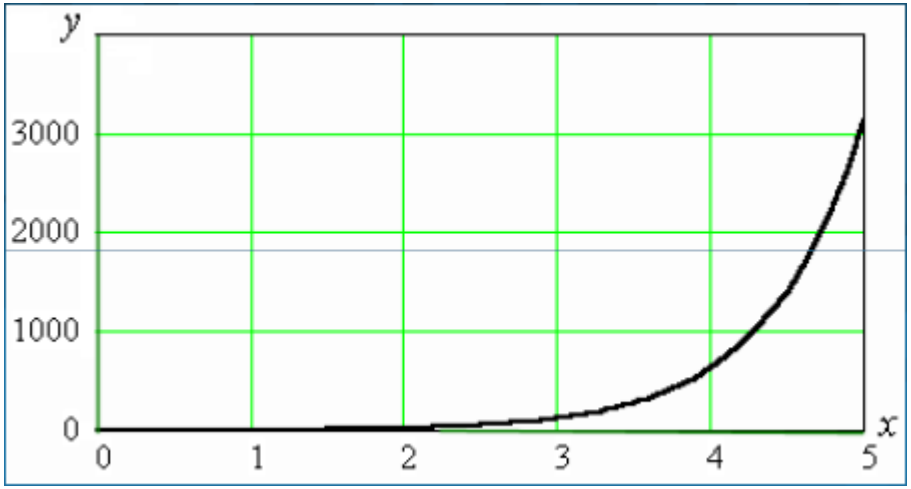
LOGORİTMİK GRAFİKLER HAKKINDA BİLGİ

Log .grafiklerin , deprem olaylarında , ses frekansı olaylarında ve burada olduğu gibi malzeme özellik kartlarında değerlerin log skalası olarak kullanım alanları vardır.

Log terimi , kat fazla, defa fazla veya az skala ifade lerini kullanırken matematik biliminde bunun nasıl gösterileceğini açıklar.

Log ifadesini iyi anlamak için şu üç örneğe bakalım.

ÖRNEK 1)- $y = 5^x$ ifadesinin normal grafik eğrisini çizdirelim.

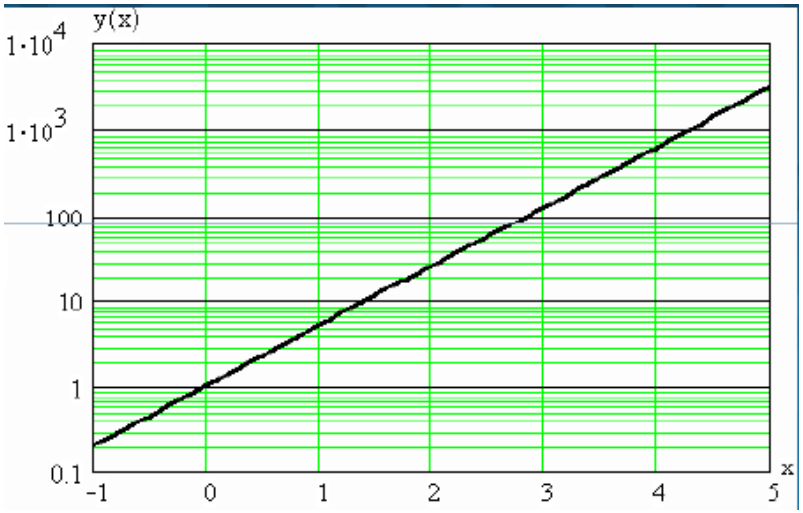


$y = 5^0$ y= 1 $y=5^2$ y= 25 $y= 5^4$ y= 625

$y = 5^1$ y= 5 $y=5^3$ y= 125 $y=5^5$ y= 3125

Dikkat edilirse x ekseninde 2'nin altındaki değerler bu çizimde kayıp, görünmüyor.

ÖRNEK 2)- y eksenini yarı-log skala yaparak aynı denklemin eğrisini çizdirelim.



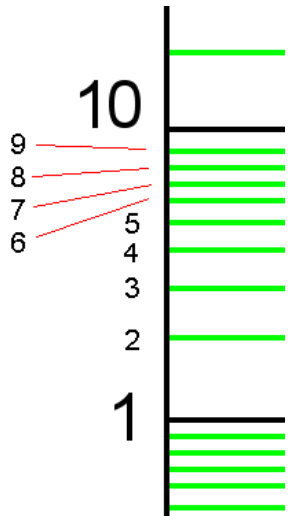
$y = 5^0$ y= 1 $y=5^2$ y= 25 $y= 5^4$ y= 625

$y = 5^1$ y= 5 $y=5^3$ y= 125 $y=5^5$ y= 3125

Örnek 2 yi dikkatle incelerseniz, **x ekseni** boyunca aralık

ların eşit olduğunu görürsünüz. Çünkü bu eksen **log.** değil. Y ekseninde ise 10'nun katları olacak şekilde **eşit aralık** fakat bir onluk aralık içerisinde farklı mesafeler olduğu görülüyor.

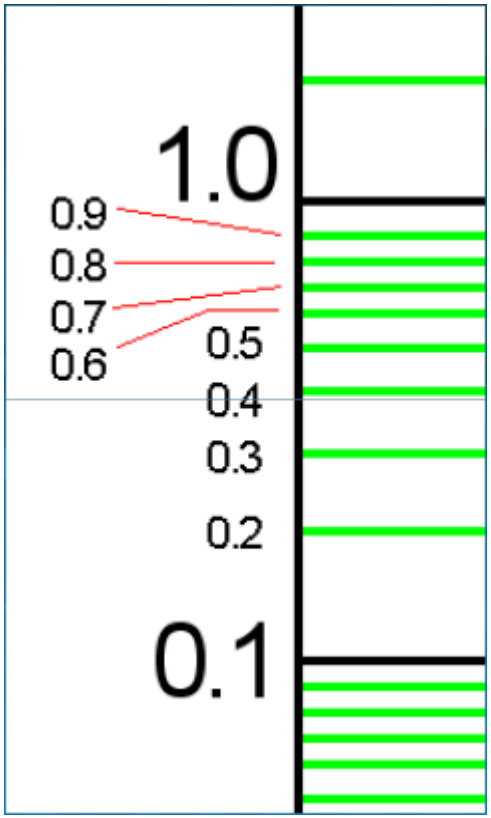
Peki y eksenindeki bu skalanın anlamı nedir ?



1 ile 10 arasına baktığımızda çok ayrıntılı değerlerin olduğunu görüyoruz.

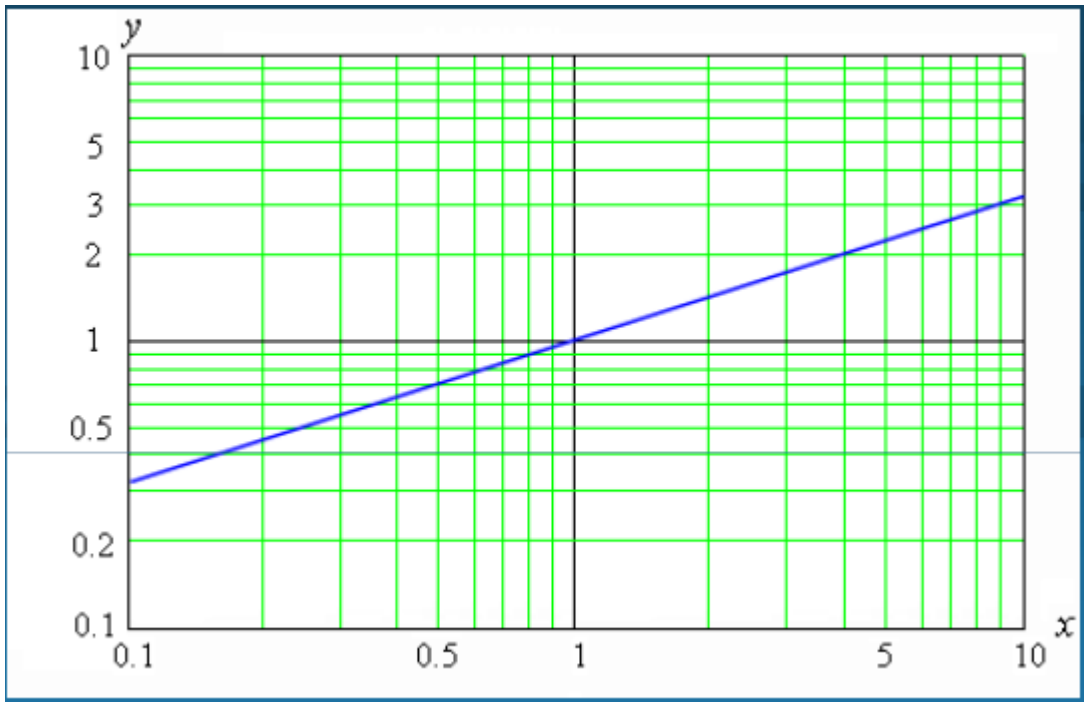
Log1=**0**	log2 =**0,30**	log3 =**0,47**
log4 =**0,60**	log5=**0,69**	log6 =**0,77**
log7 =**0,84**	log8=**0,90**	log9 =**0,95**
log10 =**1**		

Aynı şey 0,1 ile 1.0 arasında da mevcuttur.



log 0,1 = **-1**
log 0,2 = **-0,69**
log 0,3 = **-0,52**
log 0,4 = **-0,39**
log 0,5 = **-0,30**
log 0,6= **-0,22**
log 0,7 = **-0,15**
log 0,8= **-0,09**
log 0,9 = **-0,04**
log1.0 = **0**

Başka bir $y = x^{1/2}$ ifadesinin **Log-Log grafiği**

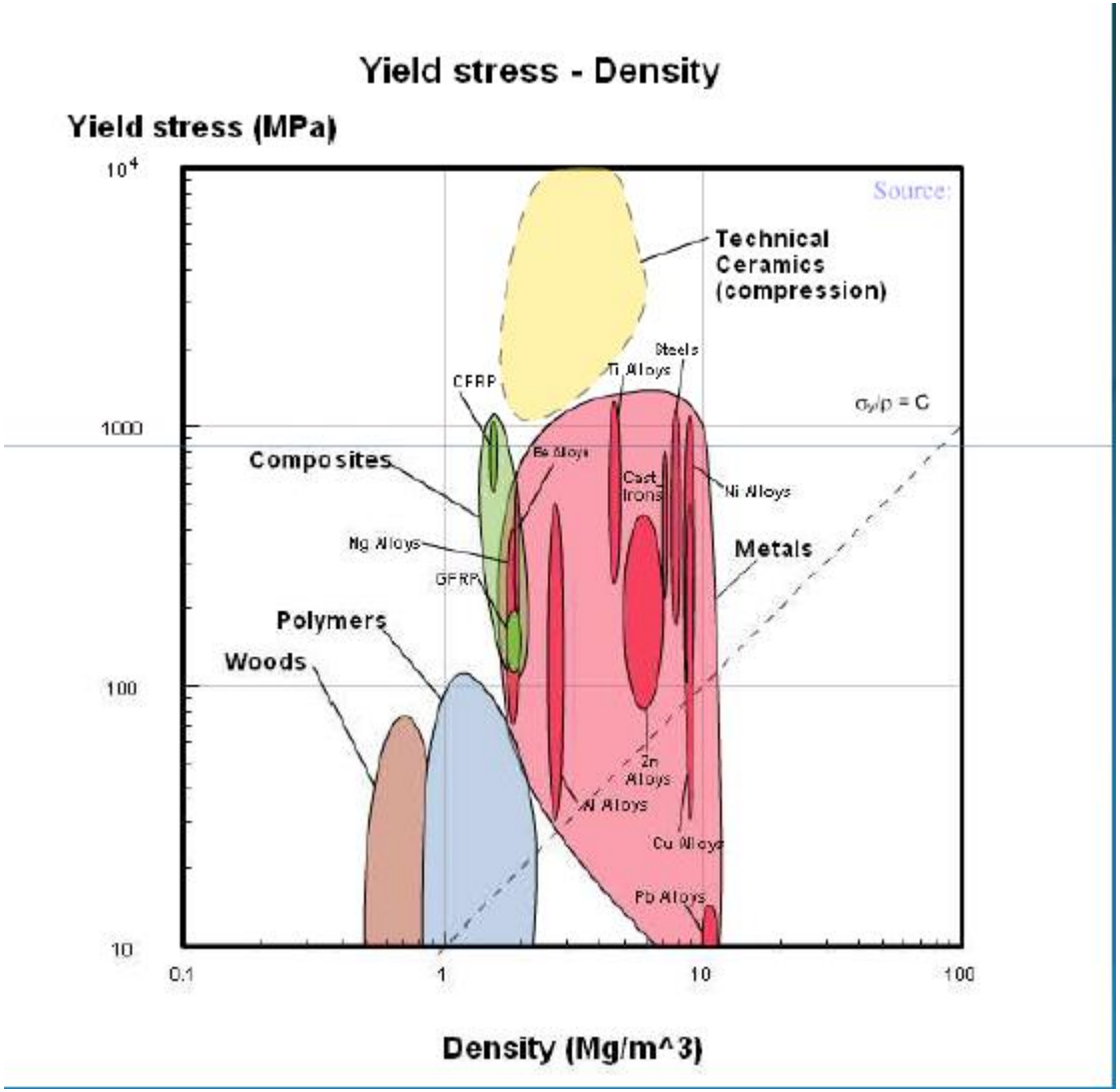


Bu grafikteki (x,y) olarak **(1,1) (4,2) (9,3)** karşılıklarına dikkat ediniz.

Malzeme seçiminde malzeme kartı niçin önemlidir?

- Malzeme kartları incelenirse pek çok malzeme özelliği **ikişer ikişer karşılaştırmalı** olarak birbirleriyle kıyaslama imkanı vardır.
- Zaten malzeme seçimi de malzemeleri birbirleriyle çok değişik açılardan kıyaslama sonucu yapılacaktır.
- Malzeme kartlarındaki özellikler **mekanik, fiziksel, kimyasal, elektrik, optik , çevre ve fiyatla olduğu gibi, imalat yöntem çeşidi, ürün şekli ile** de karşılaştırmaları kapsar.

Aşağıda örnek akma mukavemeti ile yoğunluk arasındaki malzeme özellik kartı görülmektedir.



Bu örnekte bazı malzemelerin akma mukavemeti **(σ_{ak})** için nümerik veri değerleri aşağıdadır

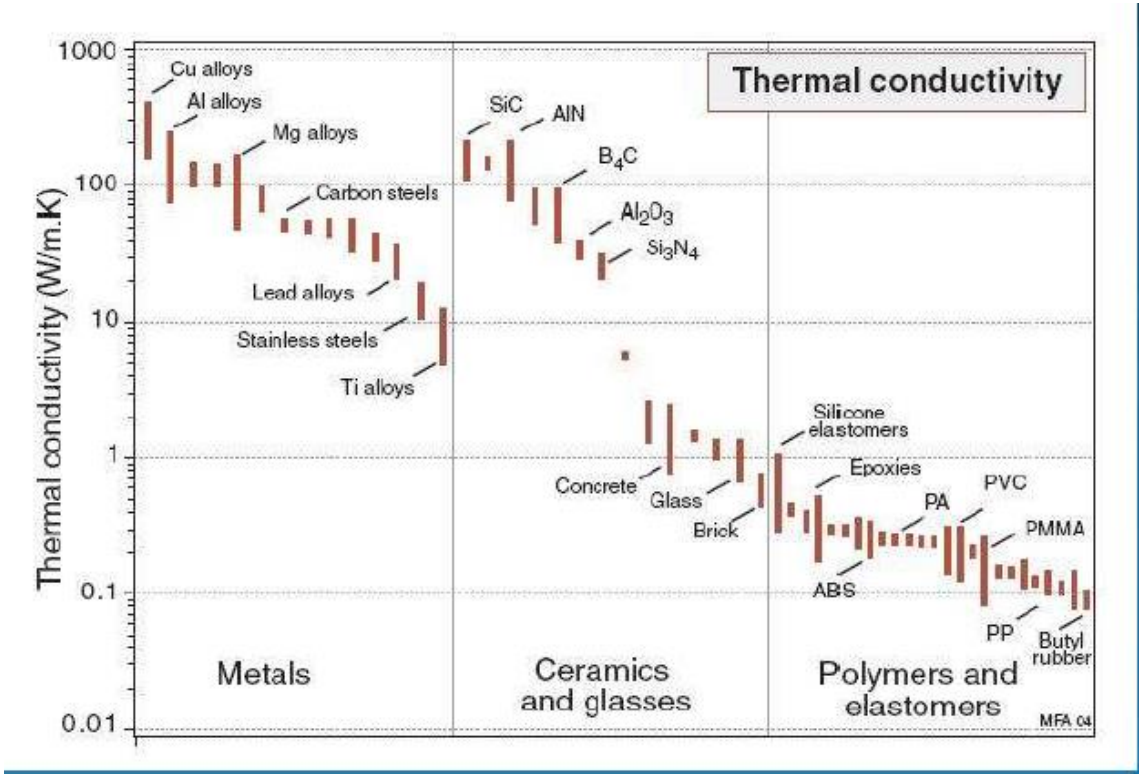
Malzeme	**Akma mukavemeti (σ_{ak}) =Mpa**
Polimerler	10- 100
Metaller	8 - 1250
C çelikleri	250 – 1200
Al alaşımları	24 - 530
Al döküm alaşımları	30 - 280
Al 6082-T6	240 - 290

Yukarıdaki rakamlar:

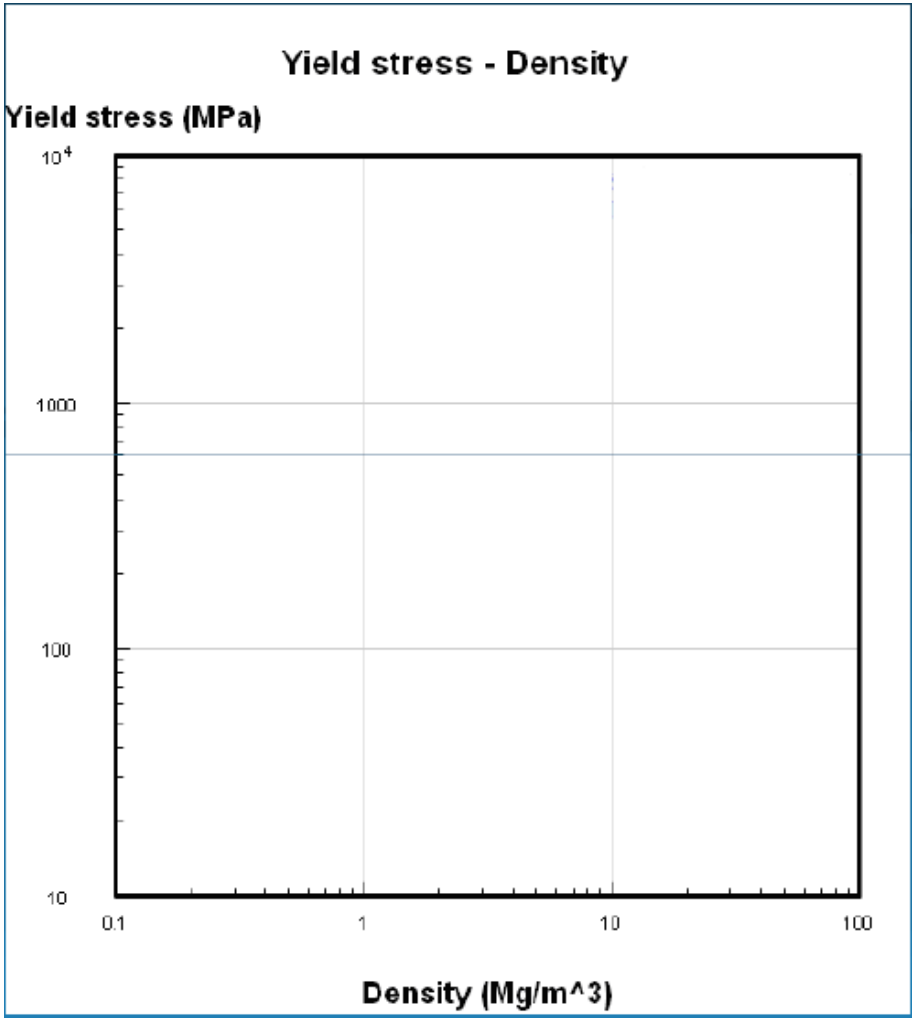
- Özelliklerin bu **“Aralık”ta** göz önüne alındığı
- Bu aralıkta tüm malzemeler için özellik değerleri 10 ve katı şeklinde
- Tasarımcılar buradan;
  - **Metaller plastiklerle** nasıl kıyaslanır?
  - **“C”çelikleri Al alaşımları ile** nasıl kıyaslanır?
  - **Al alaşımları kendi aralarında** nasıl kıyaslanır?

Bu bilgileri göz önüne alarak sorgulayacaklardır.

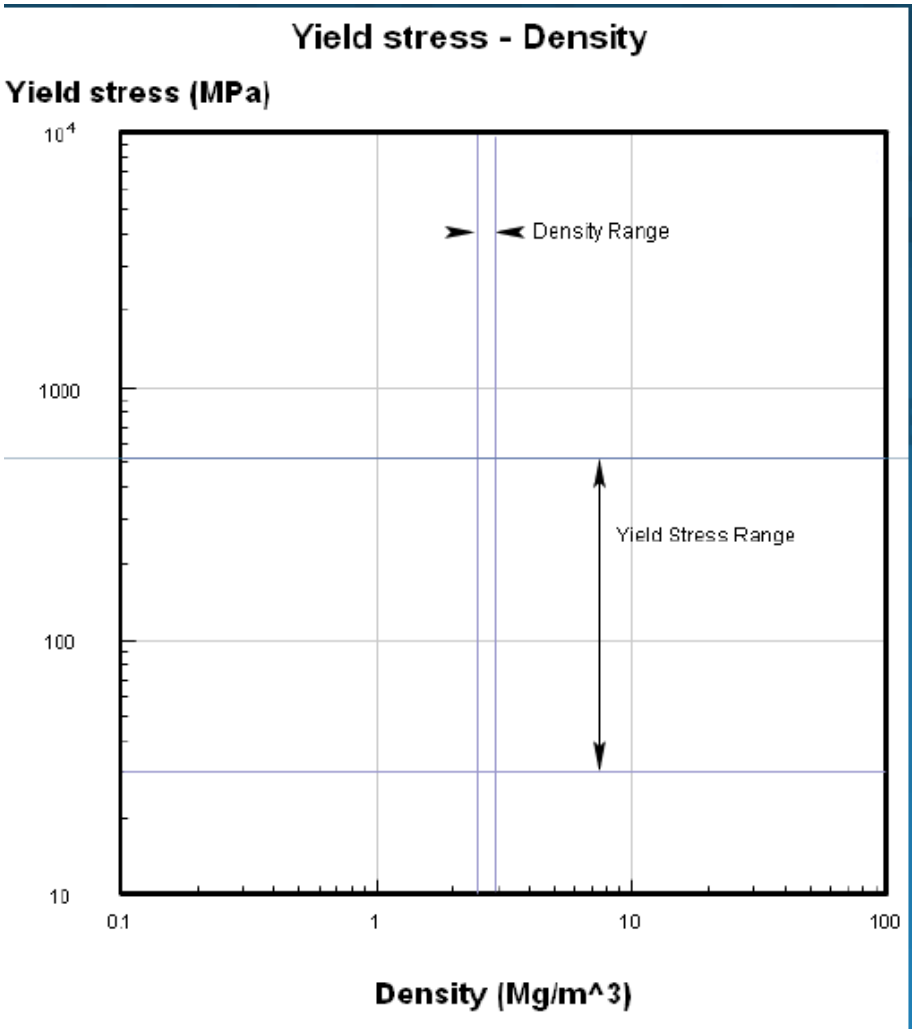
Çubuk malzeme özellik kartları da , log skalaları kullanarak yerleştirilmişlerdir. Veri aralığı 10 kat faktörünü içerir. Malzemeler kendi aralarında özellik için aynı kıyaslamalar yapılır.



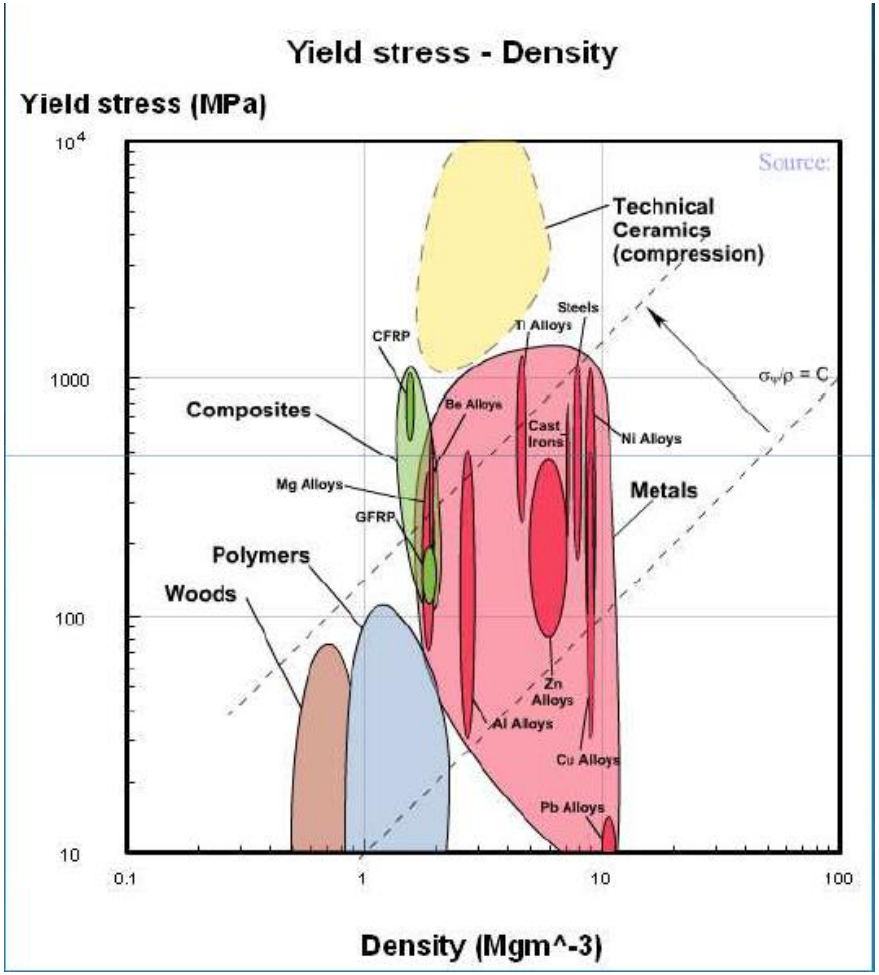
İki özellik karşılaştırmalı Malzeme Kartı yapmak için önce x ekseni sonra y ekseni log olarak bölünür.



Her bir malzeme için tek tek **yoğunluk** ve **akma gerilme** değerleri log skalası üzerine yerleştirilir.

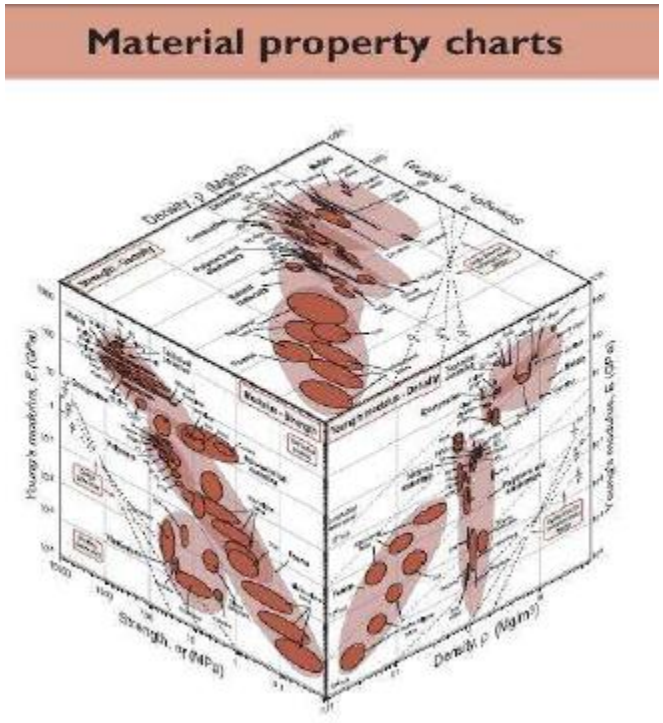


Tüm malzemeler için işlem tamamlanınca aşağıdaki şekle dönüşür.



MALZEMELERİN PERFORMANSI

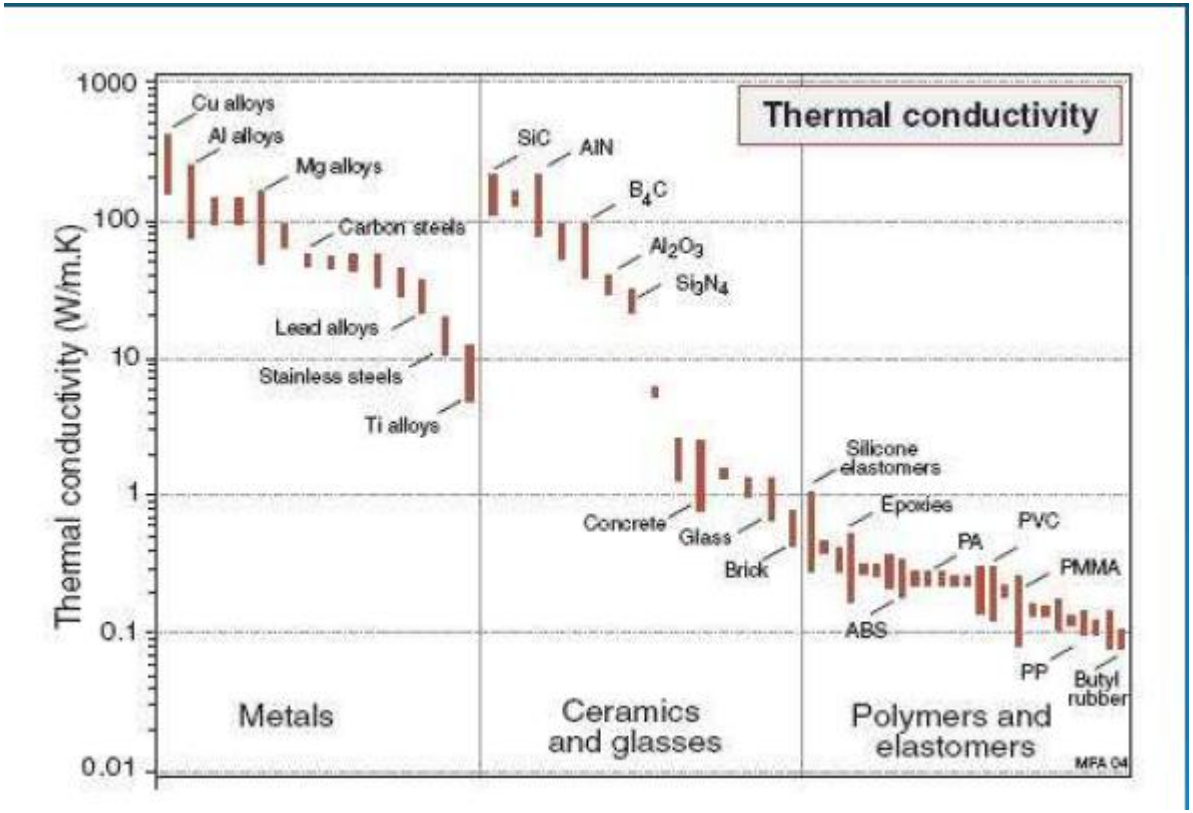
Malzemelerin özellikleri , onların performanslarını sınırlar. Bizim bu tasarımı sınırlayan özellikleri incelemeye ihtiyacımız var. Malzemelerin “tek bir özelliği” **ÇUBUK –KART** şeklinde gösterilebilir.



Ama unutmayalım ki, iş görecek bir parçanın performansı, tek bir malzeme özelliğine bağlı değildir.

ÇUBUK-KARTLAR

Aşağıda malzemelerin tek bir özelliği gösterilmiştir.



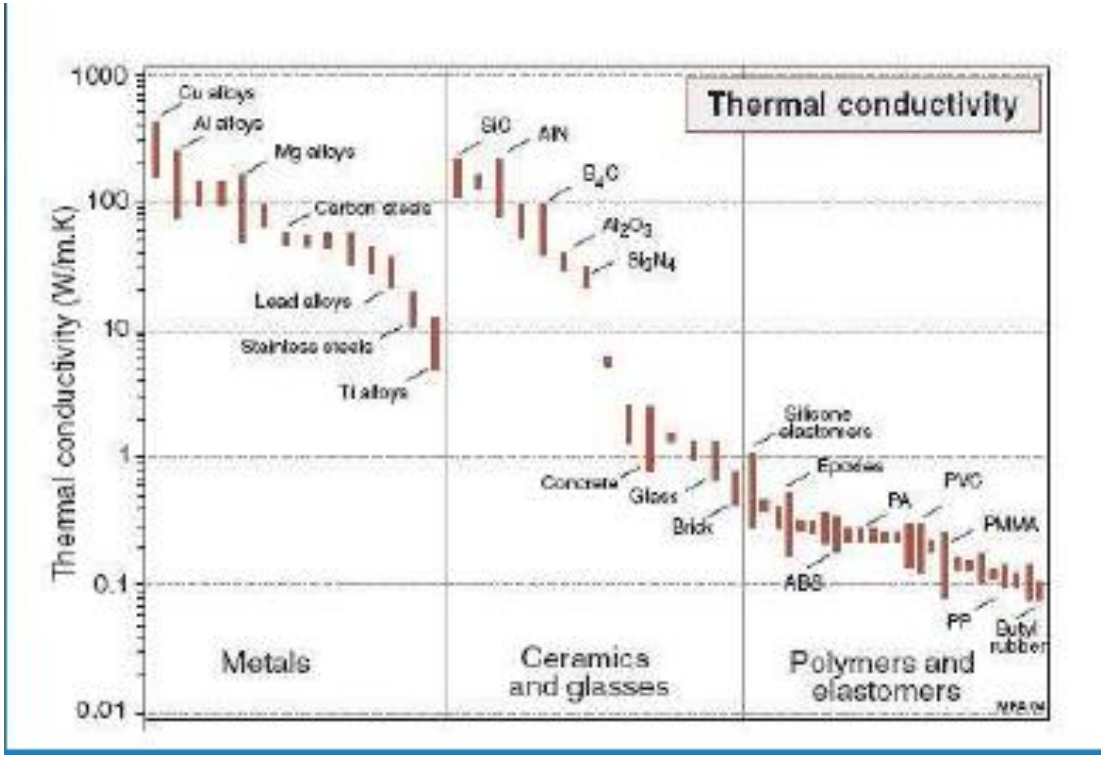
Örnek vermek gerekirse, kullanılacak parça Hafif ama mukavim bir malzeme olsun dediğimizde ; σ_f / ρ [mukavemet/öz.ağırlık] ve E/ ρ [Katılık/öz.ağırlık] bu iki özellik göz önüne alınmalıdır. Birbirlerine karşı çizilen bu "malzeme özellik kartları" pek çok açıdan faydalıdır.

Öncelikle malzeme kartlarında ;

- Tüm malzemelerin aradığımız özellikleri bir arada ve kolayca erişilecek hale getirilmiş durumdadır.
- Log.bazlı ölçekler daha fazla bilgi görüntülenmesine izin verirler.

MALZEME ÇUBUK KARTI AÇIKLAMASI

Mühendislik malzemelerinin her birinin özelliklerinin miktar olarak değerleri, birbirlerinden 5 kat veya daha fazla farklı olabilir. Aşağıdaki diyagramda malzemelerin termal iletkenlik özelliklerini incelediğinizde bunu göreceksiniz.



Burada her bir çubuk tek bir malzemeyi temsil etmektedir. Çubuğun uzunluğu da o malzemenin çeşitli form'lardaki termal iletkenlik değerinin artıp azalmasını ifade etmektedir.

Malzemeler sınıflara ayrılmışlar, ama bir arada bulunmaktadırlar.

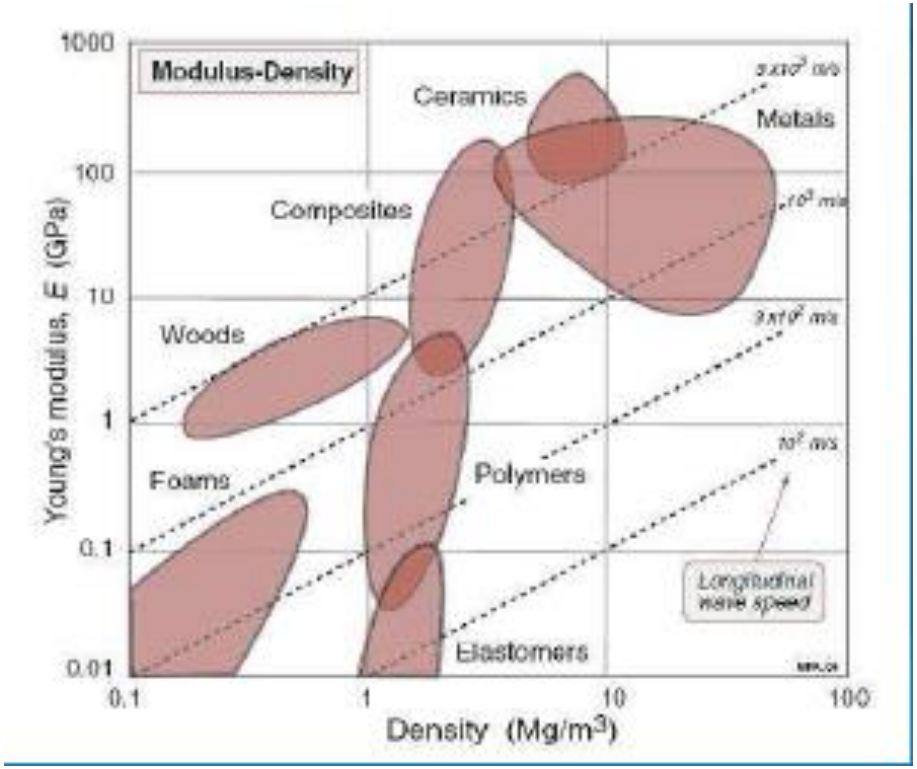
Her sınıf malzeme bu özelliğin sınırlarını belirtmektedir.

Metaller en yüksek değerleri, plastikler en düşük değerleri göstermektedirler.

Seramiklerde yüksekten düşüğe doğru epey geniş bir sahaya yayılmış durumdadırlar.

İKİ MALZEME ÖZELLİĞİ KARTI AÇIKLAMASI

Diyagram yolu ile malzeme özelliğini göstermenin ve daha fazla bilgi edinmenin yolu, ilişikteki diyagramda gösterildiği gibi iki malzeme özelliğini karşılıklı bir diyagramda göstermektir.

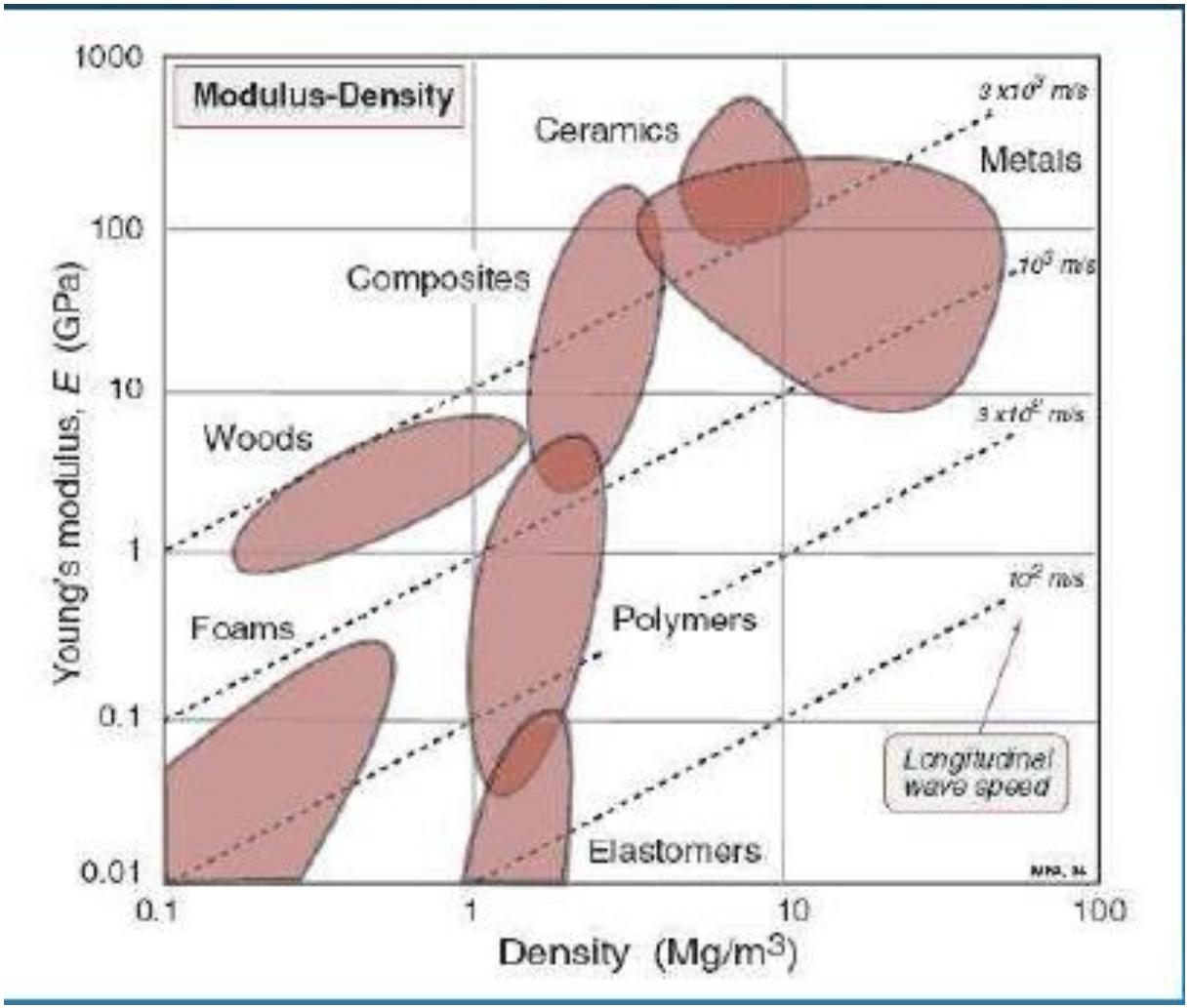


İlişikteki diyagramda (E) elastiklik modülüne karşı (ρ) yoğunluk ilişkisi logoritmik skala'da gösterilmiştir.

Eksen uzunlukları en ve filmsi köpükler gibi olan malzemeden en katı ve en ağır olan malzemeyi de içine alacak şekilde ayarlanmıştır.

Grafikte önce ana malzeme sınıfı bulunur sonra alt malzeme gruplarına bakılır.

Modül – Yoğunluk malzeme kartı



Bu diyagramı çizmek basittir. Uygun eksen ve ölçekler seçerek, diyagrama daha fazla bilgiler eklenebilir.

Katı bir malzemede ses hızı E ve ρ ya bağlıdır. Yani ,

$\nu = (E/\rho)^{1/2}$ Her iki tarafın log.sını alırsak;

$\log \nu = 1/2 \log [E /\rho]$

$2 \log \nu = \log E - \log \rho$ olur. Buradan ;

$2 \log \nu + \log \rho = \log E$ olur.

Burada ν değeri sabittir. Bu denklem (y = mx +2) gibi bir doğru denklemidir. Eğimi m=1 olan düz bir çizgi olarak çizilir.

Aynı zamanda malzeme kartına “sabit dalga hızının eş yükselti eğrilerinin” katlanarak yerleştirilmesine izin verir. Bu eğriler paralel şekilde aynı hızda uzunlamasına malzeme kartında yer alırlar.

Malzeme kartlarının hepsi, gösterilecek olan bu çeşit benzer ilişkilerin hepsinin yerleşmesine izin verirler.

Daha da ileri aşaması ;

Tasarım optimize parametrelerin den olan “Malzeme indis”leri de kartlara aynı şekilde KATLANARAK PARALEL çizilip yerleştirilir.

Mekanik ve termal özellikler arasında, hem malzemeyi karakterize etmede hem de mühendislik tasarımında birincil öneme sahip yaklaşık 30 özellik vardır. Bu özellikler bun dan önceki bölümde anlatılmıştı.

Bunlar ;

Yoğunluk, modül, mukavemet, sertlik, tokluk, termal ve elektrik iletkenlikleri, genleşme katsayıları, özgül ısı gibi özelliklerdir.

İlişikteki malzemeler için de bu özellikler birbirleriyle ilişkilendirilmişlerdir.

MALZEMELER SINIFLANDIRMALARI VE KISA GÖSTERİMLERİ

Material families and classes

Family	Classes	Short name
Metals	Aluminum alloys	Al alloys
(the metals and alloys	Copper alloys	Cu alloys
of engineering)	Lead alloys	Lead alloys
	Magnesium alloys	Mg alloys
	Nickel alloys	Ni alloys
	Carbon steels	Steels
	Stainless steels	Stainless steels
	Tin alloys	Tin alloys
	Titanium alloys	Ti alloys
	Tungsten alloys	W alloys
	Lead alloys	Pb alloys
	Zinc alloys	Zn alloys
Ceramics	Alumina	Al_2O_3
Technical ceramics	Aluminum nitride	AlN
(fine ceramics capable	Boron carbide	B_4C
of load-bearing application)	Silicon Carbide	SiC
	Silicon Nitride	Si_3N_4
	Tungsten carbide	WC
Non-technical ceramics	Brick	Brick
(porous ceramics of	Concrete	Concrete
construction)	Stone	Stone
Glasses	Soda-lime glass	Soda-lime glass
	Borosilicate glass	Borosilicate glass
	Silica glass	Silica glass
	Glass ceramic	Glass ceramic

Polymers (the thermoplastics and thermosets of engineering)	Acrylonitrile butadiene styrene	ABS
	Cellulose polymers	CA
	Ionomers	Ionomers
	Epoxies	Epoxy
	Phenolics	Phenolics
	Polyamides (nylons)	PA
	Polycarbonate	PC
	Polyesters	Polyester
	Polyetheretherkeytone	PEEK
	Polyethylene	PE
	Polyethylene terephalate	PET or PETE
	Polymethylmethacrylate	PMMA
	Polyoxymethylene (Acetal)	POM
	Polypropylene	PP
	Polystyrene	PS
	Polytetrafluorethylene	PTFE
	Polyvinylchloride	PVC

Family	Classes	Short name
Elastomers (engineering rubbers, natural and synthetic)	Butyl rubber	Butyl rubber
	EVA	EVA
	Isoprene	Isoprene
	Natural rubber	Natural rubber
	Polychloroprene (Neoprene)	Neoprene
	Polyurethane	PU
	Silicone elastomers	Silicones
Hybrids	Carbon-fiber reinforced polymers	CFRP
Composites	Glass-fiber reinforced polymers	GFRP
	SiC reinforced aluminum	Al-SiC
Foams	Flexible polymer foams	Flexible foams
	Rigid polymer foams	Rigid foams
Natural materials	Cork	Cork
	Bamboo	Bamboo
	Wood	Wood

MALZEME KARTLARI

Malzeme kartlarında herbir malzemenin herbir özelliği belli bir alanda gösterilmiştir.

Bazen bu alan dardır. Örneğin bakır için E modül değeri, onun saf oluşuna ve alaşımlı oluşuna bağlı olarak biraz değişiklik gösterir.

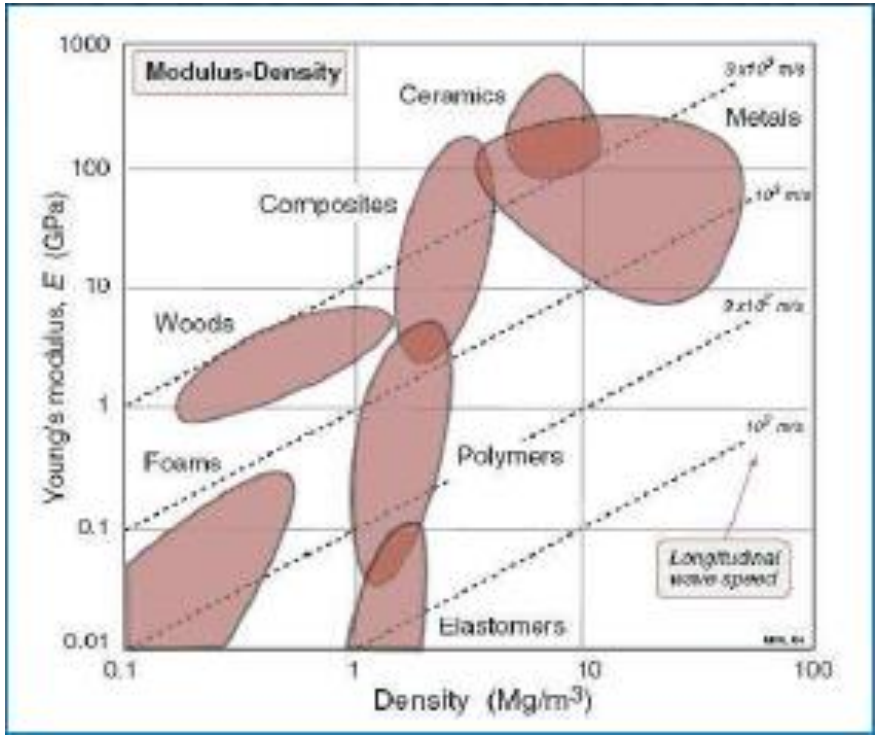
Oysa bazen bu alan çok geniştir. Örnek , Alümina -Ceramic malzemenin mukavemeti, içerisindeki porozitesi, tane büyüklüğüne ve kompozisyonuna bağlı olarak 100 veya daha fazla kat değişiklik gösterebilir.

Isıl işlemin ve mekanik şekil vermenin metallerin akma mukavemeti ve tokluğu üzerinde çok derin bir etkisi vardır.

Çapraz bağlanma ve kristalinliğin polimerin elastiklik modülü üzerinde önemli etkisi vardır.

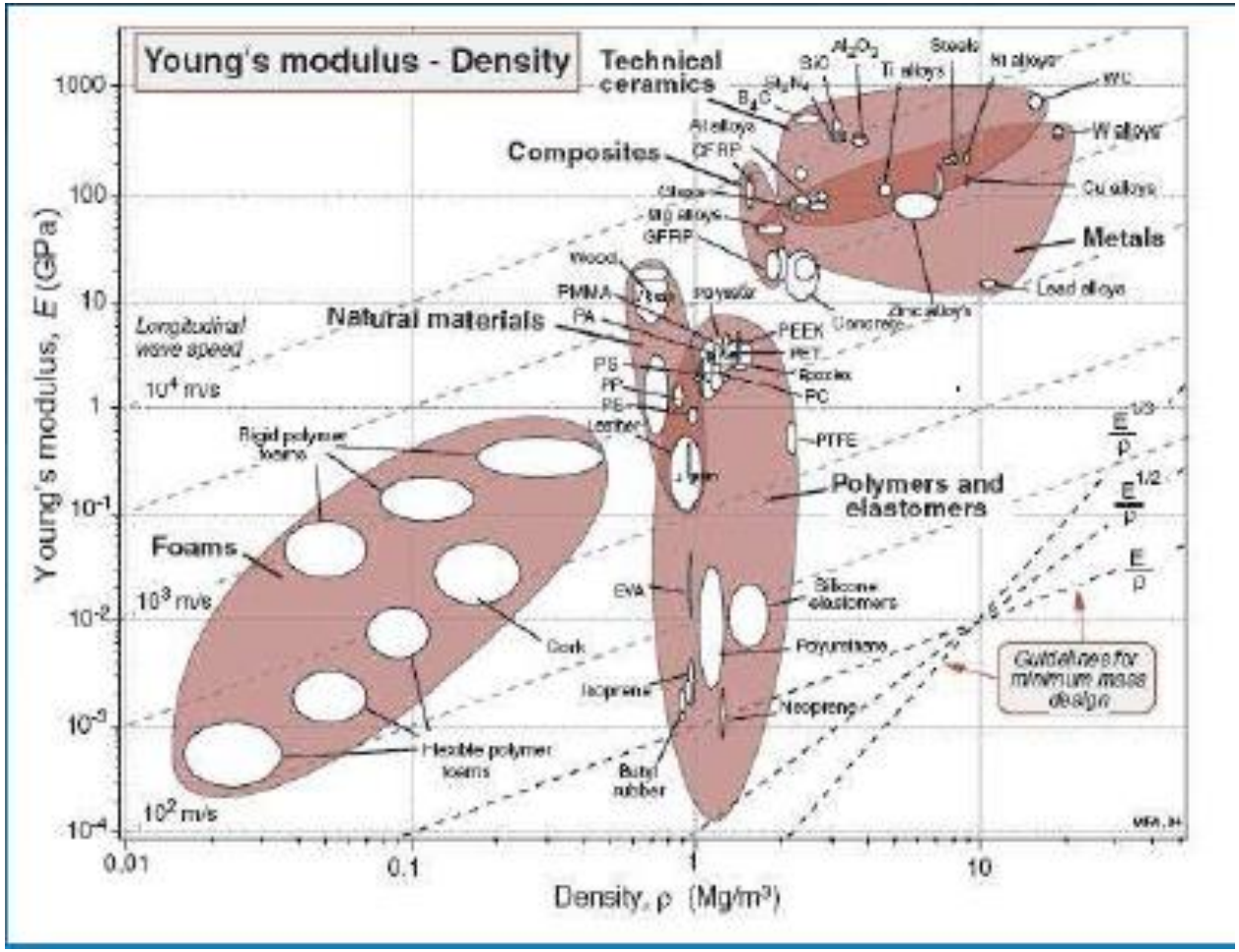
Bu yapıya bağlı özellikler kartlar üzerindeki zarflar içerisinde uzamış baloncuklar şeklinde görülmektedir.

Tek bir balon ,tek bir malzeme sınıfının özellik değerinin sınırlarını içine alır.



BAZI MALZEME ÖZELLİK KARTLARI

1. Modül-yoğunluk Malzeme Kartı



1. Modül ve yoğunluk benzer özelliklerdir. Örneği malzemeler üzerinden verirsek ; Çelik katı, lastik yumuşaktır.

Bunların böyle olması modülün (E) etkisi sebebiyledir.

2. Kurşun'un ağır, mantarın batmaz oluşu, bunların yoğunluklarının (ρ) etkisi sebebiyledir.

İlişikteki diyagramda, Mühendislik malzemeleri için (E) ve (ρ) arasındaki ilişkinin tüm sınırları gösterilmiştir.

3. Özel bir malzeme ailesinin tüm üyelerinin özellik verileri bir zarf içinde olabilir.

Aynı aile zarfları tüm kartlarda görünebilir.

Bu malzemeleri biraz önce liste halinde ana başlıkları ile gösterdik.

4. Bir katının yoğunluğu 3 faktöre bağlıdır.

1. Atomlarının veya iyonlarının atom-ağırlığına
2. Atomların boyutlarına
3. Atomların Paket yapılarına (kristaldeki dizilişlerine)

5. Atomların boyutu çok fazla değişmez.

Pek çok atom 2 .10 -29 m3 lük bir hacme sahiptir.

Kristal boyutları (paket boyutları) da fazla değişmez, 2 veya daha az kat'ları şeklinde değişir. Kapalı paketlerde katsayı 0,74 açık paketlerde (elmas kübik yapı gibi) 0,34

6. Yoğunluğun asıl yayılması atom ağırlığı sebebiyledir. Hidrojen'in 1 olan atom ağırlığı Uranyum da 238'e ulaşır.

Metaller yoğundur çünkü onlar yoğun paketli ağır atomlardan yapılmışlardır.

7. Polimerlerin yoğunlukları hafiftir, çünkü onlar atom ağırlığı 12 olan karbon ve atom ağırlığı 1 olan hidrojen den oluşmuşlardır.

Polimerler düşük yoğunlukta amorf yapılardır, veya kristalin paket yapı tarzındadırlar.

8. Seramiklerin pek çok parçası , metallerden çok daha düşük yoğunluğa sahiptirler. Çünkü seramikler O, N ve C atomları ihtiva ederler.

9. En hafif atomlar bile, en açık şekilde paketli bir kristal yapıya yaklaşık 1 Mg/ m^3 lük yoğunluk katar.

10. Daha düşük yoğunluğa sahip malzemeler köpüklerdir, ve bunlar gözenek alanı büyük hücrelerden oluşurlar.

11. Pek çok malzemenin (E) modülü 2 faktöre bağlıdır.

1. Atom bağ'ının sıkı oluşuna
2. Birim hacim başına atom bağ yoğunluğuna

Bağ yay gibidir. Yay'ın bir sabiti vardır.(S) Young modülü E kaba bir şekilde ;

$E = S / r_0$ Burada r_0 atom boyutudur.

(r^3 ortalama atom veya iyon hacmidir)

Modülün geniş alana yayılması , büyük ölçüde S değerinden kaynaklanır. Çünkü kovalent bağ'ın sınırları

S = 20 – 200 N/m arasında değişir.

Metalik ve iyonik bağ'lar biraz daha az alanda değişir.

S = 15 – 100 N/m

12. Elmas en yüksek modüle sahiptir, çünkü, karbon atom ları çok küçük boyutta (bu ise yüksek bağ yoğunluğu verir) ve elmasın atomları çok güçlü yay gibi (S = 200 N/m) bağlanmıştır.

13. Metaller elmas kadar güçlü olmasalar da, yüksek modüle sahiptirler, çünkü sıkı paket yapı yüksek bağ yoğunluğu verir ve bağlar da güçlüdür.

14. Polimerler hem elmas gibi güçlü durum sağlayan kovalent bağ'lara sahip hem de zayıf hidrojen ve Wander-walls (S= 0,5-2N/m) bağlarına sahiptir.

Plastik gerildiği zaman düşük modül vermesi zayıf bağlar sebebiyledir.

En zayıf bağla bağlı (S=0,5 N/m) büyük yarıçaplı atomlarda (r_0 = 3.10 -10 m) bile kaba modül değeri ;

$E = (0{,}5 / 3.10^{-10}) \cong 1$ GPa

Bu gerçek katı malzemeler için en düşük limit'tir.

Malzeme kartı, bundan daha düşük malzemeleri bile göstermektedir. Bu malzemeler ya elastomerler veya köpüklerdir.

Elastomerler düşük E ye sahiptir, çünkü zayıf olan ikincil bağ'lar uzun zincir moleküllerinde çok zayıf karışık entropik geri getirme kuvvetleri bırakılarak erimiş olurlar. (Çünkü onların camsı-dönüşüm sıcaklığı T_g oda sıcaklığının altındadır.)

Köpükler de çok düşük E ye sahiptirler çünkü, malzeme yüklendiği zaman, (büyük yer değiştirmelere uğradığı için) hücre cidarları kolayca eğilirler.

Malzeme kartları, mühendislik malzemelerinin modüllerini 70 kat farkla gösterirler.

0.0001 GPa dan (çok düşük yoğunluklu köpükler)

1000 GPa kadar (Elmas'a)

Yoğunluktaki fark ise 2000 çarpanı kadardır. En düşüğü olan 0,01 den 20 Mg/m3 e kadar.

Seramikler çok katıdırlar, metaller biraz daha az katıdırlar. Ama seramiklerin hiçbirisinin modülü 10 GPa'dan az değildir.

Polimerler, zıt bir şekilde hemen hepsi 0,8-8 Gpa arasındadırlar. Bundan daha düşük modüle sahip olmak için malzemenin ya elastomer yada köpük olması gerekir.

Log.bazlı ölçekler daha fazla bilgi görüntülenmesine izin verirler.

Daha önce de açıklandığı gibi,bir malzemedeki elastik dalga hızı ve o malzemeden yapılmış bir parçanın tabii titreşim frekansı $(E/\rho)^{1/2}$ şeklinde orantılıdır

Bu miktar kart üzerine çizdirilir. Bu hız, 50 m/s (yumuşak elastomer) den biraz daha fazla olan 104 m/s (katı seramik) kadar değişir.

15. Aluminyum ve cam'a dikkat etmeliyiz. Zira, onların düşük yoğunluklarına rağmen dalgaları hızlı bir şekilde iletirler.

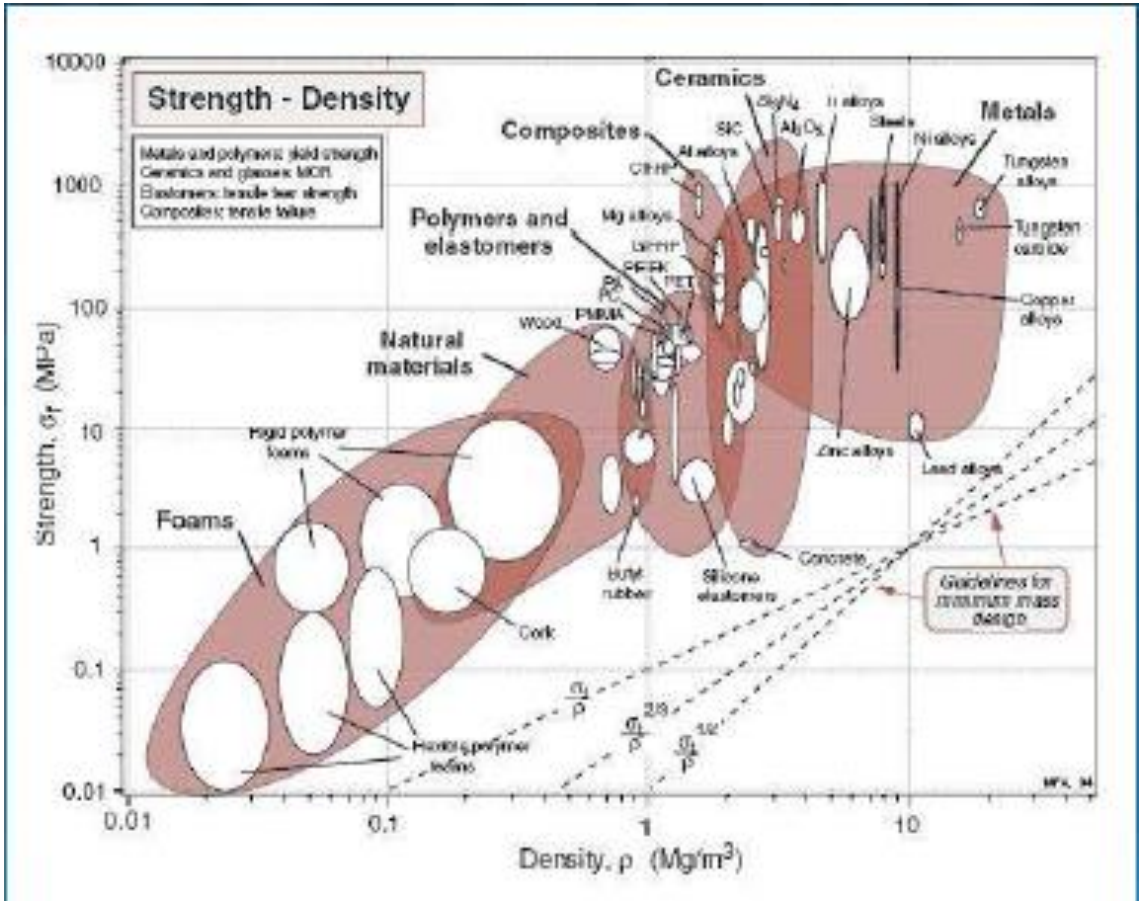
Köpüklerinde düşük yoğunlukları sebebiyle dalga hızlarının düşük olduğunu sanılır. Oysa, düşük yoğunluk daima denge sağlar.

Ağaç'tada enine hız düşük, ama boyuna olunca çelikteki gibi yüksektir.

Bu kartlar, kütlenin minimize edildiği uygulamalar için malzeme seçiminin en genel problemlerinde yardımcı olur.

2. Mukavemet – Yoğunluk Malzeme kartı

Bir katının modülü net bir değer iken mukavemet böyle değildir.



1. Metaller ve plastikler için akma mukavemeti (σ_{ak}) önemli iken, bazı malzemeler için max. Çekme mukavemetine ($\sigma_{çek}$) kadar mukavemet alanı genişletilir.

- Seramikler için basmada kırılma çok önemlidir.

  Çekme dayanımı 15 kat küçük olduğundan önemsizdir.

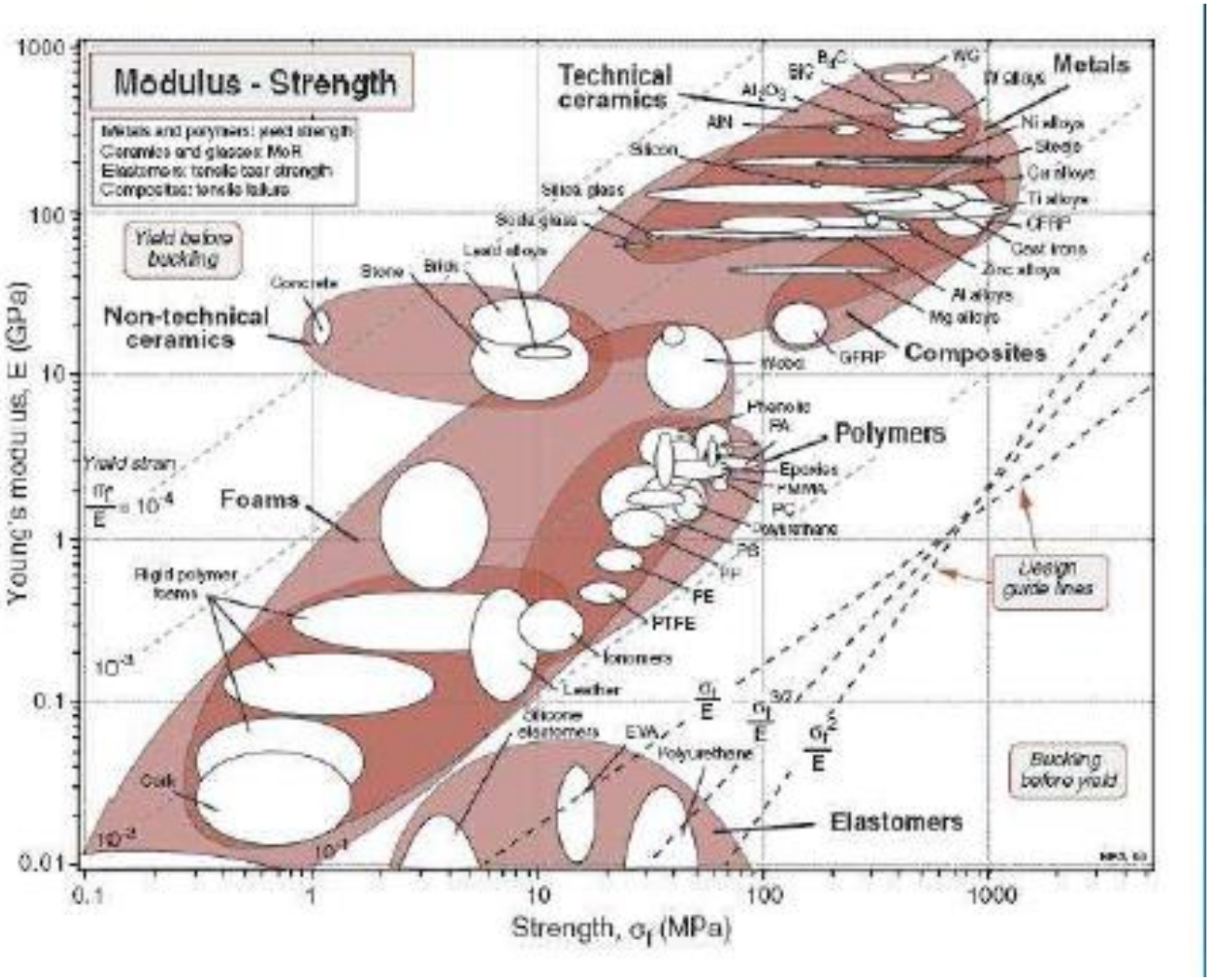
- Elastomerler için mukavemet , yırtılma mukavemetidir.
- Kompozitlerde çekmede hasar gerilmesi önemlidir.
- Uzamış baloncuk şeklindeki Bir Malzeme Grubu'nun dikey yada yatay uzantısı ,

  - Alaşımlama derecesi
  - deformasyon sertleşmesi
  - Tane boyutu ve gözeneklilik sebebiyle dir.

2. Bu kart , köpüklerin mukavemeti olan 0.1 MPa ile Elmasın mukavemeti 10^4 MPa arasında , beş değişik farklı alanı içermektedir.

- Seramiklerin mukavemetleri yüksektir.
- Metallerin içindeki dislokasyon hareketleri sebebiyle mukavemetleri değişiktir.
- Atomlararası bağ kuvvetlerine bağlı olarak mukavemet değişiklik gösterir. Mesela polimer'lerdeki vander-wals bağları sebebiyle mukavemetleri zayıftır.
- Metal ve polimerler için akma mukavemeti
- Seramikler için basma mukavemeti
- Elastomerler için yırtılma mukavemeti ve kompozitler için çekme mukavemeti önemlidir.

3. Modül –Mukavemet Malzeme Kartı



1. Modül net bir değer ile tanımlanırken, mukavemet böyle değildir.

- Metaller ve plastikler için akma mukavemeti önemlidir.
- Pek çok pratik amaçlar için çekme ve basma mukavemetleri aynıdır.
- Kırılgan seramikler de basma mukavemeti önemli, çekme 15 kat düşük olduğundan önemsizdir.
- Elastomerler için yırtılma mukavemeti önemlidir.
- Kompozitler için çekmede hasar mukavemeti önemlidir.

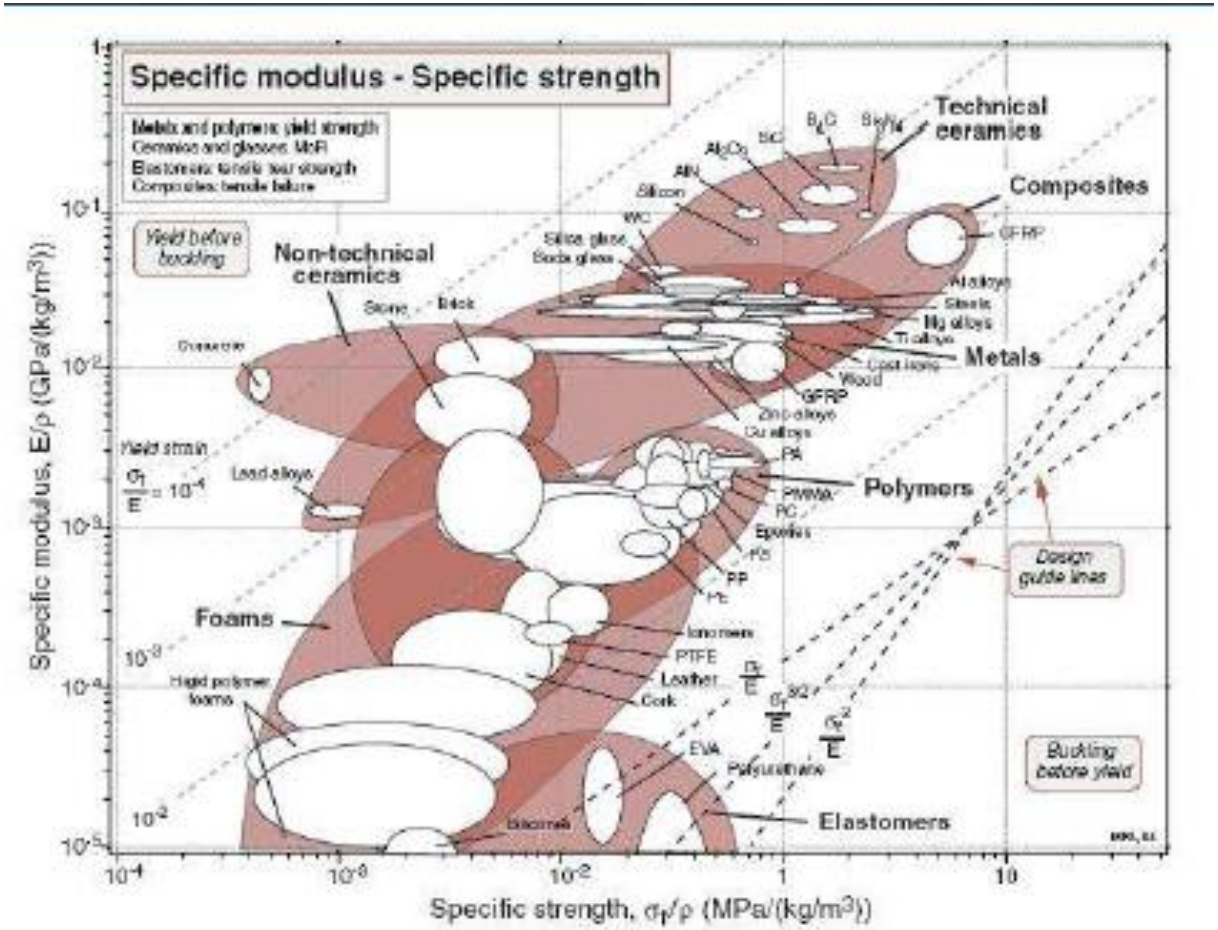
2. Herhangi bir malzeme için mukavemet kabarcığı büyük ise, bunun sebebi, alaşımlama derecesi, def. sertleşmesi, tane boyutu, gözeneklilik gibi sebepler yüzündendir.

- Mukavemet alanı 0,1 MPa ile köpüklerde görülürken, 10^4 MPa ile elmasta görülmesi arasında 5 onluk büyüklük farkı oluşmuştur. Bu kadar fark plastik kaymaya karşı kafes direncinden dolayıdır.
- Metaller yumuşaktır, metalik bağ dislokasyon hareketlerine az engel olur, seramikler sert'tir, lokal kovalent ve iyonik bağ'ları, dislokasyonların kilitlendiği yerde kırılırlar.

3. Plastiklerde zincirin kayması zayıf bağları (vander-wals bağ kuvvetleri) kırıyorsa zayıf, kimyasal bağ kuvvetleri ni kırıyorsa kuvvetli olacaktır.

- Kafes direnci zayıfsa, kayma engellenerek,alaşım elemanları ilave ederek,tane boyutları ile oynayarak def. sertleşmesi yaparak, plastiklerde çapraz bağlanma yaparak malzemeler mukavim yapılırlar.
- Kafes direnci yüksek ise, ilave sertleştirme gereksizdir.

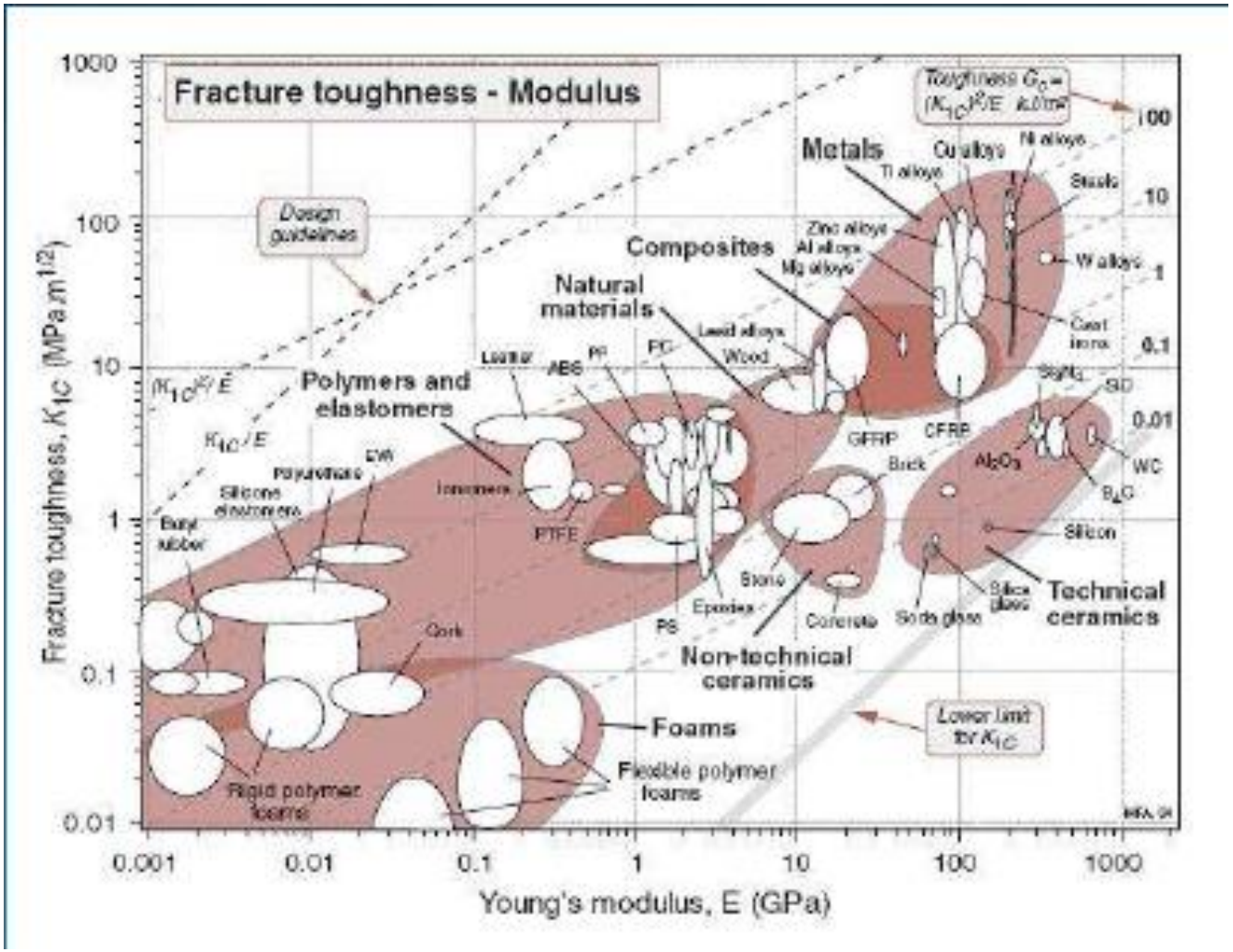
4. Spesifik rijitlik (modül) – Spesifik Mukavemet Malzeme Kartı



1. Pek çok tasarımcı rijitlik ile mukavemeti minimum ağırlıkta olsun ister.

- Seramikler diyagramın üst sağ köşesindedir. Ama verileri basma mukavemeti içindir.
- Kompozitlerin spesifik özellikleri çok caziptir ve uzay endüstrisinde kullanılırlar.
- Metaller ise yüksek yoğunlukları sebebiyle bu özelliklerde cazip değildirler.
- Polimerler düşük yoğunlukları sebebiyle tercih edilirler.

5. Kırılma Tokluğu-Modül Malzeme kartı



1. Polimerlerin kırılma tokluğu, seramiklerin kırılma tokluğundan düşüktür.

2. Ama buna rağmen seramiklerin gevrek olmasından dolayı çok dikkat etmek gerekir.

3. K_{IC} değerleri küçük olduğu zaman malzemeleri tanımlamak çok iyi ama büyük oldukları zaman malzeme seçiminde önemli olacaklardır.

4. G, elastik enerji yayma hızıdır. $G > (2E\gamma)^{1/2}$

$K > (2E\gamma)^{1/2}$ şeklinde hesaplanır. Burada γ modül olarak ölçeklenir ve çok önemlidir.

$\gamma = r_0/20$

Burada r_0 atom boyutudur. Buradan istifade ile ,

$K \geq E\,(r_0/20)^{1/2}$

Bu denklemin sağ tarafında K_{Ic} nin alt sınır değeri,

$r_0 = 2 \times 10^{10}$ m alınarak

$(K_{Ic})_{min} / E = (r_0/20)^{1/2} = 3 \times 10^{-6}\ \sqrt{m}$

Bu kriter çapraz bant ile alt sağ köşede gölgeli olarak çizilmiştir. Bu bant K_{Ic} değerlerinin alt sınırını belirtir.

5. Pek çok kırılgan seramik eşiğe yakın yerde yer alır.

6. Metaller, polimerler ve kompozitler kırıldıkları zaman, genellikle çatlak yayılması ile ilgili plastisiteden (kalıcı şekil değiştirme) dolayı absorbe edilen enerji çok büyüktür.

7. Diyagramda gösterilen G_{IC} tokluk çizgileri, görünen kırılma yüzeyi enerjisinin ($G_{IC} \approx K_{IC}^2 / E$) bir ölçümüdür.

8. Katıların gerçek yüzey enerjileri $\gamma = 10^{-4} – 10^{-3}$ KJ/m^2

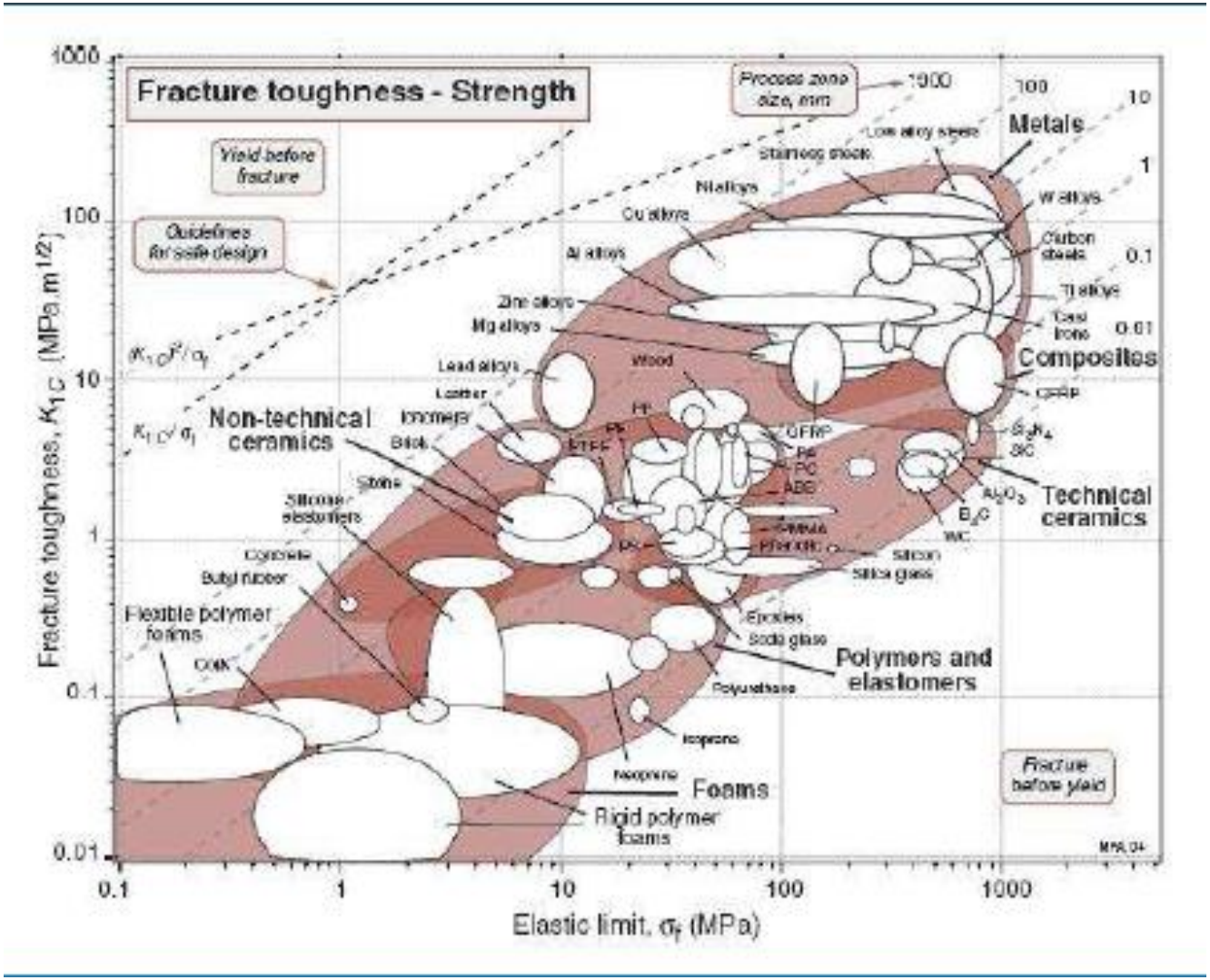
9. Tokluk değerleri 10^{-3} KJ/m^2 de başlıyor. 10^3 KJ/m^2 ye kadar devam ediyor.

10. Bu ölçekte seramikler (10^{-3} ile 10^{-1} KJ/m^2) ye kadar

11. Polimerler (10^{-1} ile 10 KJ/m^2)lerden çok küçüktürler.

Bu polimerlerin seramiklerden daha fazla kullanılmasının bir sebebidir.

6. Kırılma Tokluğu–Mukavemet Malzeme Kartı



1. Çatlağın ucundaki gerilme yoğunluğu ,

- Sünek katılarda plastik bir bölge olarak,
- Seramiklerde mikroçatlama bölgesi olarak,
- Kompozitlerde delaminasyon-tabakalar arası ayrılma, debonding (yapışmanın sökülmesi) ve fiber çekilme bölgesi

2. Bu gerilme yoğunluğu bölgesi (dy) içinde plastik ve sürtünme kuvvetlerine karşı iş yapılır. Bu iş ölçülen G_{IC} kırılma enerji ile gerçek yüzey enerjisi 2γ arasın daki farkı gösterir. Malzeme mukavemeti (σf) alınırsa $r = d_y /2$

Gerilme alanı denklemi $\mathbf{d_y = K^2_{IC} / \pi.\sigma_f}$

3. Bu diyagramda bölge boyutu (dy) nin çok kırılgan seramikler ve camlarda atomik boyutlardan, çok sünek metaller için hemen hemen 1 m ye kadar çok fazla değiştiğini gösterir. Sabit bir bölge boyutunda, kırılma tokluğu (beklendiği gibi) mukavemet ile artma eğilimi gösterir. Onun için diyagramın köşegeni civarında kümelenmiştir.

4. K_{IC} ye karşı σ_f çizilmiştir.

Mukavemet olarak ,

a)- metaller ve polimerler için σ_{ak}

b)-Seramikler ve camlar için σ_b

c)-Kompozitler için $\sigma_{çek}$

Diyagramda ;

$(K^2_{IC} / \pi\sigma_f)$ çizgileri, çatlak ucundaki bölgenin çapını gösterir. Tasarım çizgileri, hasar tolerans tasarımı için malzeme seçiminde kullanılır Bu diyagram, yük taşıyan yapıların emniyetli tasarımı için malzeme seçimindeki uygulamalarda kullanılır.

7. Kayıp Katsayısı – Modül Malzeme Özellik Kartı

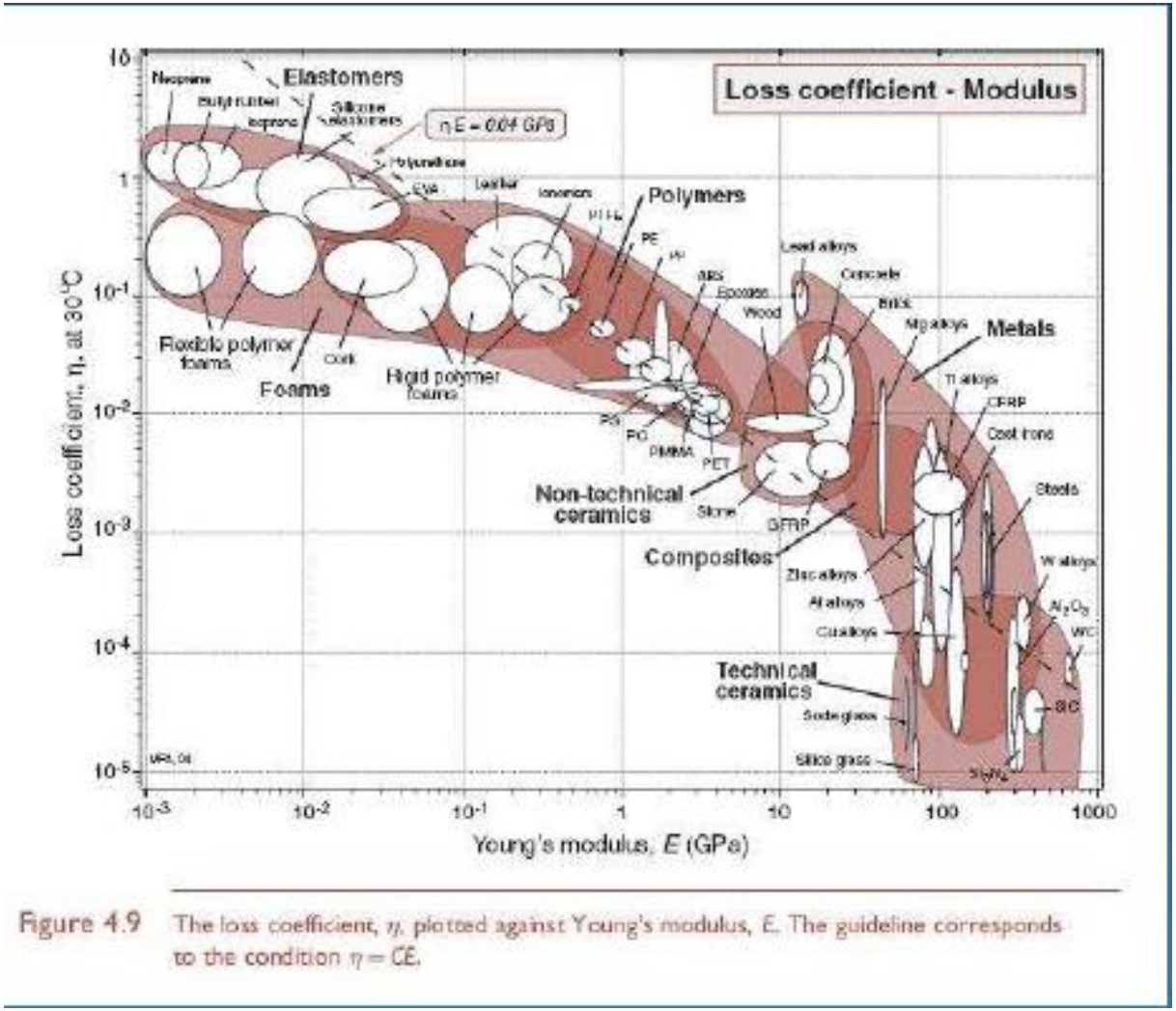


Figure 4.9 The loss coefficient, η, plotted against Young's modulus, E. The guideline corresponds to the condition $\eta = CE$.

- Metaller, camlar ve seramiklerin hepsi çalıştıkları yerlerde titreşime maruz kaldıklarında "düşük tabii sönümleme" özelliğine sahiptirler. Tabii sönümleme, kayıp katsayısı η ile ölçülür.

- Kayıp katsayısı η, titreşim enerjisini yayan malzemenin derecesini ölçer.

- Eğer bir malzemeye σ_{max} gerilmesine kadar elastik olarak yüklenirse birim hacım başına elastik bir enerji depo eder.

8. Isıl iletkenlik Katsayısı – Direnç Malzeme Özellik Kartı

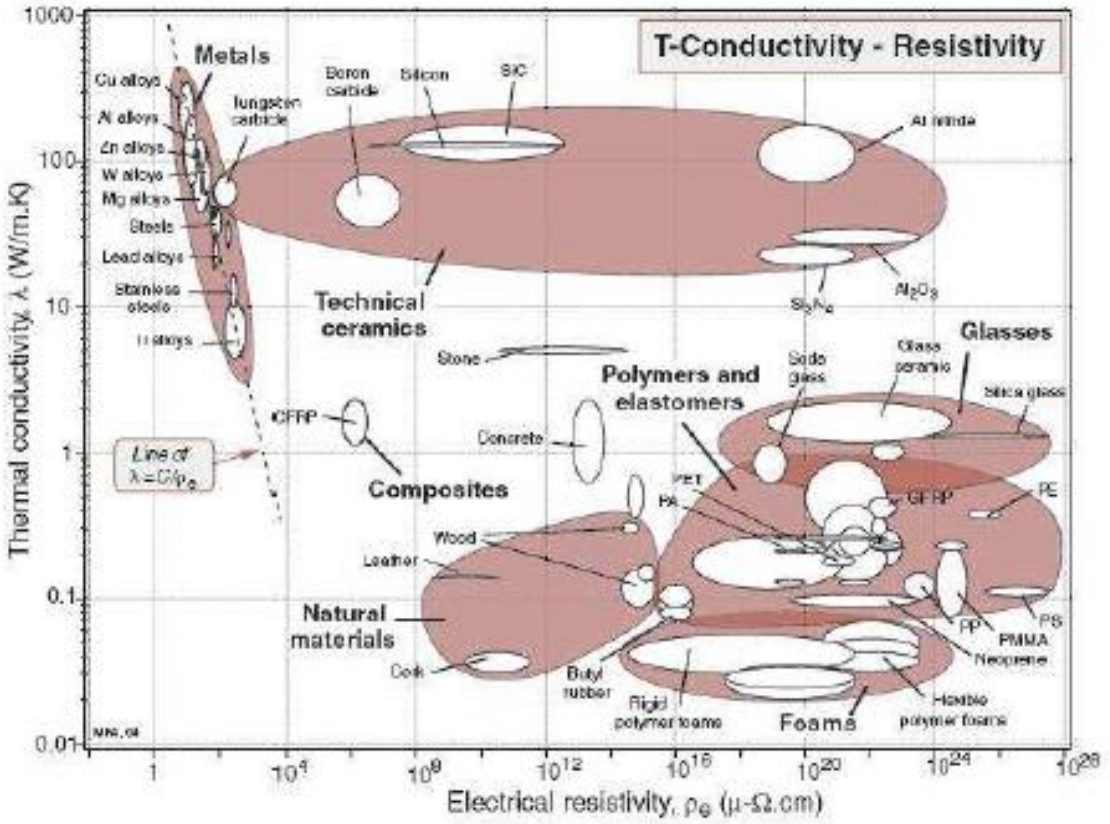


Figure 4.10 Thermal conductivity, λ, plotted against electrical resistivity, ρ_e. For metals the two are related.

9. Isıl iletkenlik Katsayısı – Isıl difüzyon Malzeme Özellik Kartı

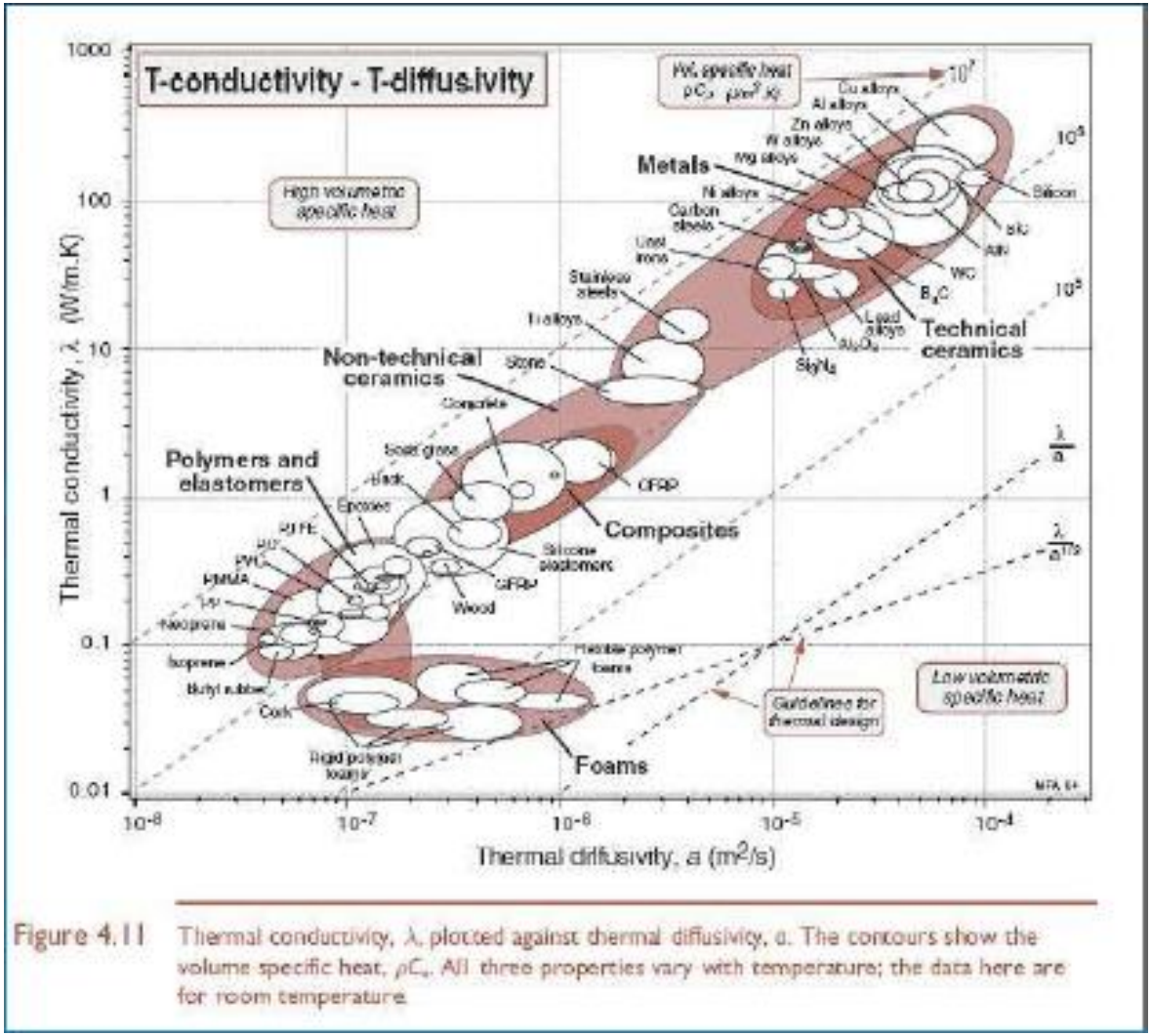


Figure 4.11 Thermal conductivity, λ, plotted against thermal diffusivity, a. The contours show the volume specific heat, ρC_p. All three properties vary with temperature; the data here are for room temperature.

10. Isıl Genleşme – Isıl iletkenlik katsayısı Malzeme Özellik Kartı

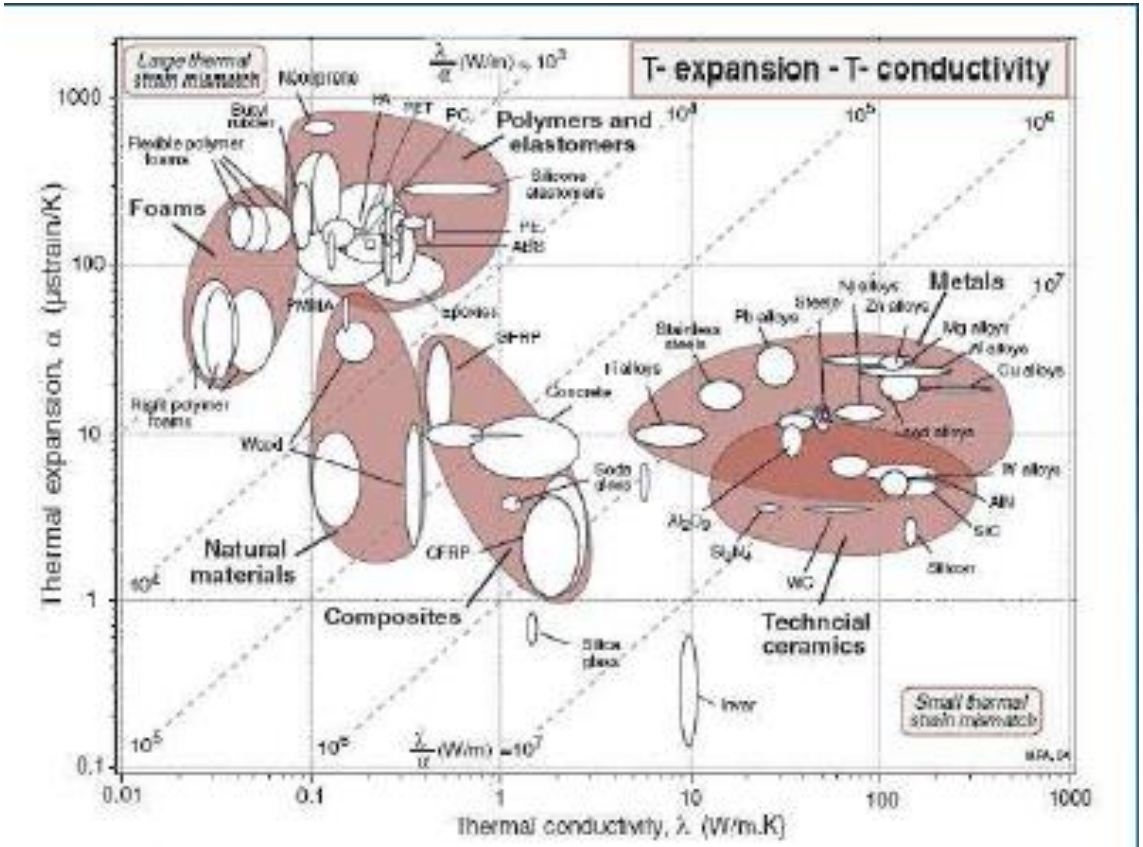


Figure 4.12 The linear expansion coefficient, α, plotted against the thermal conductivity, λ. The contours show the thermal distortion parameter λ/α. An extra material, the nickel alloy Invar, has been added to the chart; it is noted for its exceptionally low expansion at and near room temperature, useful in designing precision equipment that must not distort if the temperature changes.

11. Isıl Genleşme – Modül Malzeme Özellik Kartı

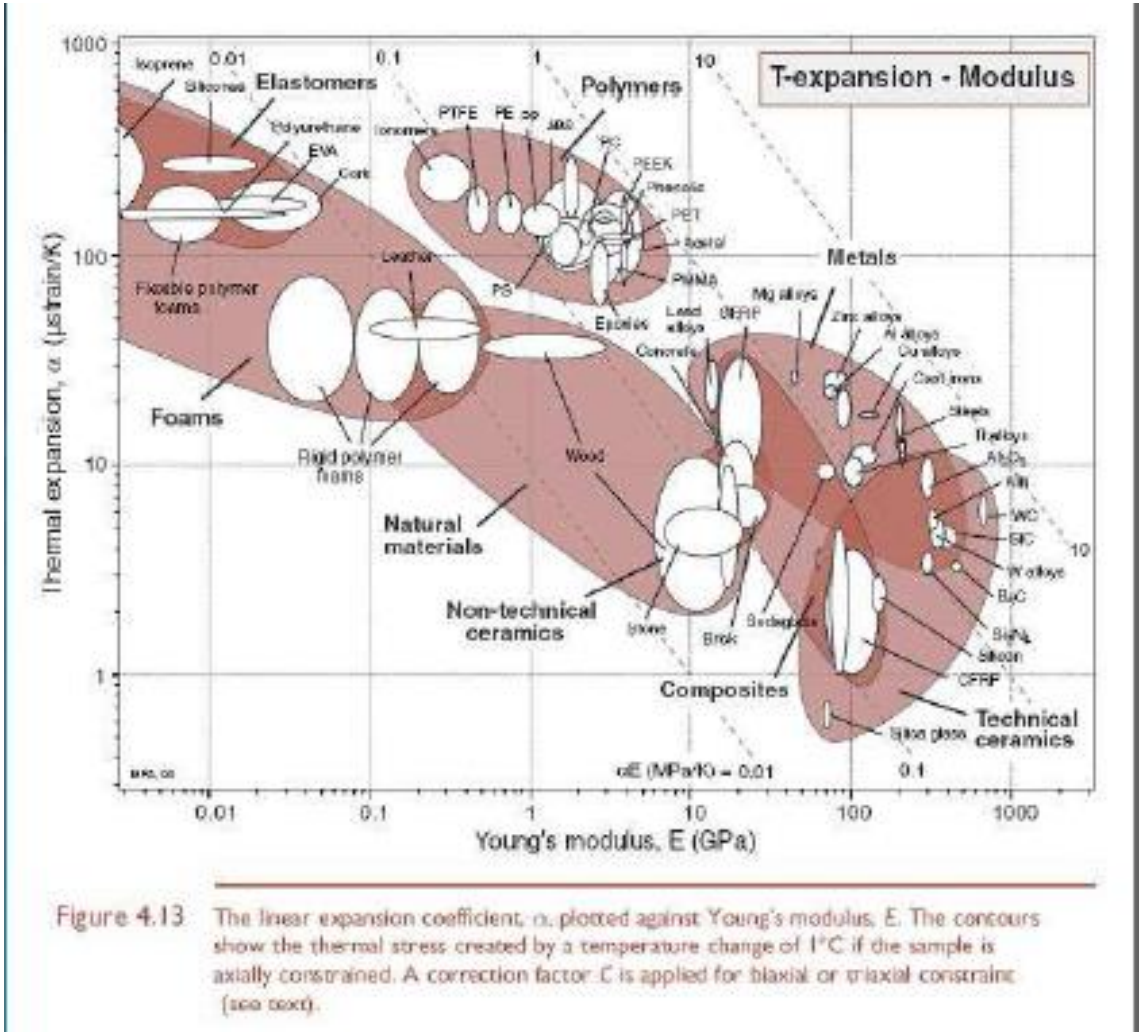


Figure 4.13 The linear expansion coefficient, α, plotted against Young's modulus, E. The contours show the thermal stress created by a temperature change of 1°C if the sample is axially constrained. A correction factor C is applied for biaxial or triaxial constraint (see text).

12. Mukavemet – Max. İşletme sıcaklığı Malzeme Özellik Kartı

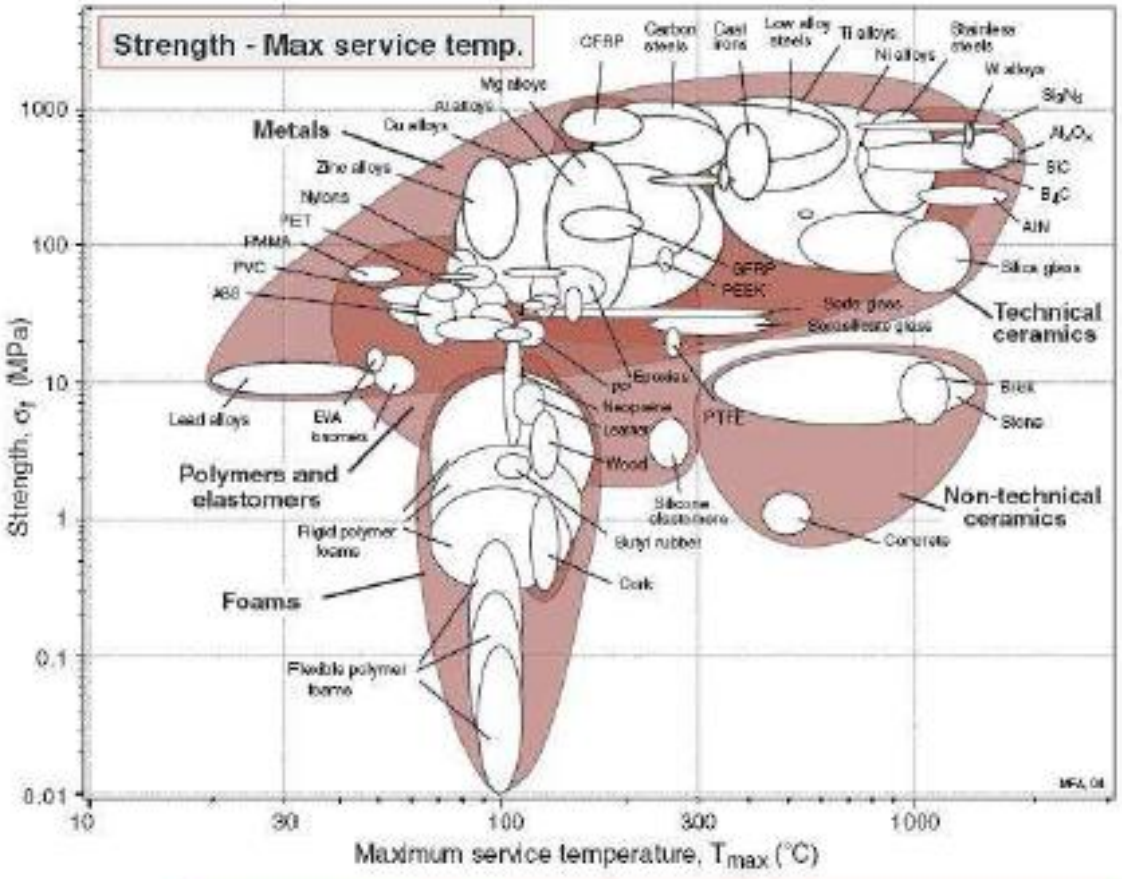
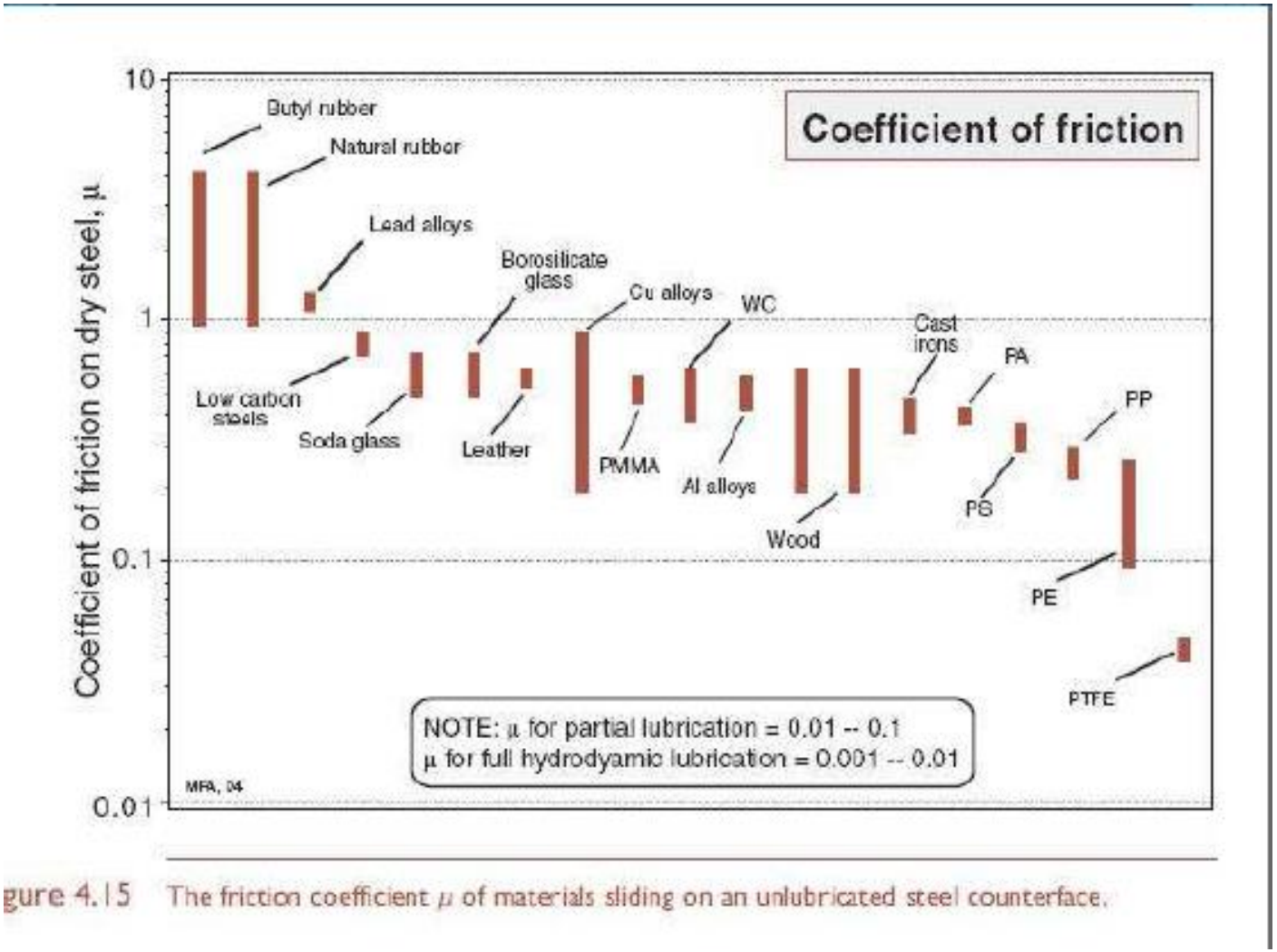


Figure 4.14 Strength plotted against maximum service temperature

13. Sürtünme katsayısı Çubuk kartı



gure 4.15 The friction coefficient μ of materials sliding on an unlubricated steel counterface.

14. Aşınma hızı – Sertlik Malzeme Özellik Kartı

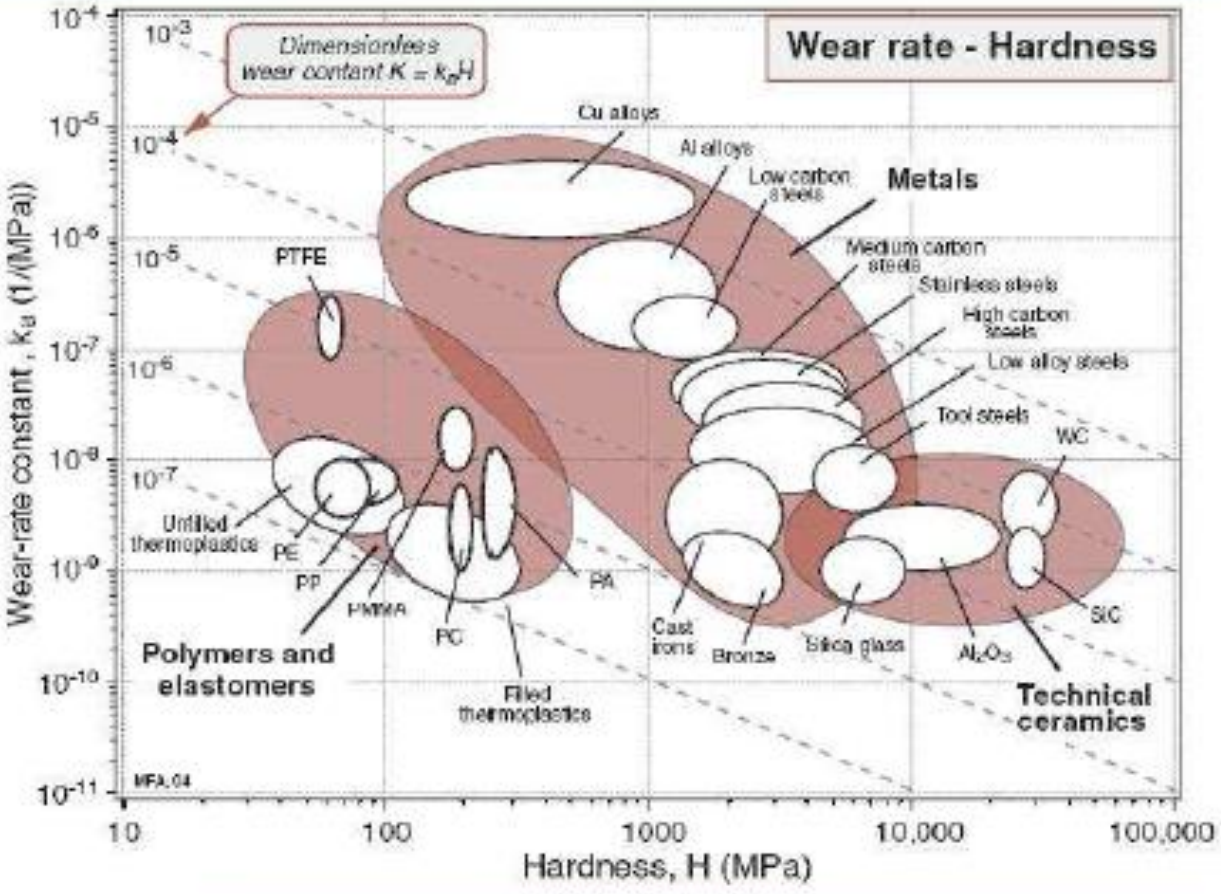
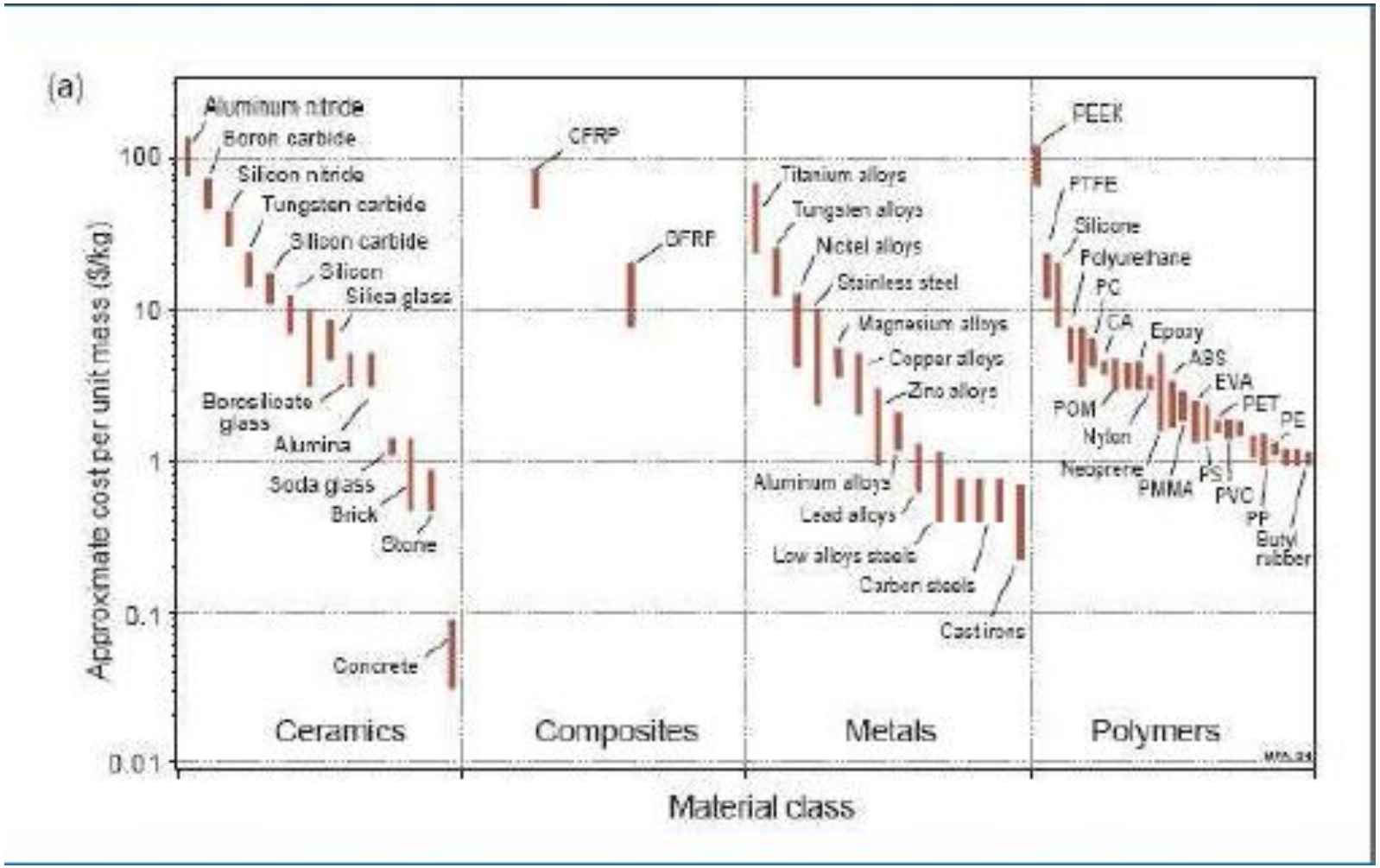


Figure 4.16 The normalized wear rate, k_a, plotted against hardness, H, here expressed in MPa rather than Vickers (H in MPa = $10H_v$). The chart gives an overview of the way in which common engineering materials behave.

15. Birim kütle başına yaklaşık fiyat Çubuk Kartı



16. Birim hacim başına yak yaklaşık fiyat Çubuk Kartı

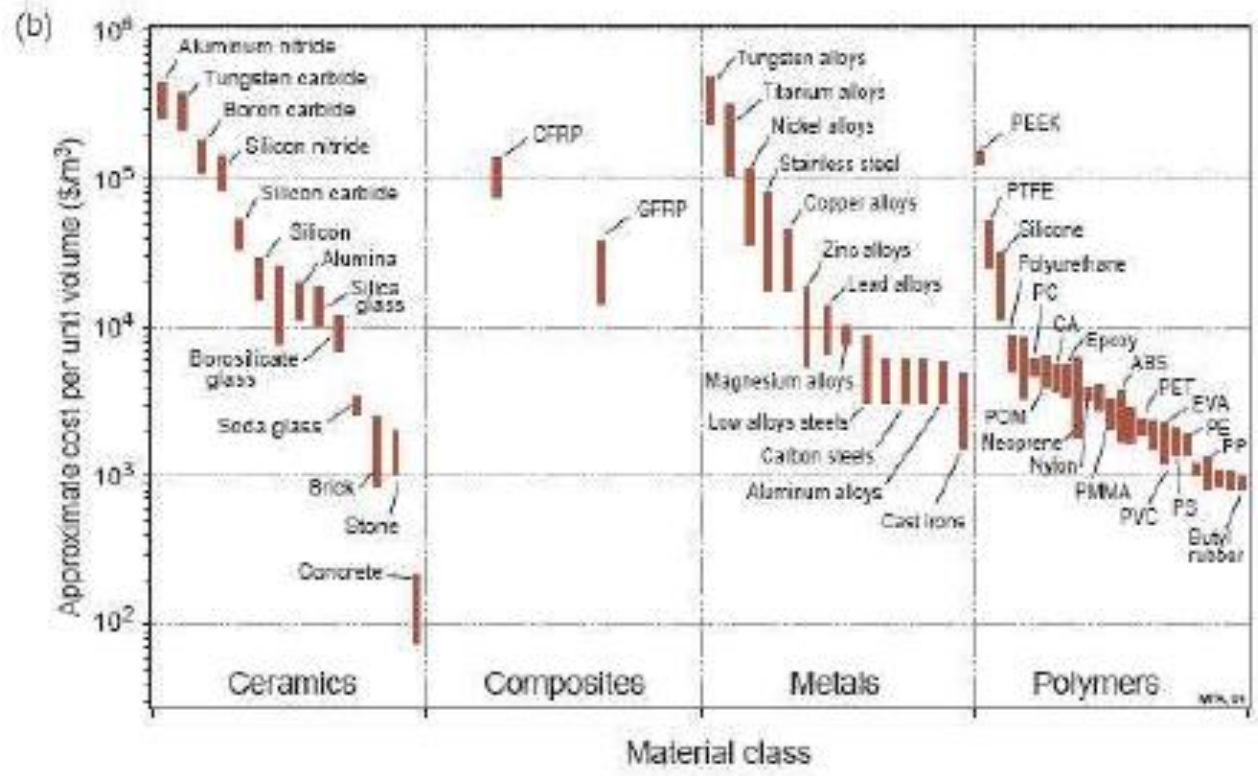


Figure 4.17 (a) The approximate cost/kg of materials. Commodity materials cost about $1/kg special materials cost much more. (b) The approximate cost/m³ of materials. Polymers, because they have low densities, cost less per unit volume than most other materials.

17. Modül -Birim hacim başına relatif fiyat Malzeme Özellik Kartı

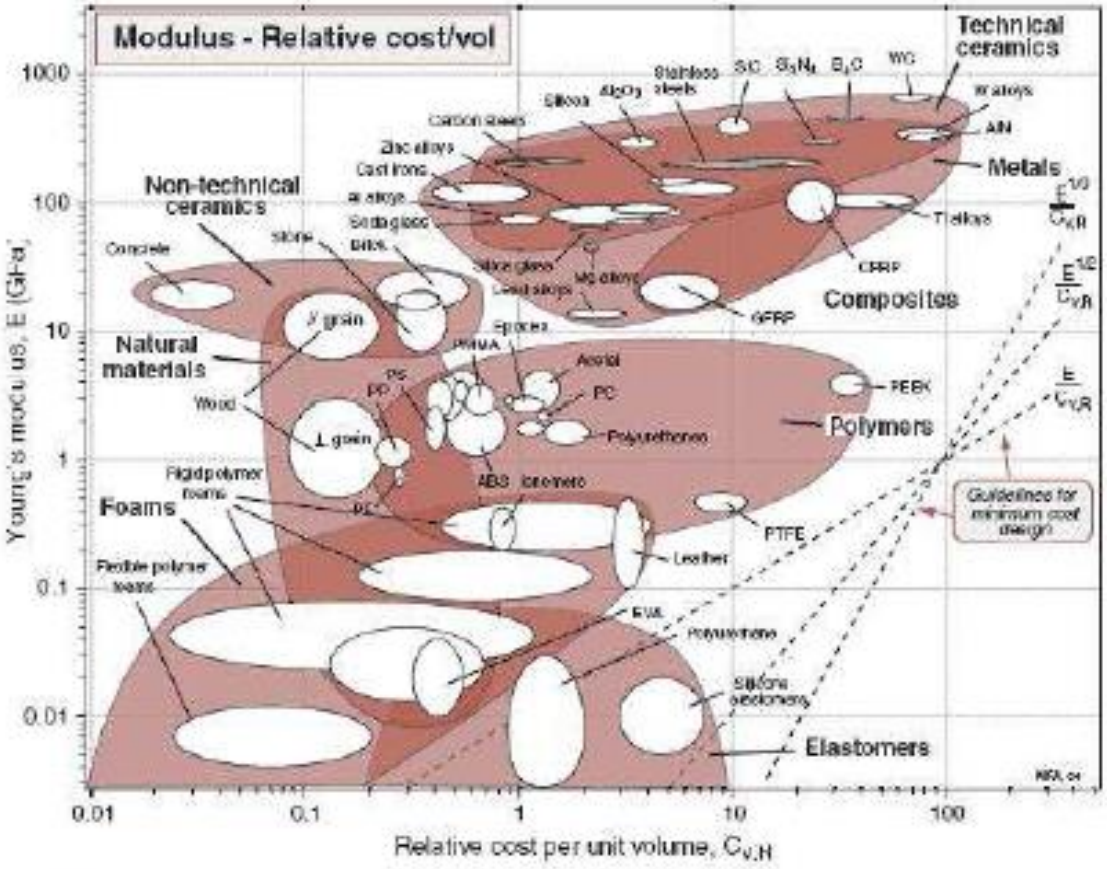


Figure 4.18 Young's modulus, E, plotted against relative cost per unit volume, $C_{v,R}$. The design guidelines help selection to maximize stiffness per unit cost.

18. Mukavemet -Birim hacim başına relatif fiyat Malzeme Özellik Kartı

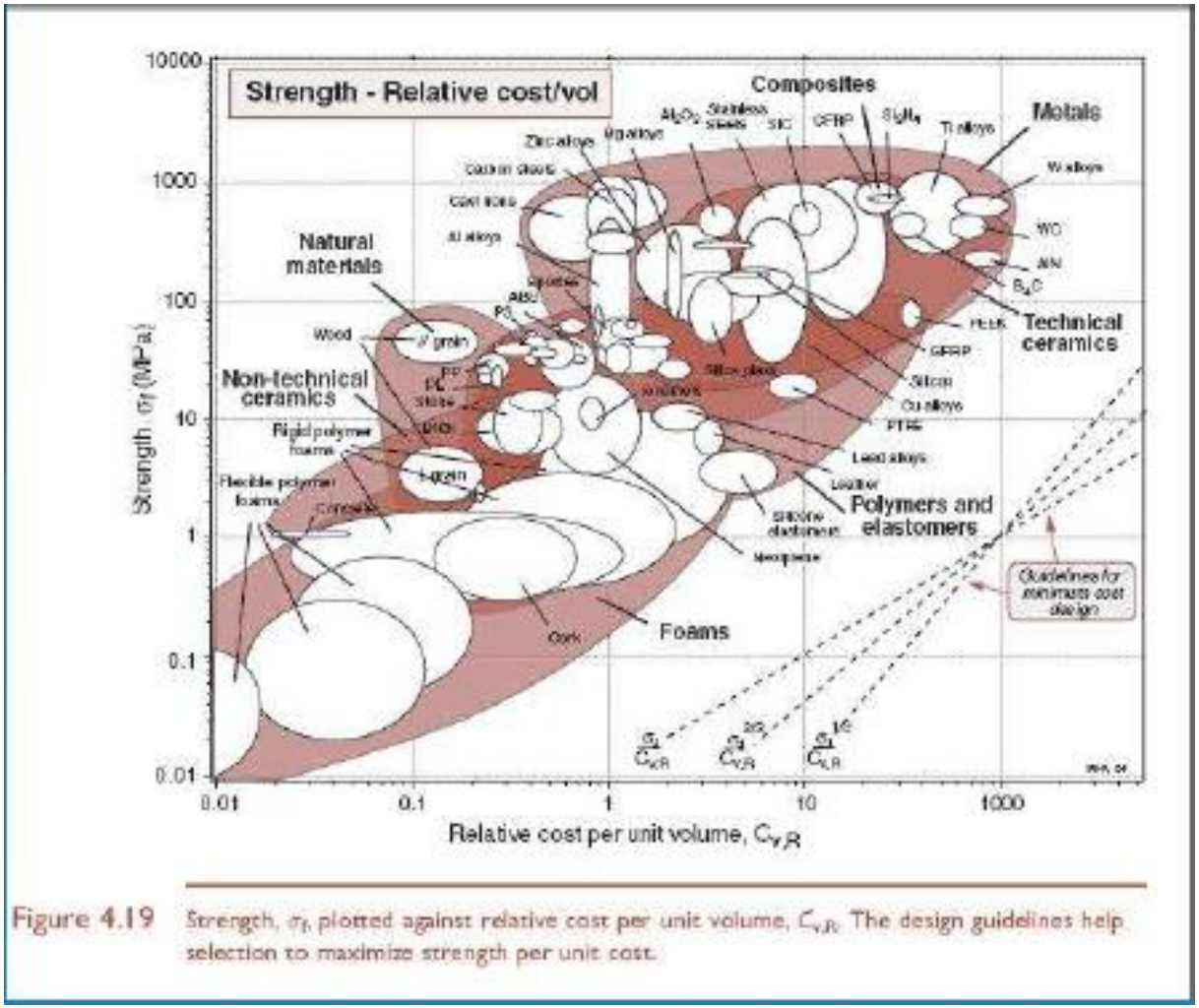


Figure 4.19 Strength, σ_f, plotted against relative cost per unit volume, C_{vR}. The design guidelines help selection to maximize strength per unit cost.

MALZEME SEÇME STRATEJİSİ

Malzeme seçim kitaplarını incelediğimiz zaman makine parçaları için malzeme seçmede iki yol izlendiğini görüyoruz.

1. Klasik malzeme seçme yöntemi
2. Prof.Asby ‘nin malzeme seçme yöntemi

KLASİK MALZEME SEÇME YÖNTEMİ

Klasik malzeme seçimi için önce ;

1)-Makine parçasının ne iş yapacağı sorgulanır?

2)-Makina parçasının olduğu yerde malzemeden beklenen özellikler tesbit edilir.

3)-Bu işi görecek Aday malzemeler belirlenir

4)-Aday malzemelere puan uygulaması yapılır.

5)-Aday malzemeler arasından en uygunu belirlenmeye çalışılır.

ÖRNEK 1.

OTOMOBİL TAMPON PARÇASI İÇİN MALZEME SEÇİMİ

1. Parça nedir ne iş yapar?

Tampon, otomobilin önünde ve arkasında darbe ve şoklara karşı emicilik görevi yapan bir parçadır.



2. Tampon malzemesinden beklenen özellikler nelerdir?

- Çarpma dayanımı(kırılma tokluğu) yüksek olmalı
- Yoğunluğu hafif olmalı
- Kolayca şekil verilebilir olmalı
- Paslanma olmamalı
- Ucuz olmalı

3. Yukarıdaki özellikleri göz önüne alarak gerek yeni malzeme kartlarından, gerekse özelliklerin verildiği malzeme özellik tablolarından aday malzeme seçimi yapılır.

Aday malzemeler ;

* PLASTİKLERDEN (PMM, HDPE,PP)
* METALLERDEN (Çelikler, Al alaşımları)
* KOMPOZİTLERDEN (CFRP, GFRP)



Tampon için aday malzemeler ve puanlama

Malzeme / Özellik	PPMA	HDPE	PP	Paslanmaz Ç.	Al alaşımı	CFRP	GFRP
Kırılma Tokluğu	1.5 (1p)	3.5 (1p)	3 (1p)	50 (10p)	25 (7p)	20 (6p)	30 (8p)
Yoğunluk	1.2 (10p)	1 (10p)	0.9 (10p)	7.8 (2p)	2.8 (5p)	1.7 (8p)	1.8 (8p)
Şekil verilebilme	+++ (10p)	+++ (10p)	+++ (10p)	++ (8p)	++ (8p)	+ (6p)	+ (6p)
Korozyon direnci	P.İyi (10p)	P.İyi (10p)	P.İyi (10p)	İyi (7p)	İyi (7p)	İyi (7p)	İyi (7p)
Fiyat / birim hacim	15 (8p)	2.5 (10p)	2.5 (10p)	60 (4p)	15 (8p)	400 (1p)	35 (6p)
Toplam puan	39 p	41 p	41 p	31 p	35 p	28 p	35 p

4. En uygun malzeme seçiminin yorumlanması

- HDPP ve PP En iyileri
- PMMA sırada olan en uygun malzeme
- GFRP ve Al alaşımı sırada olan uygun malzemelerdir.
- Paslanmaz çelik pahalılık ve ağır olması sebebiyle tercihte en sona kalan malzemelerdendir.

ÖRNEK 2.

EVDE VE İŞYERİNDEKİ FAN PARÇASI İÇİN MALZEME SEÇİMİ

1. Parça nedir ne iş yapar?

Ev ve iş yerlerinde kullanılan fan parçasıdır. Ortamın havasını üfler. Vantilatör fanı olarak kullanılan parçadır.



2. Fan malzemesinden beklenen özellikler nelerdir?

- Orta dayanımlı olmalı
- Yoğunluğu hafif olmalı
- Kolayca şekil verilebilir olmalı
- Ucuz olmalı

3. Yukarıdaki özellikleri göz önüne alarak gerek yeni malzeme kartlarından, gerekse özelliklerin verildiği malzeme özellik tablolarından aday malzeme seçimi yapılır.

Aday Malzemeler ;

* PP
* Naylon
* CFRP
* Mg döküm
* Al döküm
* Seramik
* Orta Muk.çelik
* GFRP



Fan için aday malzemeler ve puanlama

Malzeme / Özellik	PP	Naylon	Mg dök.	Al dök.	Orta muk. ç	GFRP	CFRP	Seramik
Orta muk. MPa	60 (2p)	80 (3p)	150 (6p)	150 (6p)	300 (10p)	300 (10p)	800 (2p)	100 (4p)
Yoğunluk g/cm³	0.9 (10p)	1.2 (10p)	1.8 (6p)	2.8 (4p)	7.8 (1p)	1.7 (7p)	1.6 (8p)	3.8 (3p)
Şekil verilebilme	+++ (10p)	+++ (10p)	++ (8p)	++ (8p)	++ (8p)	+ (5p)	+ (5p)	++ (8p)
Fiyat / birim hacim	2.5 (10p)	12 (8p)	20 (7p)	12 (8p)	25 (6p)	30 (5p)	300 (1p)	150 (3p)
Toplam puan	32 p	30 p	27 p	26 p	25 p	27 p	16 p	18p

4. En uygun malzeme seçiminin yorumlanması

- En uygun malzemeler PP ve Naylon – Çünkü ucuz, hafif ve kolay şekil verilebiliyor.
- Mg ve Al alaşımları da uygun malzemeler
- GFRP ve orta muk. çelik kullanılabilecek malzemelerdir.



ÖRNEK 3.

YAY PARÇASI İÇİN MALZEME SEÇİMİ

1. Parça nedir ne iş yapar?

Yay, bir kuvvetin etkisi altında kaldığında elastik şekil değiştirebilme özelliğine sahip, enerjiyi depolayan sonra kuvvet etkisi üzerinden kalktığında bu depolanmış enerjinin bir kısmını geri verebilen bir makine elemanıdır.



2. Yay malzemesinden beklenen özellikler nelerdir?

- Özgül mukavemeti (σ^2/E ve $\sigma^2/E\rho$) yüksek olmalı
- Hafif olmalı (Yoğunluk düşük)
- Yüksek elastik (düşük elastik modül)
- Titreşimi dağıtmalı (yüksek kayıp faktörü)
- Kolay şekil verilebilmeli
- Ucuz olmalı

3. Yukarıdaki özellikleri göz önüne alarak gerek yeni malzeme kartlarından, gerekse özelliklerin verildiği malzeme özellik tablolarından aday malzeme seçimi yapılır.

* Yay çeliği
* Ti alaşımları
* CFRP
* GFRP
* Naylon
* Kauçuk (elastomer)

Yay aday malzemeleri ve puanlamaları

Malzeme / Özellik	Yay çeliği	Ti alaşımı	CFRP	GFRP	Naylon	Elastomerler
Spesifik muk. MPa/(Mg/m³)	50 (2p)	150 (7p)	200 (10p)	170 (8p)	70 (4p)	55 (2p)
Yoğunluk Mg/cm³	7.8 (2p)	4.5 (5p)	1.7 (8p)	1.8 (8p)	1.2 (10p)	1.2 (10p)
Şekil verilebilme	++ (8p)	+(3p)	+ (3p)	+ (3p)	+ ++ (10p)	+ ++ (10p)
Fiyat / birim hacim	25 (8p)	200 (3p)	300 (1p)	30 (7p)	12 (9p)	5 (10p)
Elastik modül(GPa)	200 (3p)	120 (5p)	40 (7p)	25 (8p)	2.5 (9p)	0.05 (10p)
Kayıp katsayısı	10^{-3} (4p)	10^{-3} (4p)	10^{-2} (6p)	10^{-2} (6p)	10^{-2} (6p)	0,8 (10p)
Toplam puan	27 p	27 p	35 p	40p	48p	52p

4. En uygun malzeme seçiminin yorumlanması;

1. Puanlama tablosundan en uygun malzemenin polimerlerden kauçuk (elastomer) ve naylon olduğu görülüyor.(Hafif yaylar için süper seçimdir.)

2. Bunları GFRP ve CFRP kompozitleri izlemektedir.

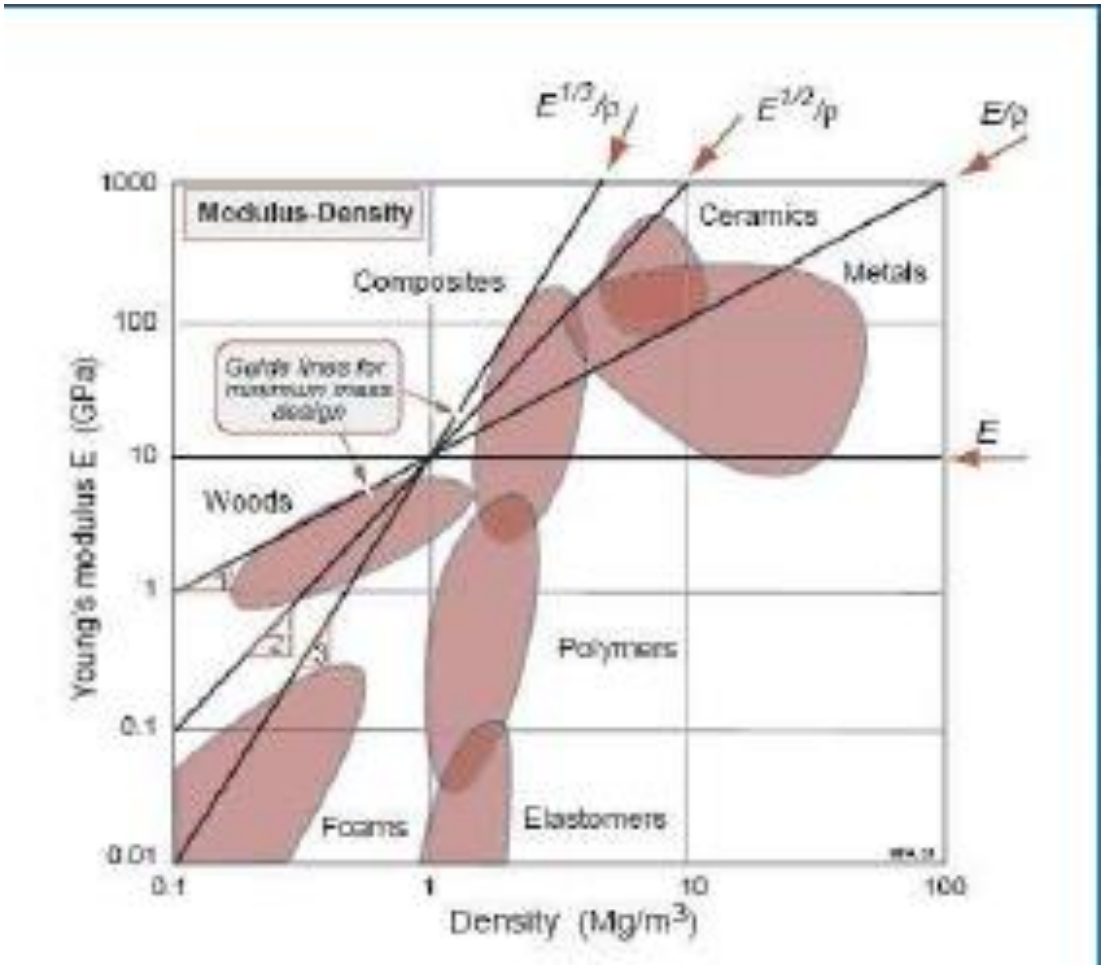
3. Metalik malzemelerden ise ;

   * Yay çeliği

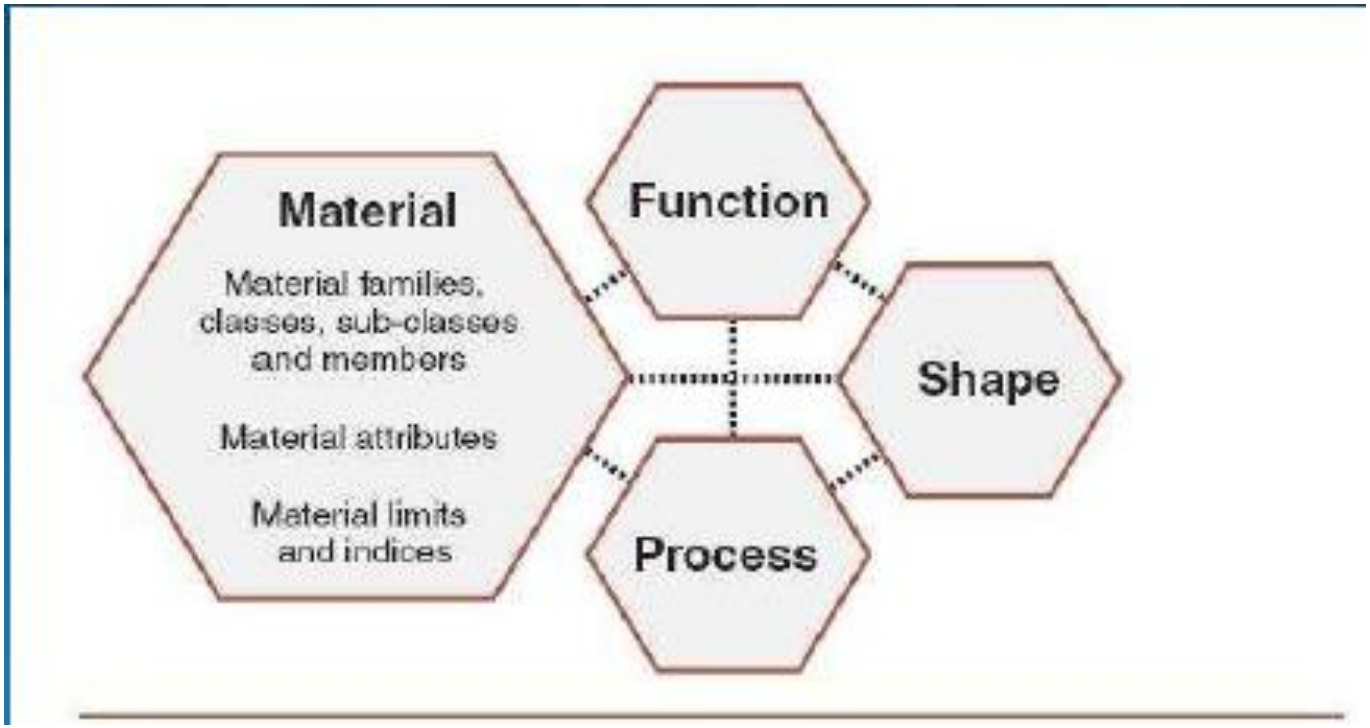
   * Ti alaşımları

Metaller yüksek yoğunlukları sebebiyle dezavantajdırlar. Ancak yüksek mukavemet gerektiğinde en iyi seçim olur.

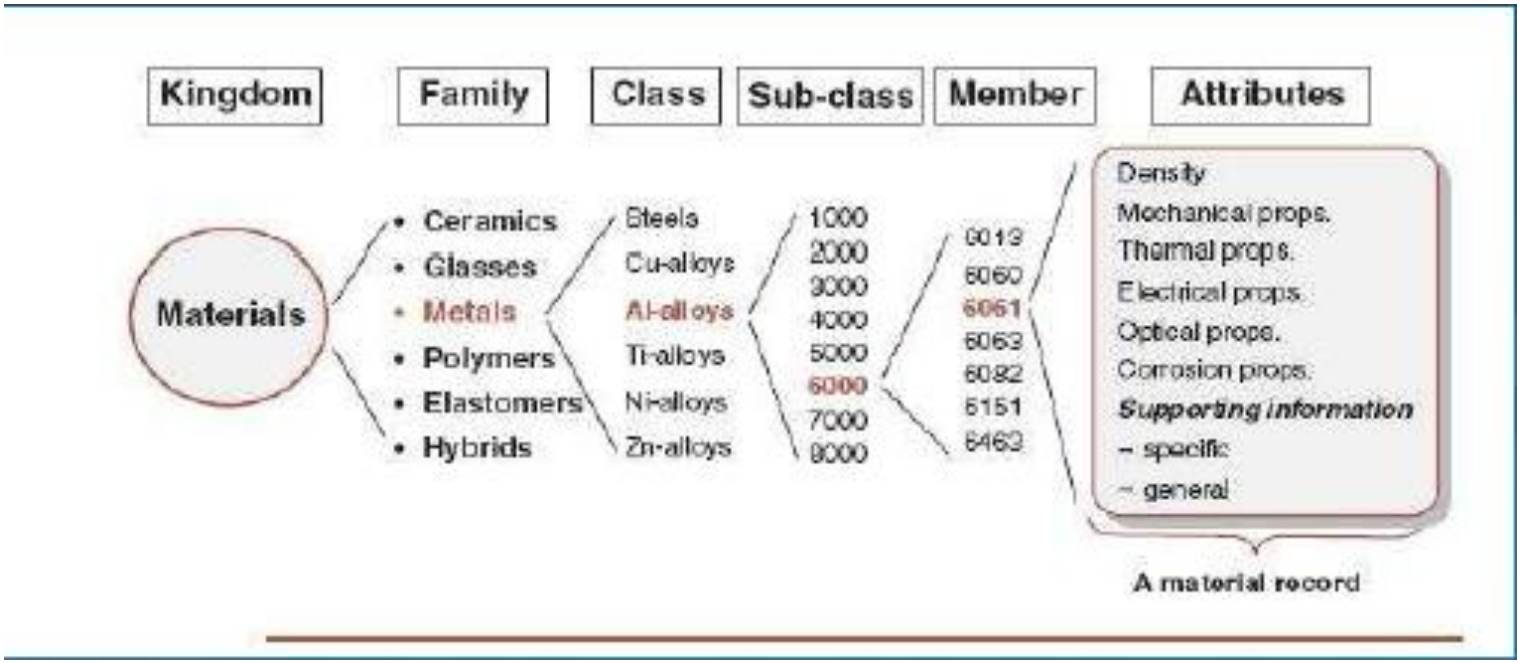
PROF. ASHBY ‘NİN MALZEME SEÇME YÖNTEMİ



Malzeme seçimi, o malzemenin yapacağı fonksiyon, malzemenin şekli ve o malzemenin hangi prosesle üretildiği ile yakından alakalıdır.



Malzeme seçme stratejisi izlenirken, Prof. Ashby'nin yönteminde Malzemeler aşağıdaki şekilde gösterilen düzene göre bir mevcut veri tabanından araştırılır.



Önce malzemeler menüsünden

1. METALLER, sonra metallerin içersinden
2. ALUMİNYUM, sonra aluminyum çeşitlerinden
3. 6000 serisi, sonra bu serinin içinden
4. 6061 serisi, sonra
5. Bu serinin özellikleri (Yoğunluk, mekanik özellikleri, termal özellikleri, Elektriksel özellikleri, Optik özellikleri, Korozyon özellikleri) sergilenmektedir.

Prof. Ashby'nin yönteminde malzeme seçimi için izlenecek yol ;

*** Tüm malzemelerin içinde**

1. Tasarım şartları

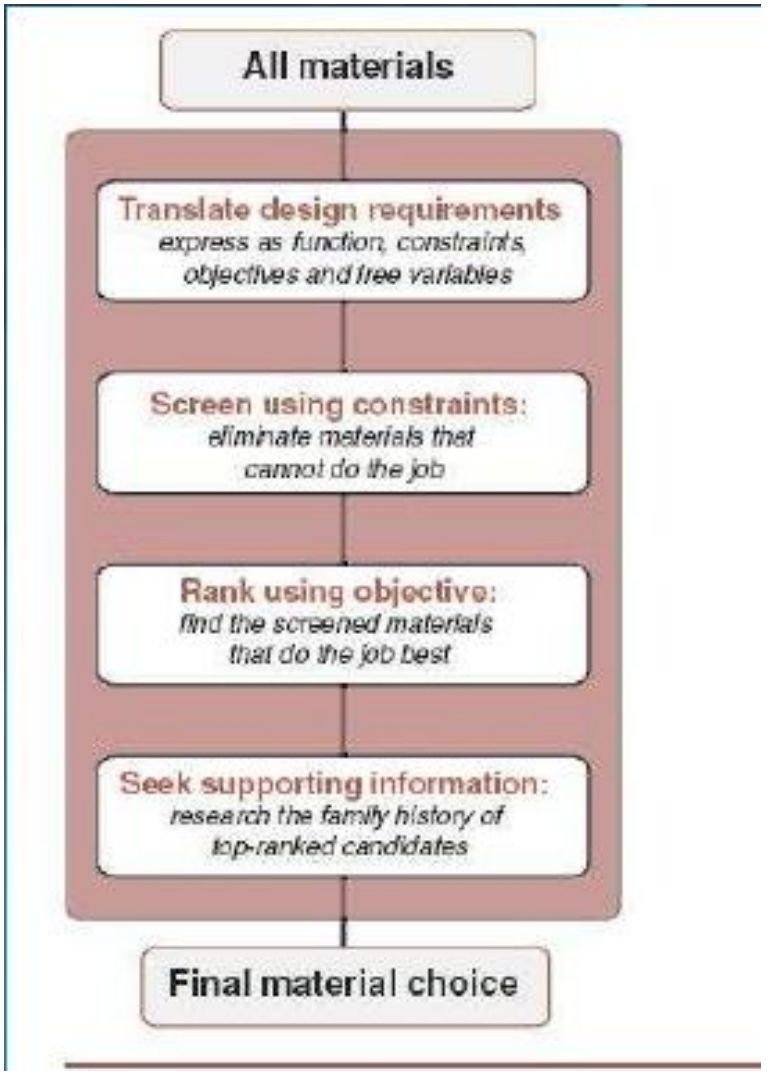
(Fonksiyon, sınırlama, amaç ve serbest değişkenler)

Prof. Ashby'nin yönteminde malzeme seçimi için izlenecek yol ;

2. İşe yaramayan mlz.leri elimine etme

3. En iyi mlz.leri sıralama

4. Seçilen malzeme için ilave bilgi desteği



1.)-Tasarım şartları deyince neyi anlamalıyız? ;

Fonksiyon : Bu parça ne iş yapacak?

Sınırlama : Parça boyutları sınırlandırılır, hata vermeden yüke, sıcaklığa, vs.ye dayanması istenir.

Amaç : Parçayı min kütle, max. prformanslı nasıl yaparız?

Serbest değişkenler : Amacımızı gerçekleştirmek için bazı parametreleri nasıl ayarlarız ?

Function, constraints, objectives and free variables

Function	What does component do?
Constraints*	What non-negotiable conditions must be met? What negotiable but desirable conditions . . . ?
Objective	What is to be maximized or minimized?
Free variables	What parameters of the problem is the designer free to change?

*It is sometimes useful to distinguish between "hard" and "soft" constraints. Stiffness and strength might be absolute requirements (hard constraints); cost might be negotiable (a soft constraint).

2.)- İşimize yaramayan malzemelerin elimine edilmesi

Bundan kastımız,

- Parça kaynar suda iş göremiyecek ise ayrılmalıdır.
- Parça transparent değilse(ışın geçirmiyorsa) ayrılmalıdır.
- İstediğimiz özellik yalıtkanlık ise, iletken olanlar ayrılmalıdır.
- İstediğimiz özellik korozyona dayanım ise, korozyona dayanmayanlar ayrılmalıdır.

3.)- En iyi malzemeleri sıraya koyma,

En uygun malzeme için bir "optimizasyon kriteri"ne ihtiyaç vardır.

Performans, bazen "tek" bazen de "birden fazla" özellikle sınırlanır.

En düşük yoğunlukla (ρ), en düşük termal iletkenlik katsayısı (λ) özellikleri sınırlı olan özelliklerdendir.

Tek bir özellik (Max. Veya Min) performansı en üstte tutar.

Örnek vermek gerekirse;

- Hafif, rijit bir bağlama çubuğu malzemesinde performans tek bir özellik olan (E/ρ) su en büyük olan değer, seçilecek en iyi malzeme demektir.
- Yaylarda performans tek bir özellik olan $[(\sigma_f)^2/E]$ si en büyük olan değer, seçilecek en iyi yay malzemesi demektir.
- İŞTE MALZEME SEÇİMİNDE PERFORMANSI , MAX.YAPAN KRİTER'E "MALZEME İNDİS" LERİ DİYORUZ.

4.)- Seçilen malzeme için ilave bilgi desteği

Bizim yaptığımız tasarımla – malzeme özellikleri arasında son seçimi doğru yapmamıza BİLGİ DESTEĞİ olanak sağlar.

- Seçilecek malzemenin korozyon davranışı, çevreye zararının olup olmaması vs gibi bilgiler seçilecek malzemeleri daha da dar alana sokar.

Prof. Ashby'in malzeme seçme yöntemine basit örneklerle giriş yapalım.

* Şunu unutmayalım .

1. Sınırlamalar, malzeme özelliklerinin sınırlarını ayarlarlar.

2. Amaçlarımız da, malzeme indislerini belirtirler.

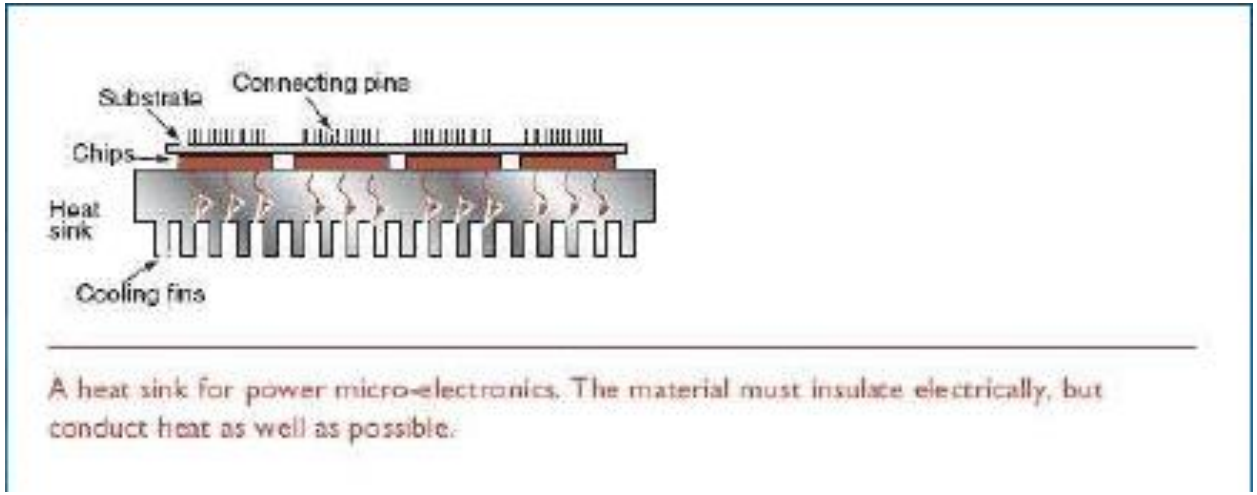
a)- Amaç, sınırlama ile birlikte değilse ;

Malzeme indisi , basit bir malzeme özelliği'dir.

b)- Fakat amaç, sınırlama ile birlikte olduğunda,

Malzeme indisi bir "grup özelliği" halini alır.

ÖRNEK 1)- Aşağıdaki şekilde bugünkü PCL deki pentum chip'ler görülmektedir. Bir mikrochip miliwatt seviyesinde ısı yutar. Güçleri düşüktür ama güç yoğunlukları fazladır. Çalışırken zaman geçtikçe ısınırlar



A heat sink for power micro-electronics. The material must insulate electrically, but conduct heat as well as possible.

Sıcaklıları 850 ^{o}C ye ulaşır. Tek bir yüzeye 130 adet chip yerleştirilebilmektedir. Isı, ısı düşürücü bir aparat ile kontrol altında tutulur. Chip'lerin altında ısıyı düşüren bir parça olmalıdır.

Chip ve chip'ler





Peki şimdi bu parçanın performansı nasıl Maksimum yapılır?

Öncelikle bu parçanın özdirenci (ρ_e) > 10^{19} $\mu\Omega$cm den büyük olmalıdır. Aynı zamanda λ ısıl iletkenlik katsayısının da en yüksek seviyede olması gerekir.

Öz direnç bu örnekte **"sınırlayıcı"** olarak işlem görür. Yukarıdaki değerden düşük olan malzemeler elenir.

Termal iletkenlik (λ) bir **"amaç"** olarak işlev görür. Ama yine malzemeler sınırlama ile karşı karşıya kalırlar ve λ değeri en yüksek olanı arar, gerisini eleriz.

Bu λ bu örnek için malzeme indisi olur.

Function, constraints, objective, and free variables for the heat sink

Function	Heat sink
Constraints	• Material must be "good insulator", or $\rho_e > 10^{19}\ \mu\Omega.\text{cm}$ • All dimensions are specified
Objective	Maximize thermal conductivity, λ
Free variables	Choice of material

Bu adımları (λ -$\rho_{öz}$) malzeme özellik kartını kullanarak yapabiliriz.

Fonksiyon : Isıyı düşürmek

Sınırlamalar :

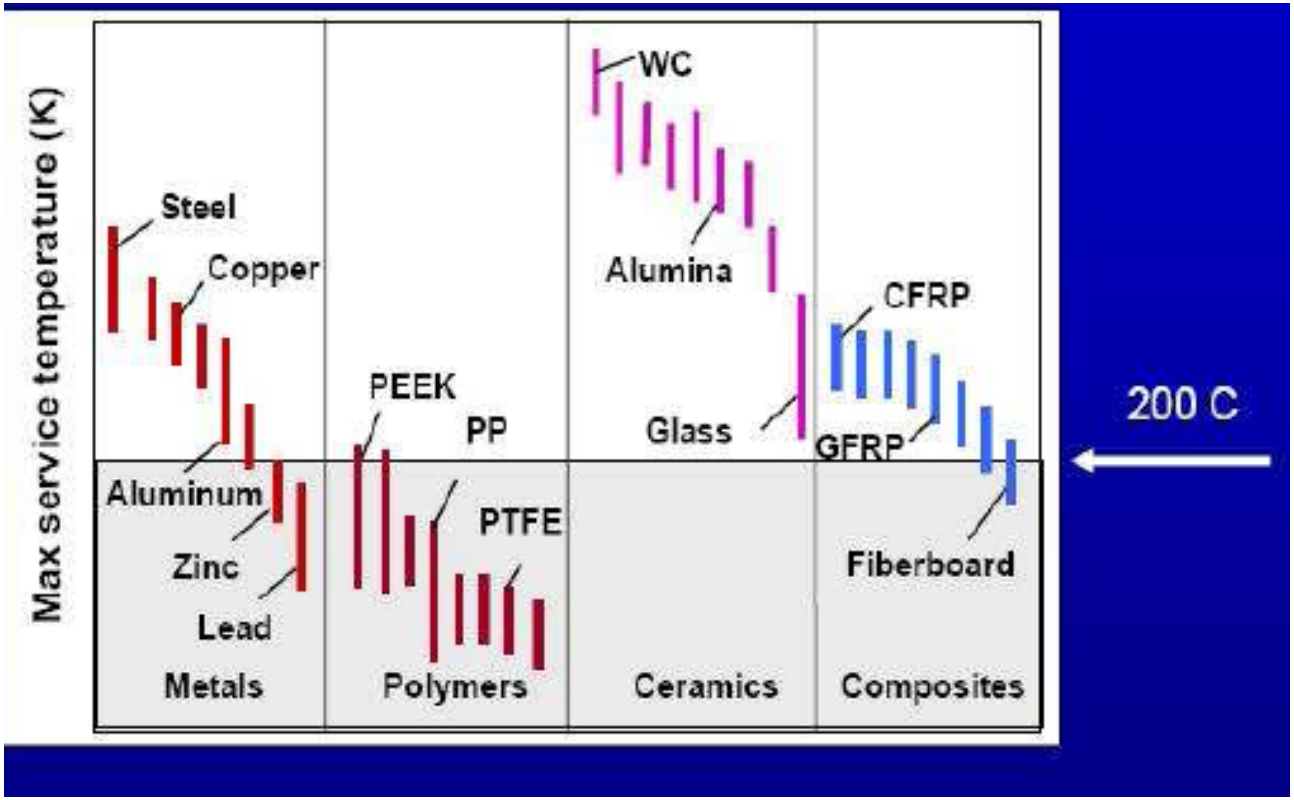
1. Max. servis sıcaklığı > 200 ^{0}C
2. Elektrik yalıtkanlığı R >10^{20} $\mu\Omega$cm olmalı
3. Isı iletim katsayısı λ > 100 W/m K olmalı
4. Ağır olmamalı yoğunluk ρ < 3 Mg /m^3

Amaç : Termal iletkenlik max. olmalı (λ) ,

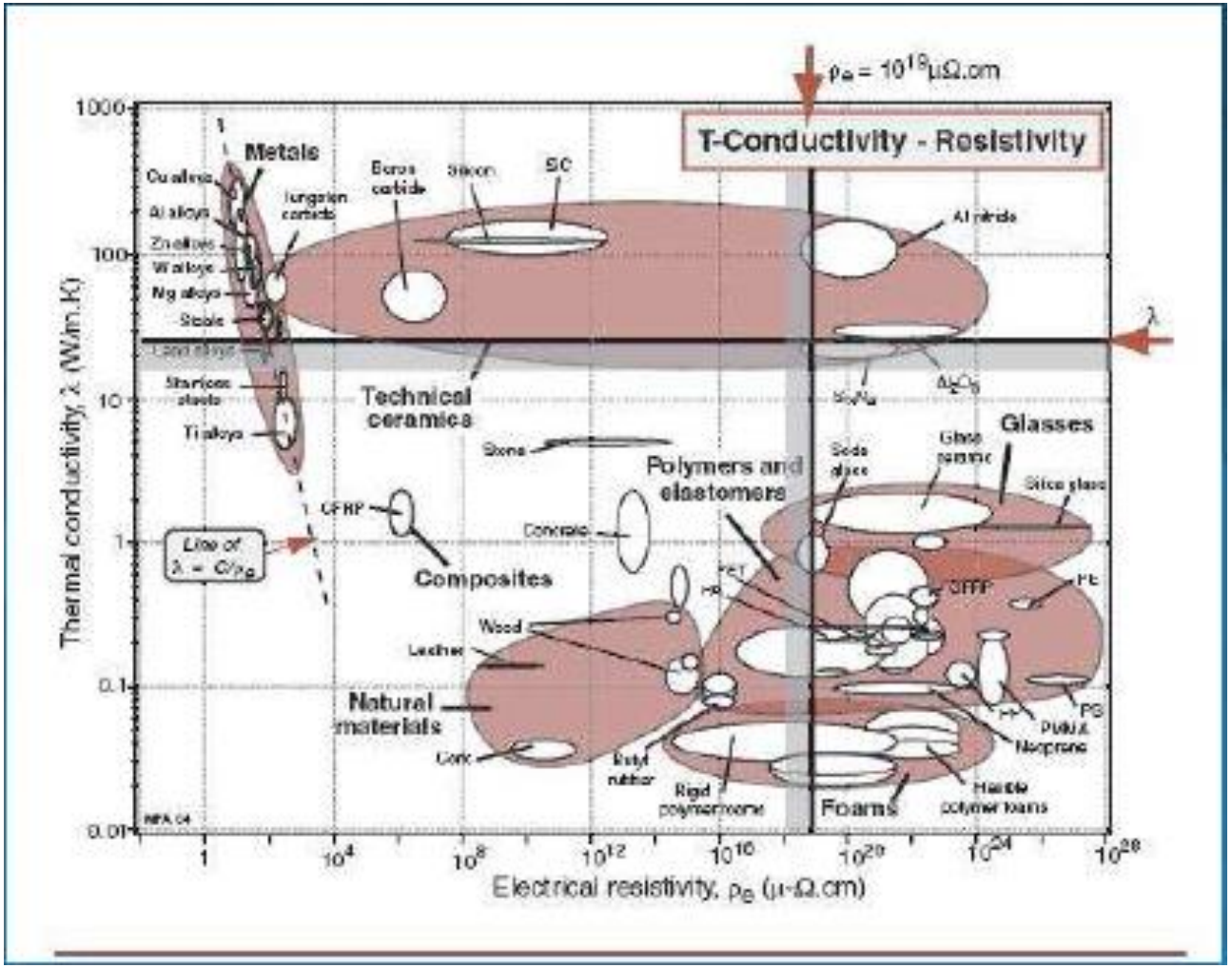
Serbest değişkenler : Sadece malzeme seçimi ve üretim prosesi olarak sıralanır.

Max. servis sıcaklığı malzeme çubuk kartı

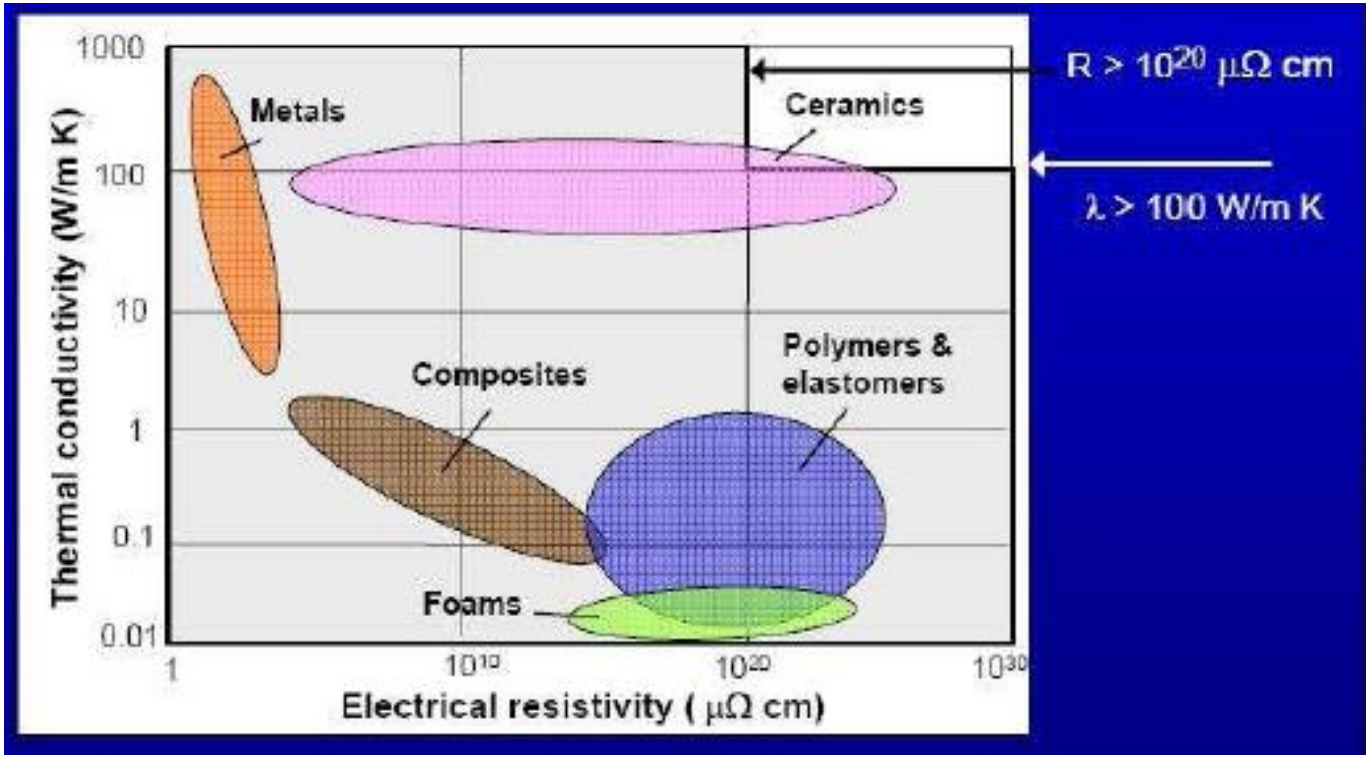
Bu kart sayesinde ısıyı uzaklaştıramayacak malzemeler elenir. (200 ^{0}C nin altındakiler elenir.)



Aşağıdaki **iletkenlik-özdirenç** Malzeme Özellik kartından önceden bildiğimiz değerleri kesiştirirsek, hangi malzemeleri seçeceğimiz açığa çıkar.



Bir önceki termal iletkenlik-elektrik direnç eğrisinin daha basit hali



Malzeme kartından ;

1. Aluminyum nitrid (AlN)
2. Alumina (Al_2O_3)

Bu iki malzeme en uygun malzemeler olarak seçilir.

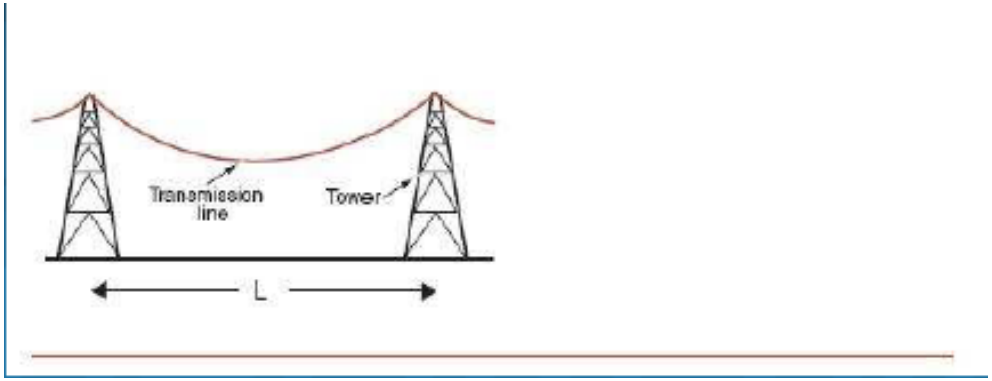
Bundan sonraki son adım, bu iki malzeme arasında İLAVE BİLGİ DESTEĞİ almaktır.

Daha sonra web sitesinden yaptığımız araştırmalar da AlN'nin veri datasının daha çok olduğunu görürüz.

ÖRNEK 2. Havai elektrik nakil hattı malzemesi seçimi

Bu gün elektrik gücü yer altı kabloları veya havai hatları üzerinden taşınır. Yeraltı kabloları havai hattan daha ucuzdur. Havai hatlarda büyük kule ve taşıyıcı elektrik hatlarına –geniş aralığa ihtiyaç vardır.

Kule pahalıdır. Geniş aralıkta kullanılacak malzemenin de enerji kayıplarını minimize edecek çok düşük elektrik direncine sahip olması gerekir.



İki kule arasındaki kablo mesafesi, rüzgar ve buzlanma yüklerini tolere edecek şekilde ve onun bel verme limitini karşılayacak mukavemette olması gerekir. Mesafe L, ve mukavemet te 80 MPa ile sınırlandıralım.

Amaç, direnç kayıplarını minimize etmek olsun. Bu da o malzemenin özdirencinin (ρ_e) en düşük olmasını gerektirir.

Şimdi problem, malzeme indisi'ni tanımlamaktır.

Bundan sonraki tablo'da bu adımların nasıl atılacağı gösterilmiştir.

Fonksiyon : Elektriği uzaklara taşıyacak malzeme

Sınırlamalar : İki kule arası (L) ve tel kesiti (A) önceden belli, Malzeme mukavemeti $\sigma_f > 80$ Mpa olmalı, çünkü rüzgara ve buza yenik düşmemeli

Amaç : Min elektrik direncine sahip olma $R=\rho(L/A)$

Serbest değişkenler : Malzeme seçme[mukavemete göre eleme, min. elektrik dirence göre sıralama yapma]

Function, constraints, objective, and free variables for the transmission line

Function	Long span transmission line
Constraints	• Span L is specified • Material must be strength $\sigma_f > 80$ MPa
Objective	Minimize electrical resistivity ρ_e
Free variables	Choice of material

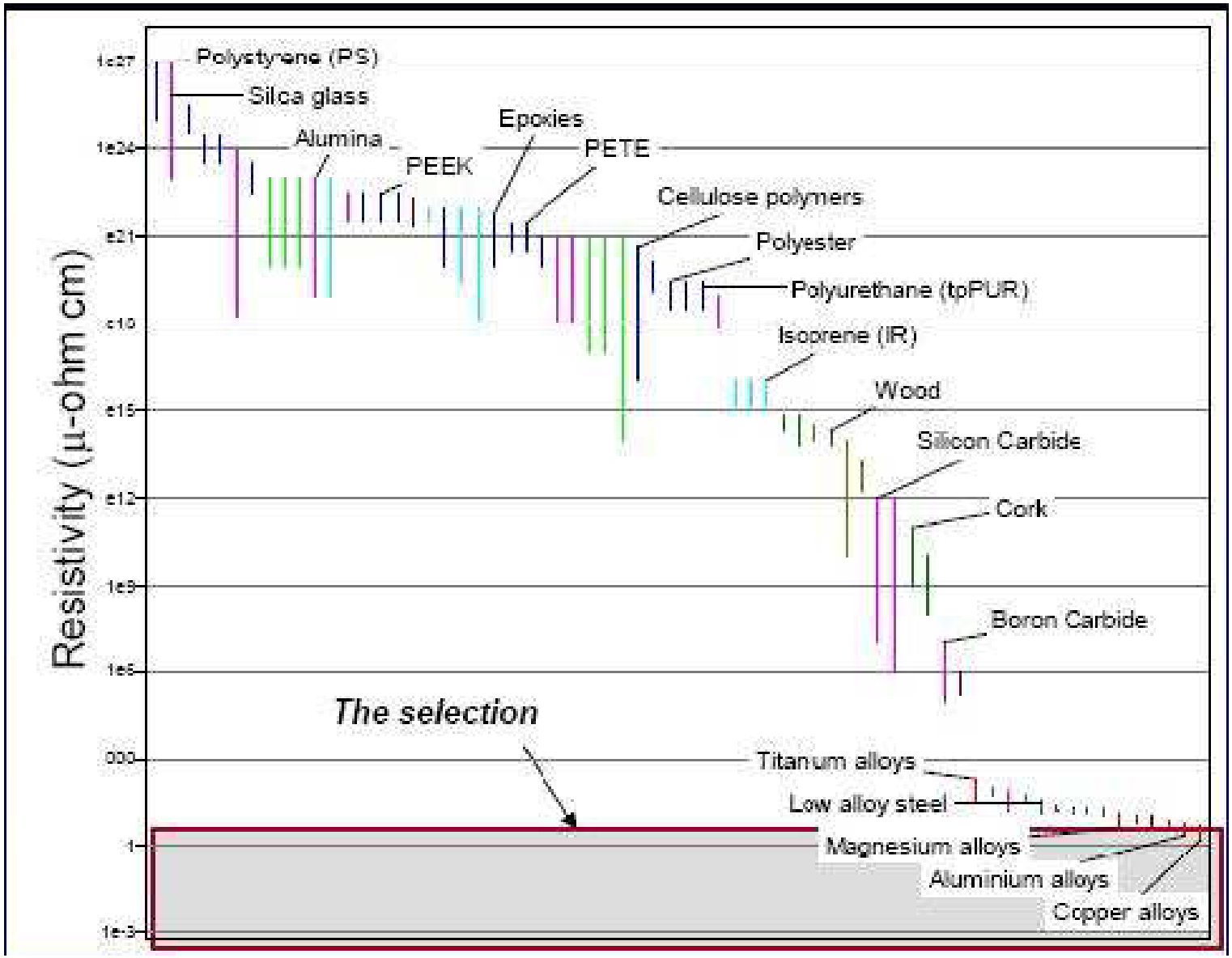
Bu örnekte yazılacak reçete ,

- Mukavemet üzerinden **“eleme”** yapmaktır. Arka sayfadaki çubuk karta bakılırsa, mukavemet bakımından polimerler ve bazı seramikler elenir.
- Özdirenç üzerinden **“sıralama”** yapmaktır.

Bunun için de (σ_f - ρ_e) malzeme özellik kartına müracaat edilir.

- Burada en düşük özdirencin Cu ve Al alaşımları olduğunu görürüz. Mukavemet karşılaştırması yaparız.
- Bakır pahalı olduğundan Aluminyum kabloları seçeriz.

Dirençle ilgili Malzeme çubuk kartları



Bu iki örnek, oldukça basite indirgenerek anlatılmıştır.

Gerçekte ise bir çok sistemde malzeme seçimi yapılırken olayın daha komplex olduğu görülecektir.

Bu iki örneği vermemizdeki amaç, Ashby'nin metodun daki 4 adımı ANAHTAR yapmaktır.

* FONKSİYON
* SINIRLAMA
* AMAÇ
* SERBEST DEĞİŞKENLER

[AMAÇ'LARLA SINIRLAMA]'LAR BİRLİKTE OLDUĞU ZAMANKİ DURUMDA MALZEME İNDİS'LERİ

Tasarımda herhangi bir makine parçası, verilen fonksiyona göre yüklenir.

Şaft'lar tork'ları taşırlar,

Kirişler eğme momentlerini taşırlar,

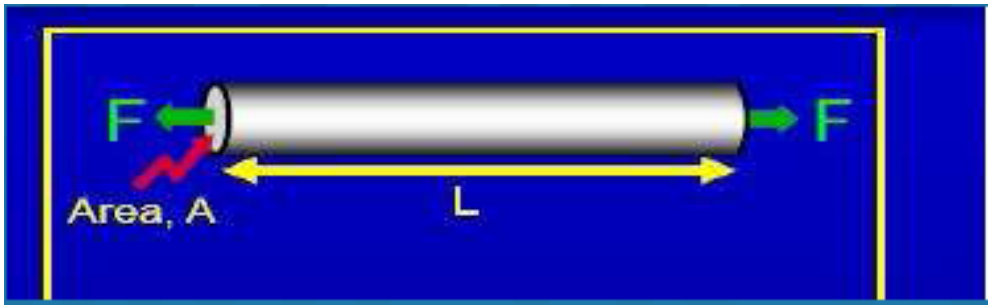
Kolonlar, bası eksenel yükleri taşırlar,

Çubuk, kiriş, şaft ve kolon fonksiyonu ima eder.

ÖRNEK :

HAFİF, GÜÇLÜ BİR BAĞLAMA ÇUBUĞU İÇİN "MALZEME İNDİSİ" BELİRLEME

Şekildeki gibi L uzunluğunda F çeki kuvvetini taşıyabilecek kütlesi minimum olmak kaydıyla silindirik bir çubuğa ihtiyacımız olsun.



Uzunluk L olarak belirlenmiş, fakat kesit A belirlenmemiştir. Bu çubuktan beklenen maximum performans demek, kütleyi minimum yapıp F yükü bu çubuk tarafından emniyetle taşınsın demektir. Tasarım şartları sonraki sayfada Tablo' da verilmiştir.

Biz önce min. ve max. değeri verecek olan bir DENKLEM' i arayacağız. Yani ;

Çubuğun kütlesi (m) dir. Bunun min. Olması gerekiyordu.Bu ibarenin matematiksel karşılığı

$m = A.L.\rho$ [mm^2. mm. g/mm^3] = g olur.

Burada A = Kesit ρ = yoğunluk

L = Uzunluk olarak alınmıştır.

Example: Materials for a Light, Strong Tie

- **Function:**
  - Support a tension load
- **Objective:**
  - Minimize mass
- **Constraints:**
  - Length specified
  - Carry load F, w/o failure
- **Free variables:**
  - Cross-section area
  - Material



- **Objective:**
  - $m = AL\rho$
- **Constraint:**
  - $F/A < \sigma_y$

L ve F önceden belirlenen değerlerdir. Sabit kabul edilmektedir. Biz kesitle (A) oynayarak KÜTLE' yi azaltabiliriz. İşte bu sınırlamadır, kısıtlamadır.

A ve F çekme yükünü taşıyacak şekilde yeterli olmalıdır.

Yani ; $(F/A) < \sigma_f$ olmalıdır. F yükü sonucu doğan gerilme $\sigma < \sigma_f$ olmalıdır.

$F/A = \sigma_f$ den $A = F/\sigma_f$ yazılır.

$m = A.L.\rho$ denkleminde A'yı yazarsak

$m = (F/\sigma_f).L.\rho$ yazalım.

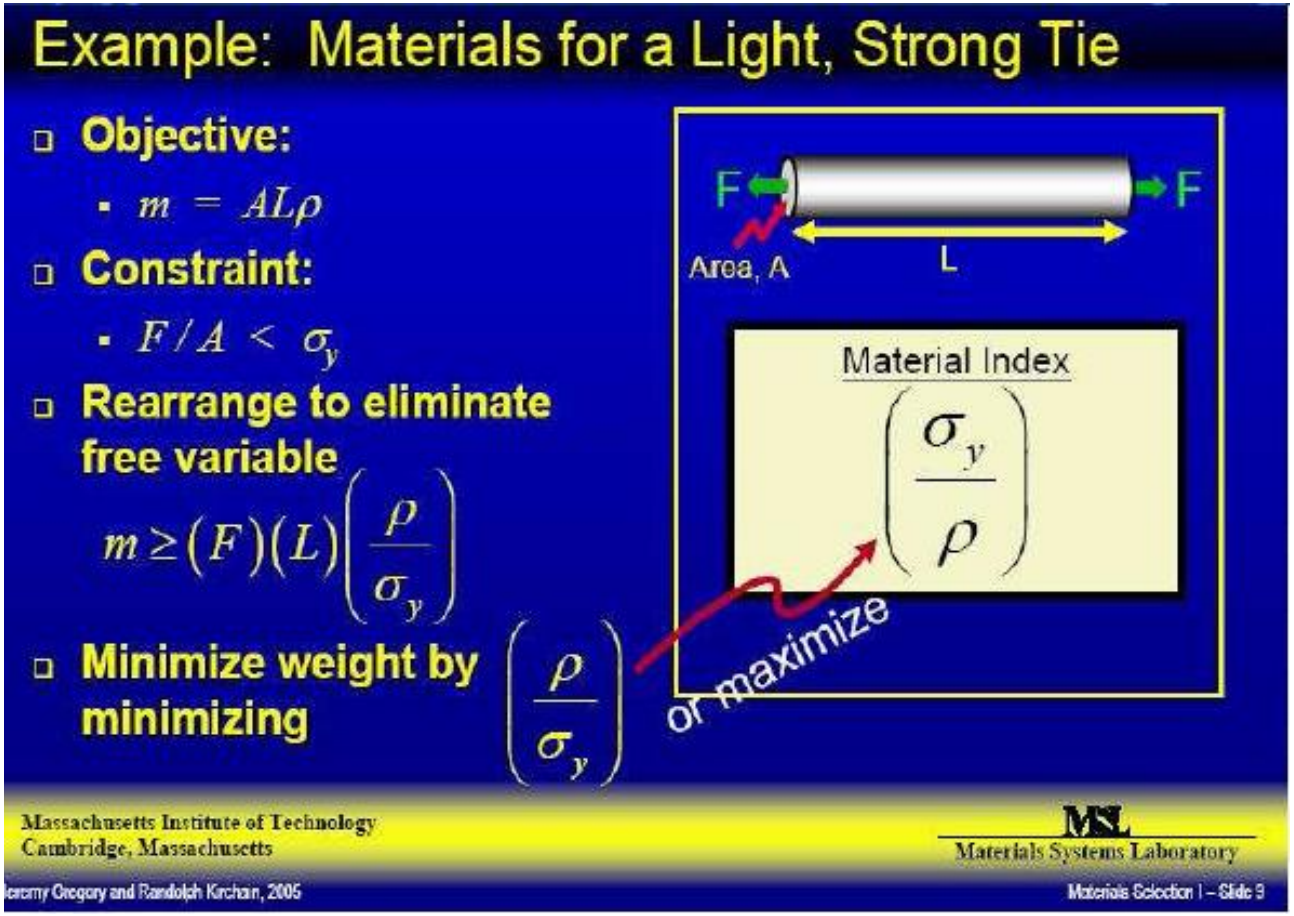
$m = F.L.(\rho/\sigma_f)$ şeklinde de yazılır.

Bu son denklemi bir yorumlayalım. F önceden belirlendi, L önceden belirlendi. Son parantez ise dikkatli incelersek MALZEME ÖZELLİĞİ taşıdığını görürüz.

1)-Yani son parantez [ρ/σ_f] min. kütleyi verecek olan ifadedir. Yani m bu değere eşit veya büyük olduğunda min. kütleli çubuk malzeme seçilmiş olacaktır.

2)- Biz buna MALZEME İNDİSİ diyoruz. Maximum performansı ise biz bu ifadeyi ters çevirdiğimizde elde edeceğiz. Yani son parantez [σ_f / ρ] şekline geldiğin de maksimum mukavemete sahip, aynı zamanda min. kütleli çubuk malzeme olacaktır.

Min kütleli bu çubuk F yükünü emniyetle taşıyacaktır.

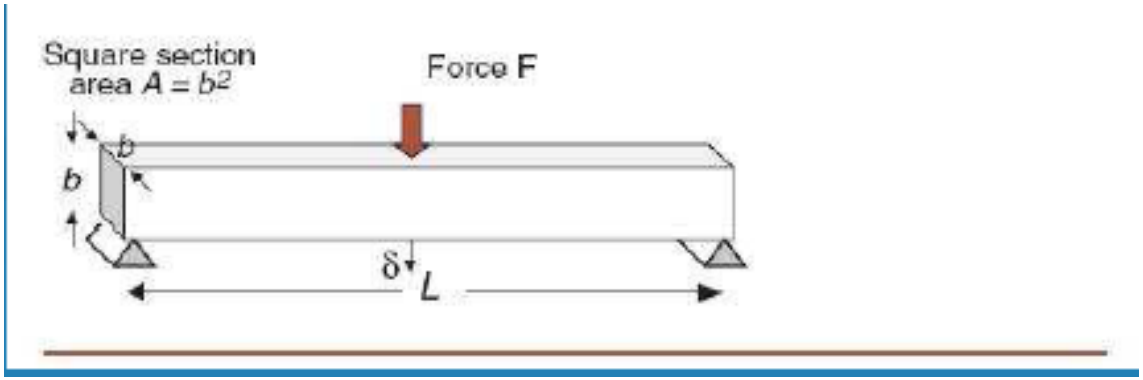


ÖRNEK 2.

HAFİF, RİJİT BİR KİRİŞ İÇİN "MALZEME İNDİSİ" BELİRLEME

Mühendislikte en genel yükleme şekli çekme değildir. Eğme de olabilir. Pratik hayatta döşeme kirişleri, golf sopaları, kanat direkleri bu tür yüklemeye maruz elemanlardır.

(b x b) kare kesitli, L uzunluğunda, hafif ağırlıktaki bir kirişe yük uygulandığını düşünelim.



Kirişin rijitliği bir sınırlama ile karşılaşsın. Yani F yükü altında (d) sehiminden fazla sehim yapmasın.

Design requirements for the light stiff beam

Function	Beam
Constraints	• Length L is specified • Beam must support a bending load F without deflecting too much, meaning that the bending stiffness S is specified
Objective	Minimize the mass of the beam
Free variables	• Cross-section area, A • Choice of material

Yukarıdaki tablo'da tasarım şart'ları gösterilmiştir.

Fonksiyon : Kiriş görevi yapmak

Sınırlamalar :

* Uzunluk (L) önceden belirli,
* Kiriş, F eğme yükü altında çok

çok fazla sehim olmadan dayanmalıdır.

Amaç : Kiriş kütlesi minimum olsun

Serbest değişkenler :

* A kesit alanı

* Malzeme seçimi

Geçen bölümlerde elastik bir kirişin (S) rijitliği için

$S = F / \rho$ değeri olduğunu görmüştük. Bu değer, aşağıdaki değerden büyük olmalıdır. Yani ,

$F / \rho \geq (C_1 .E.I) / L^3$

Burada E : Young modülü

C_1 : Sabit(yük dağılımına bağlı olan)

I : Kesitin atalet momenti

Kare kirişler için $I = (b^4 / 12) = A^2 / 12$

Burada rijitlik (S) ve uzunluk (L) önceden belirlenmiştir. (A) ise serbest değişkendir. Biz A ile oynayarak kirişin kütlesini azaltıp çoğaltabiliriz. Ancak bu örneğe kadar rijitlik sınırlaması ile karşılaşılmadı.

Yukarıdaki kütle denklemini tekrar yazarsak ,

$m \geq A.L. \rho$

$S = [(C_1.E.I) /(L^3)] =[(C_1.E.A^2)/ (12.L^3)]$

$A^2 = [(12.L^3.S)] / (C_1.E)$

$$A = [(12.L^3.S)]^{1/2} / (C_1.E)^{1/2}$$

$$m \geq [(12.L^3.S)]^{1/2} / (C_1.E)^{1/2}. L .\rho$$

$$m \geq [(12.S)]^{1/2} / (C_1.E)^{1/2}. L^5/2.\rho$$

$$m \geq [(12.S)^{1/2} / (C_1.L)^{1/2}] \times (L)^3 \times [\rho / (E)^{1/2}]$$

Parantez içindeki ifadede **L^3** ün üst tarafta kök **L** dışına çıkabilmesi, **L** nin paydaya inebilmesi için $[(L)^{5/2} = [L^3 / (L)^{1/2}]$ şeklinde ayrılması kafidir.

$m \geq [(12.S)^{1/2} / (C_1.L)^{1/2}] \times (L)^3 \times [\rho / (E)^{1/2}]$

$m \geq$ (Fonksiyon şartı) x (Geom.para) x (Mlz. Şartı)

Buradan şu yorumu yapabiliriz.

Hafif rijit bir kiriş için en iyi malzeme kütlesi, m'nin (ρ / $E^{1/2}$) den büyük olan malzemeler, kütlesi minimum da olan malzemelerdir. Önceden olduğu gibi bunu tersine çevirirsek ;

($E^{1/2}$ /ρ) değeri ise, min kütleli ve performansı maximum yapacak olan malzeme demektir.

Benzer şekilde, Bir panel w genişliğinde, L boyunda düz bir plaka olsun. Yalnızca serbest değişken, t kalınlıktır.

Böyle bir durumda malzeme indis'i

$M = (E^{1/3}) / \rho$ şeklinde olur.

Lütfen bu ana kadar yapılan işleme dikkat ediniz !

- Çubuk veya kiriş uzunluğu L önceden belli,
- Ama kesiti (A) yı değiştirmede serbestiz.
- Amaç kütleyi min. yapmak, bunun için denklemi yazıyorum.(malzeme indisi)
- Yine amacımız, parça fonksiyonu yerine getirsin.
- Ama bir sınırlama söz konusu.

- Kirişe basma işlemi yapılırken, parçada akma meydana gelmeden parça (F) yükünü taşımalıdır.
- Bunun için serbest değişkeni elimine ediyoruz.
- Bütün bunlar A ve özelliklerin birleşimi olan malzeme indisini max. yapmak içindir.

SONUÇ OLARAK ;

PERFORMANS ‘ı bir denklem ile ifade etmek gerekirse, P = f (F, G, M) şeklinde ifade edebiliriz.

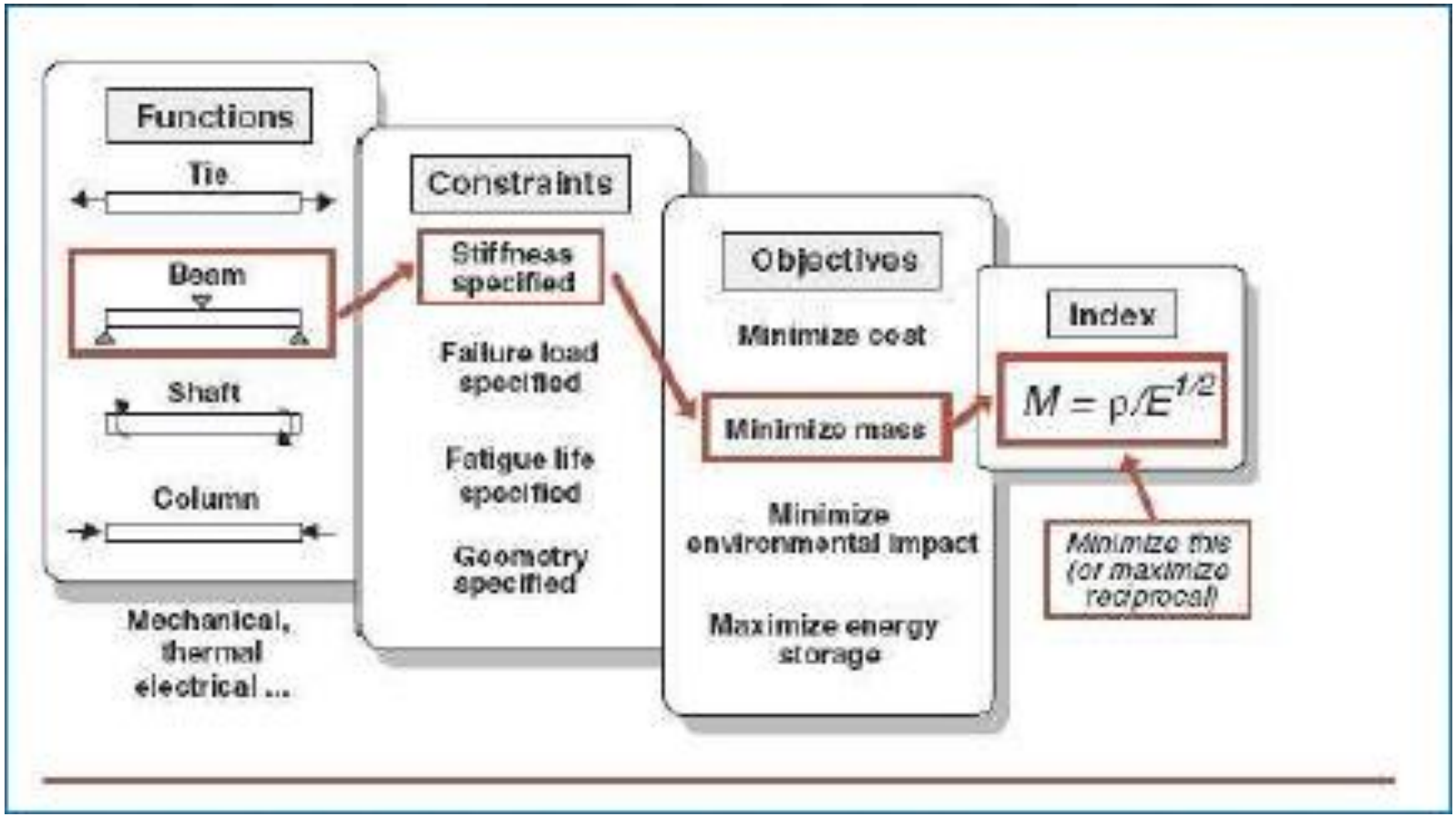
P = [Fonksiyonel şartlar x Geometrik parametreler x Malzeme özellikleri] demektir.

- Fonksiyonel şartlar'dan, yapı elemanlarının yük taşımaları,ısı transfer etmeleri, enerji depolamaları vs. iş yapmaları beklenir.Bu şartlar tasarımla belirlenir.

- Bir çubuk belirlenmiş bir çekme yükünü taşımalı, bir yay, kuvveti geri verebilmeli, Isı eşanjörü , belli bir ısı akısını taşımalı gibi.

- En uygun tasarım, Performansı minimize eden veya maximize eden **MALZEME SEÇİMİ** ve **geometrik parametre** seçimi ile olur..

Son olarak şunu söyliyelim. Fonksiyon, Sınırlamalar ve Amaç bizi MALZEME İNDİS 'ini belirlemeye götürür.



Prof.ASHBY SEÇME YÖNTEMİ ÖZETİ (PROSÜDÜRÜ)

Malzeme seçme prosüdürünü 4 basamakta toplayabiliriz.

1. DÖNÜŞTÜRME

Basitçe söylemek gerekirse ;

* Tasarımla sınırlandırılan malzeme özelliklerini belirtme,
* Mükemmellik kriteri olarak kullanılan min. kütle, max. performansı nasıl kullanacağımıza karar verme,
* Sınırlamalardan birini kullanarak serbest değişkenlerden birisinin yerini alma,

* Mükemmellik kriterini optimize eden malzeme özelliklerinin birleştirilmesini iyi okuyabilme, özetleyebiliriz. (Arka Sayfadan tercümeyi okuyunuz)

Translation

Step	Action
1	Define the design requirements: (a) Function: what does the component do? (b) Constraints: essential requirements that must be met: stiffness, strength, corrosion resistance, forming characteristics, . . . (c) Objective: what is to be maximized or minimized? (d) Free variables: what are the unconstrained variables of the problem?
2	List the constraints (no yield: no fracture: no buckling, etc.) and develop an equation for them if necessary
3	Develop an equation for the objective in terms of the functional requirements, the geometry and the material properties (the objective function)
4	Identify the free (unspecified) variables
5	Substitute for the free variables from the constraint equations into the objective function
6	Group the variables into three groups: functional requirements, F, geometry, G, and material properties, M, thus Performance metric $P \leq f_1(F) \cdot f_2(G) \cdot f_3(M)$ or Performance metric $P \geq f_1(F) \cdot f_2(G) \cdot f_3(M)$
7	Read off the material index, expressed as a quantity M, that optimizes the performance metric P. M is the criterion of excellence.

Tablo'dan Dönüştürme'nin adımları :

1.Adım : Aşağıdaki tasarım şartlarını tanımlayın?

a)-Fonksiyon –Bu parça ne iş yapar?

b)-Sınırlamalar - Karşılanması gereken asıl gereksinimler : (rijitlik, mukavemet, korozyon direnci, şekillendirme özellikleri)

c)-Amaç- Nasıl min. kütle max. performans elde edilecek?

d)-Serbest değişkenler –Problemin serbest değişkenleri nelerdir?

2.Adım - Kısıtlamalar için liste yap (akma yok, kırılma yok, buruşma yok, vs.)ve eğer gerekiyorsa, bunlar için bir denklem geliştir.

3.Adım - Fonksiyon şartları, geometri şartları ve malzeme özellikleri ifadelerinde amacını gerçekleştirmek için bir denklem geliştir (Amaç fonksiyonu)

4.Adım - Serbest değişkenleri tanımlayınız?

5. Adım - Amaç fonksiyonu içinde sınırlayıcı denklemlerden serbest değişkenler yerini alsın.

6.Adım - Üç grup değişken ;

- F (Fonksiyonel şartlar)

- G (Geometri)
- M (Malzeme özellikleri)

Böylece performans ölçütü ya :

$$P \leq f_1(F).\ f_2(G)\ .f_3(M)$$

veya performans ölçütü yada ;

$$P \geq f_1(F)\ .f_2(G)\ .\ F_3\ (M)$$

7.Adım - Malzeme indisini iyice oku! M miktar olarak açıklanmış, performans ölçütünü optimize eder. M mükemmellik kriteridir.

Çeşitli durumlar için belirlenmiş MALZEME MALZEME İNDİSleri aşağıdaki tablo'da verilmiştir.

Examples of material-indices

Function, objective, and constraints	Index
Tie, minimum weight, stiffness prescribed	$\frac{E}{\rho}$
Beam, minimum weight, stiffness prescribed	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$
Beam, minimum weight, strength prescribed	$\frac{\sigma_y^{2/3}}{\rho}$
Beam, minimum cost, stiffness prescribed	$\frac{E^{1/2}}{C_m\rho}$
Beam, minimum cost, strength prescribed	$\frac{\sigma_y^{2/3}}{C_m\rho}$
Column, minimum cost, buckling load prescribed	$\frac{E^{1/2}}{C_m\rho}$
Spring, minimum weight for given energy storage	$\frac{\sigma_y^2}{E\rho}$
Thermal insulation, minimum cost, heat flux prescribed	$\frac{1}{\lambda C_p\rho}$
Electromagnet, maximum field, temperature rise prescribed	$\frac{C_p\rho}{\rho_e}$

ρ = density; E = Young's modulus; σ_y = elastic limit; C_m = cost/kg; λ = thermal conductivity; ρ_e = electrical resistivity; C_p = specific heat

Tablo . Malzeme Indis Örnekleri

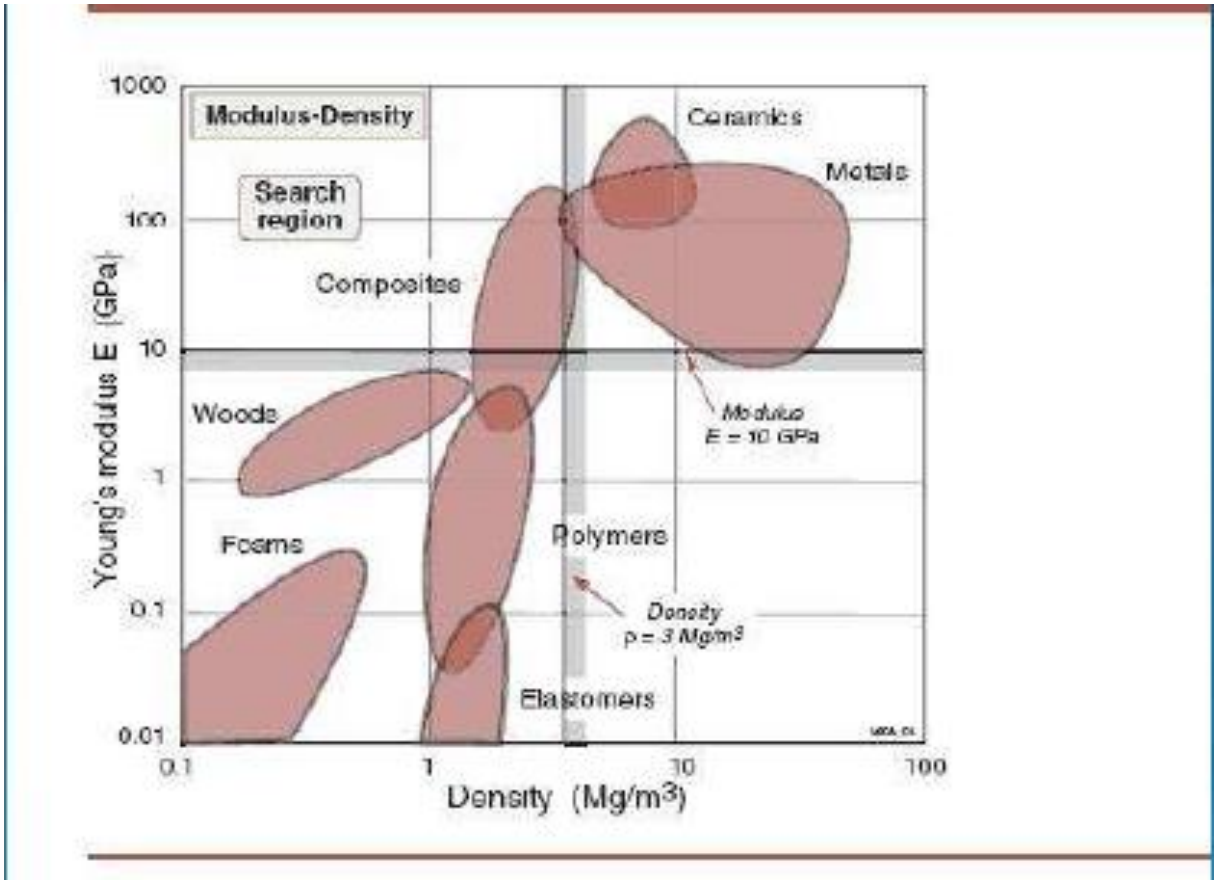
FONKSİYON, AMAÇ VE SINIRLAMALAR

- Bağlama, min ağır. öngörülen rijitlik (E/ρ)
- Kiriş, min ağır. öngürülen rijitlik $(E^{1/2}/\rho)$
- Kiriş, min ağır. öngürülen mukavemet $(\sigma^{2/3}_{ak}/\ \rho)$
- Kiriş, min fiyat. öngürülen rijitlik $(E^{1/2}/C_m\rho)$
- Kiriş, min fiyat.öngürülen muk. $(\sigma_{ak}{}^{2/3}/C_m\rho)$
- Kolon, min.fiyat, öng.buckling yük $(E^{1/2}/C_m\rho)$
- Yay ,verilen energ. depolayan min.ağır $(\sigma_{ak}{}^2\ /\ E\rho)$
- Isı yalıtımı,min.fiyat,öngörülen sıs akışı $(1/\lambda C_P\rho)$
- Elk.many.,max.alan,öng.sıcak.artışı $[(C_p.\rho)/\ \rho_e]$

2. ELEME
Aşağıdaki E-r kartına bakınız !.

Farzedelim ki, gösterilen şekil üzerinde bir tasarımda

E >10 GPa ve ρ < 3 Mg/cm^3 olsun.



Bu iki değeri kesiştirdiğimizde (search region) bakacağımız alan belli olur.

Korozyon direnci, aşınma direnci, şekillendirilebilme gibi az ölçülebilir özelliklerin hepsi, birincil sınırlar olarak görülebilir.

$A > A^*$

VEYA

$A < A^*$ şeklinde alınacaktır.

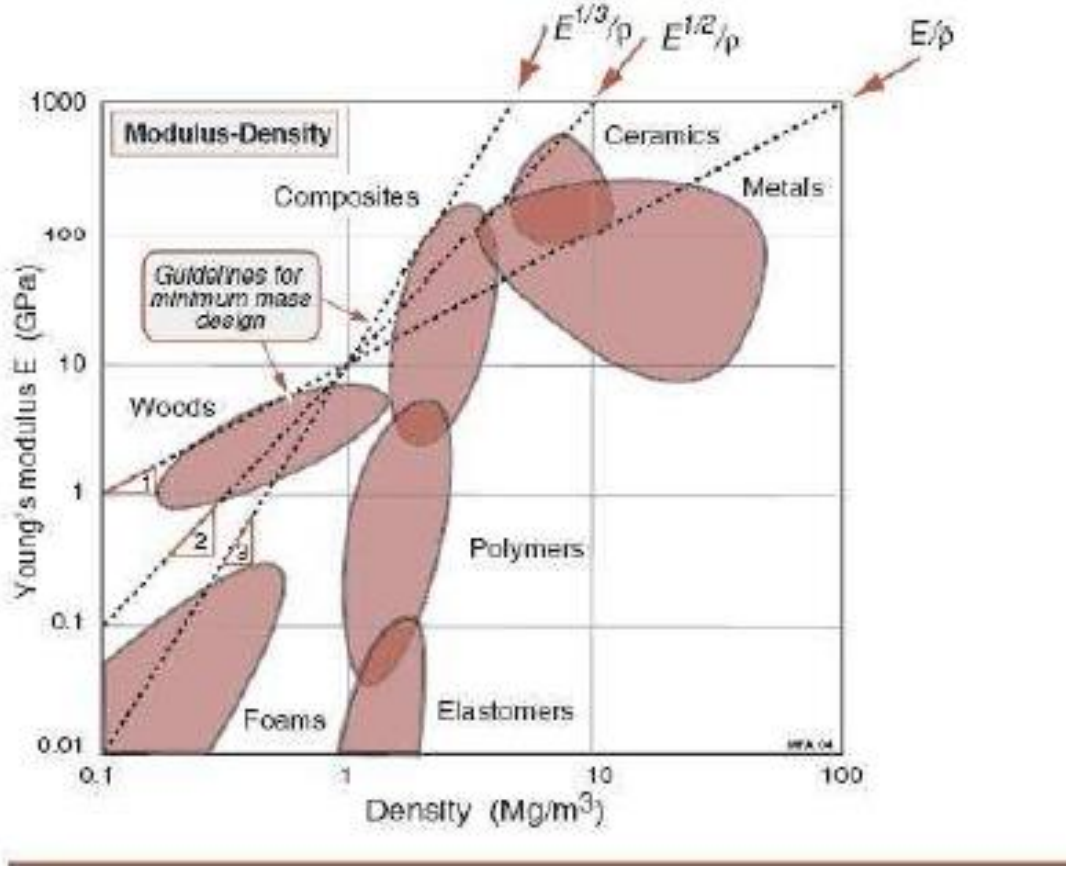
Burada A örnek olarak alalım, işletme sıcaklığı bir özelliktir. A^* İSE, BU ÖZELLİĞİN KRİTİK BİR DEĞERİ'DİR. Tasarımla ayarlanır. Ve aşılması gereklidir. Veya korozyon hızı örneğinde olduğu gibi aşılması gerekmez.

* Malzeme özellik limitlerini uygulamada acele etmemek gerekir. Onların etrafında mühendise bir yön verme olabilir. Çok ısınan bir parça, soğutmalı olabilir. Korozyona uğrayan, bişey koruyucu bir film ile kaplanabilir, gibi.

* Pek çok tasarımcı kırılma tokluğu (K_{IC}) için özellik sınırlarını uygular. Sünekliliği (ε_f) olan malzemeler üzerinde ısrarcı olur. Başparmak kuralı gibi, gerilim konsantrasyonuna tek toleransı garanti etmek için K_{IC} >15 MPa.$m^{1/2}$ ve ε_f >%2 gibi uygulanır. Bunu yapmakla, malzemeler elimine edilir ki, tasarımcı bunu iyi amaçla kullanabilsin. (Tasarımın başlangıcında dikkatsiz bir adım da, tüm seramik ve plastikleri elemek için sınırlar sadece ε_f ve K_{IC} için dikkate alınır). Bu durumda bir çok seçenek mümkün olduğunca açık tutulur.

Aşağıdaki diyagrama bakınız !

E ye karşı ρ çizilmiştir. Log skalası olarak da malzeme indisleri (E/ρ), $(E^{1/2}/\rho)$ ve $(E^{1/3}/\rho)$ şeklinde çizilmiştir.



Şart şudur.

$E / \rho = C$ sabittir. Her iki tarafın log'u alınırsa;

$\text{Log } E = \text{Log } \rho + \text{Log } C$ Buradaki sabit C değerine tekabül eden her çizgi Log ρ ya karşı Log E eğrisinin eğimi 1 olan düz paralel çizgilerden bir ailedir.

Şart şöyle ise ;

$E^{1/2} / \rho = C$ sabittir. Yine her iki tarafın

log'unu alırsak ;

$\text{Log } E = 2 \text{ Log } \rho + 2 \text{ Log } C$

Bu kez eğim 2 demektir.

Şart şayet ;

$E^{1/3} / \rho = C$ olursa, Her iki tarafın Log. Alırsak o zaman öncekilerde olduğu gibi eğim 3 olur.

Biz seçme kuralları olarak bu çizgilere bakacağız, başvuracağız.

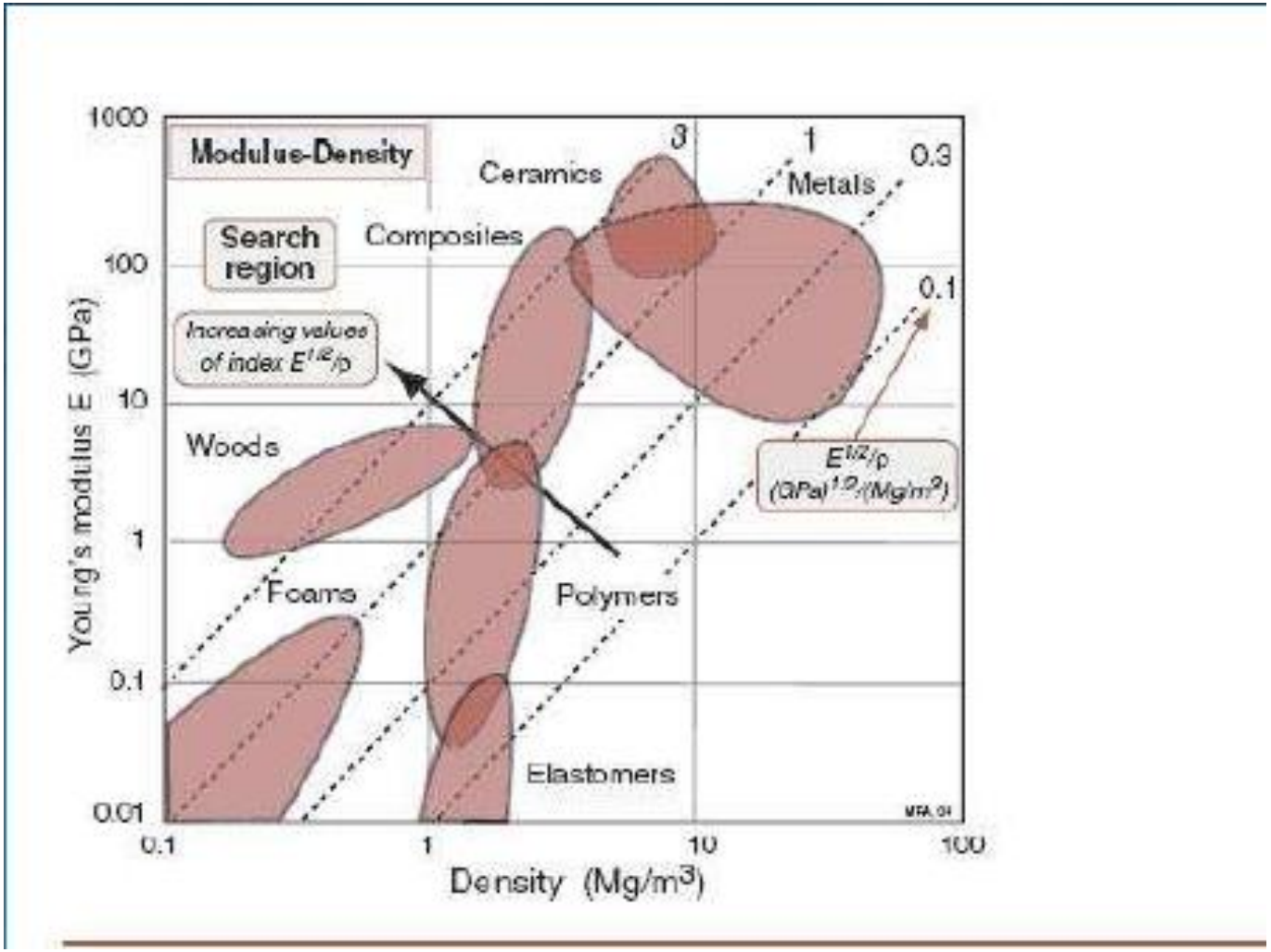
3. SIRAYA KOYMA : KARTLARDAKİ İNDİSLER

Bundan sonraki adım, aramaktır. Malzemelerin alt kümesinden, özellik sınırları bulmak, parçanın performansını maximum kılan özellikleri bulmaktır.

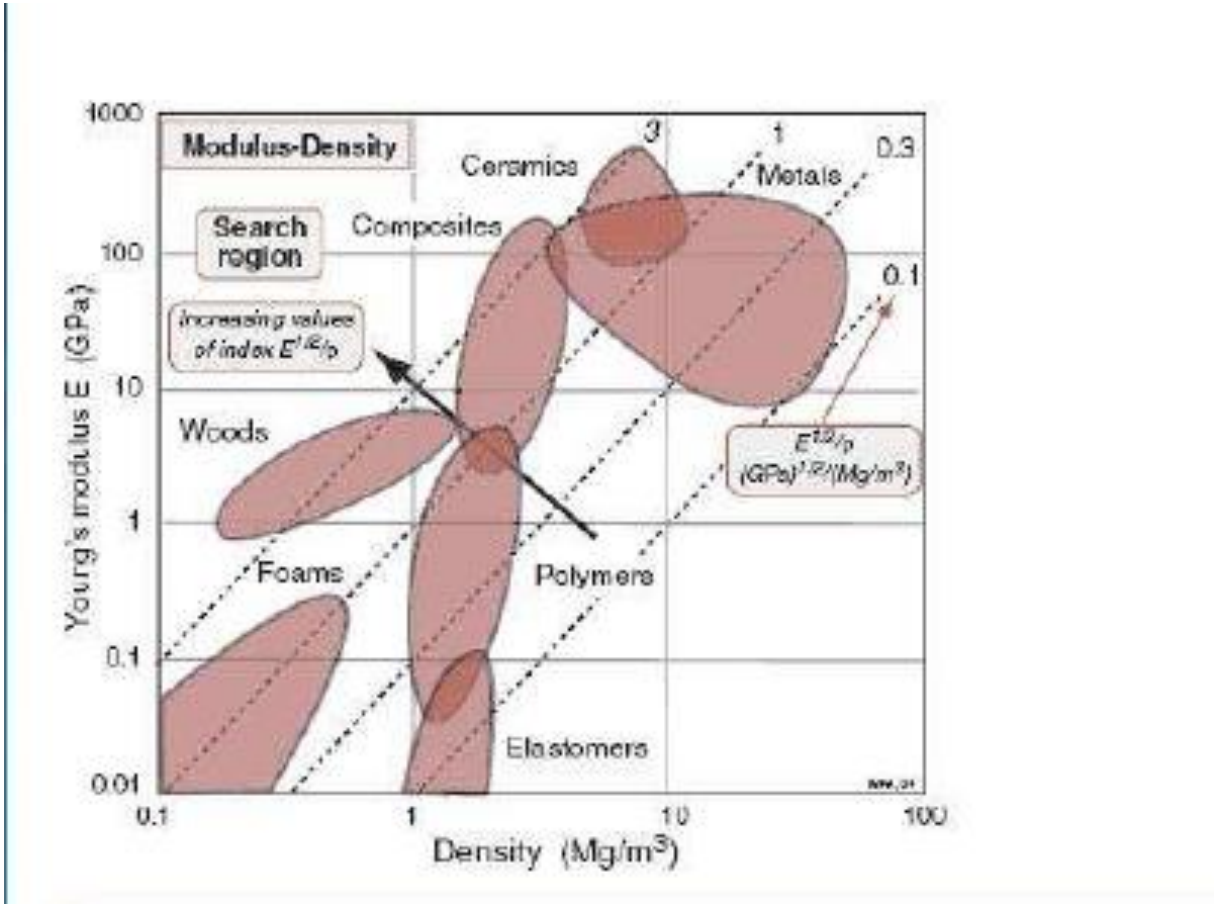
Biz, misal olarak parçanın hafif olanını, rijit olanını kullanacağız. Benzer şekilde başka "malzeme indis" lerini de kullanırız.

Malzeme indisleri bize o indise ait paralel çizgiler ailesinin eğimi'ni verirler. Bundan önceki bölümdeki kartalar bize bu şekilde rehber olacaklardır.

Şimdi max.performansı verecek malzeme alt gruplarını iyice okumak artık kolay olacaktır.



Sabit $(E^{1/2})/\rho$ çizgisi üzerinde olan tüm malzemeler eşit şekilde rijit ve hafif kiriş olabilecek şekilde rol oynayacaklardır. Bu çizginin üzerindekiler daha iyi, altındakiler ise uygun olmayan malzemeler olacaktır.

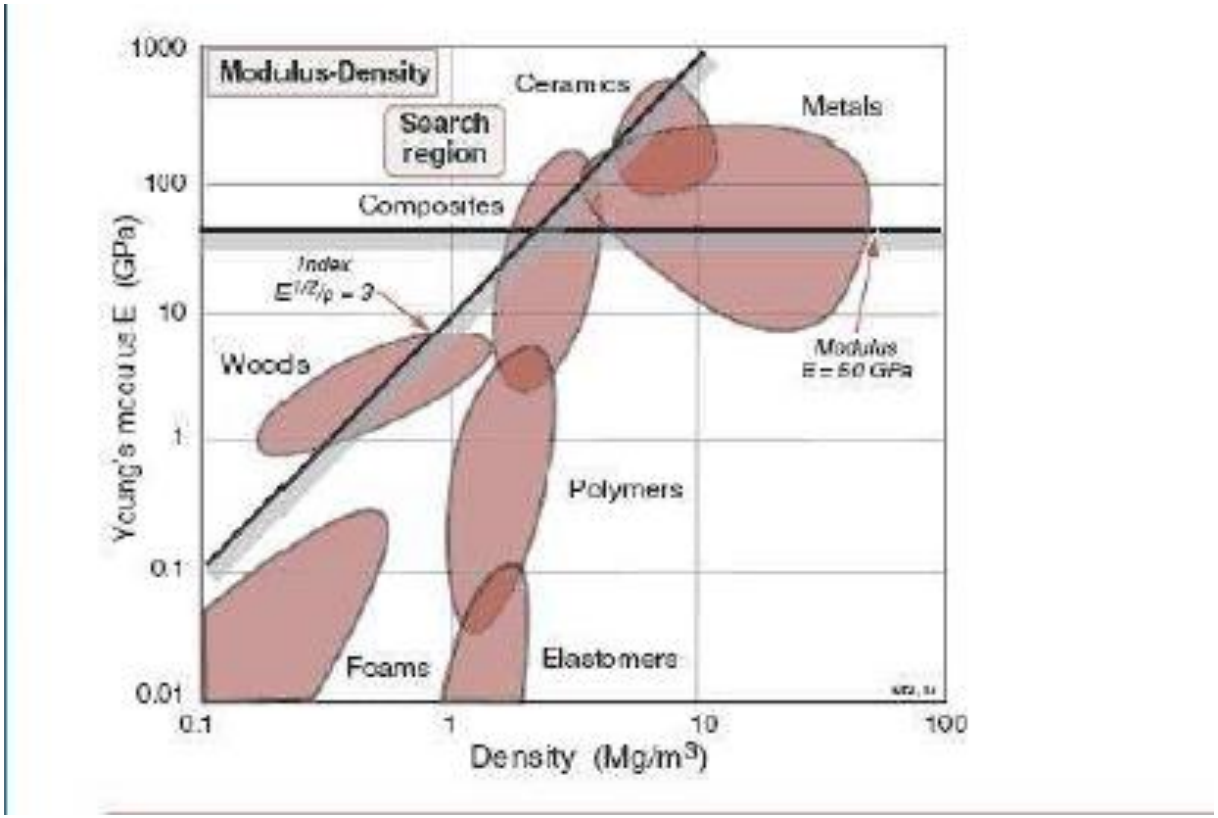


Modül-Yoğunluk tablosuna baktığımızda $(E^{1/2}) / \rho$ değerlerinin 0,1 den 3 e kadar paralel çizgiler halinde gittiğini görüyoruz.

M = 1 olan bir malzeme bize bu birimlerde tek tek bu kirişin M = 0,1 olan onda bir demetini sunmaktadır. Yani aynı indisin alt kümesi olarak düşünülmelidir.

Çizgi mantıklı bir şekilde az sayıdaki aday malzemeyi içeren sahayı göstermektedir.

Bu durum şematik olarak aşağıdaki Modül-yoğunluk malzeme özellik kartında Çapraz kesiştirilmiş vaziyette görülmektedir. Özellik sınırları ilave yapılabilir.



Dar bir araştırma çerçevesi yatay eksende E>50 Gpa Aday malzemelerin kısa listesi indis çizgisinin hareket ettirilmesi ile genişletilir veya daraltılır.

4. DESTEKLEYİCİ BİLGİ

Şimdi artık elimizde aday malzemelerin listesi mevcuttur. Çünkü bir önceki adımda araştırma bölgesinde aday malzemeler tespit edildi.

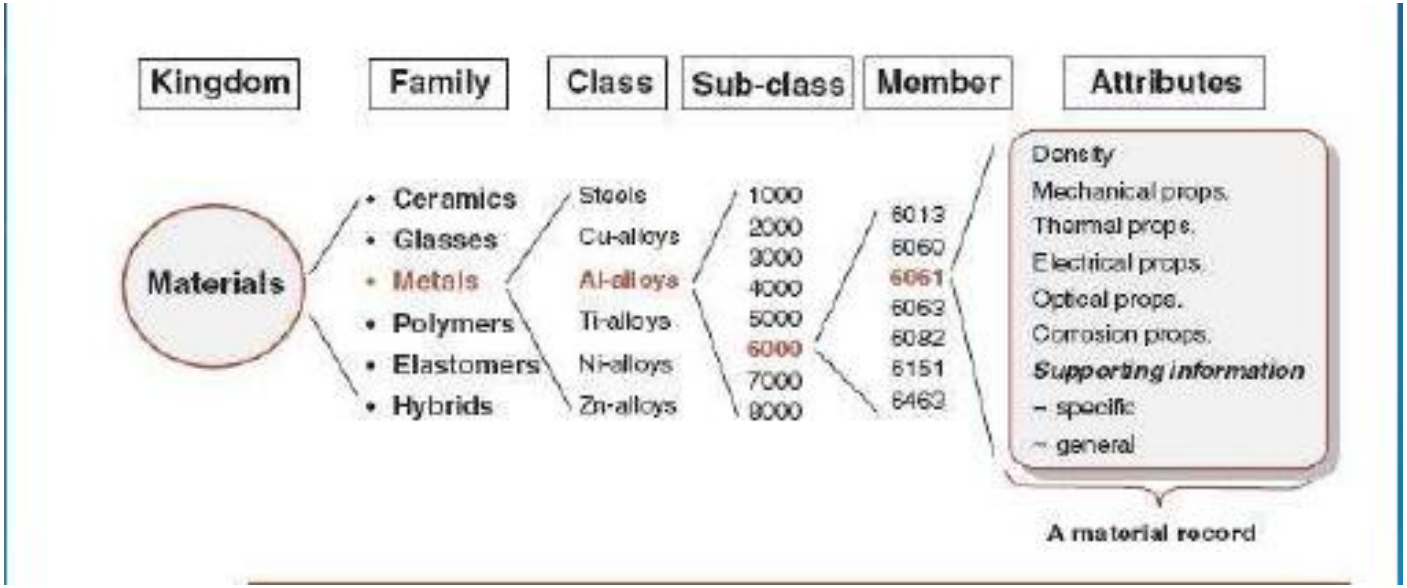
Son adım, malzemelerin derindeki karakterlerini açığa çıkartmaktır.

Bunlar, çevre-malzeme davranışları, veya başka malzemelerle temasta olduğu zaman malzemenin şekli, birleşmesi, yüzey işlemleri ile alakalı olabilir. Bu bilgiler handbook ve internette olabilir.

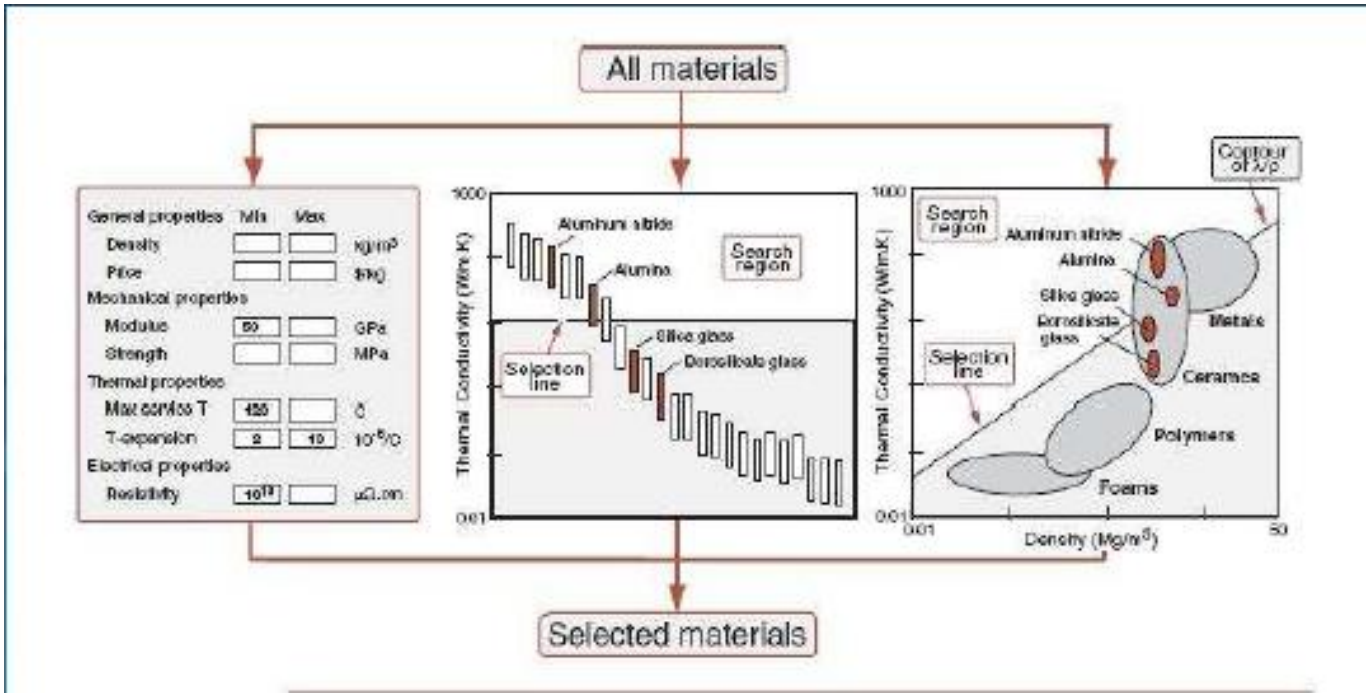
Son malzeme seçimine tüm bu destekleyici bilgi de alınıp, malzemelerin güçlü, zayıf yanları iyice araştırıldıktan ve örnek çalışmalar, hasar analizleri tarandıktan sonra artık malzeme güvenle seçilir.

BİLGİSAYAR YAZILIMI İLE MALZEME SEÇME

Malzeme seçimi CES adı verilen bir örnek yazılımla yapılmaktadır. Aşağıda görüldüğü gibi hiyerarşik bir düzende veri deposu içerir.

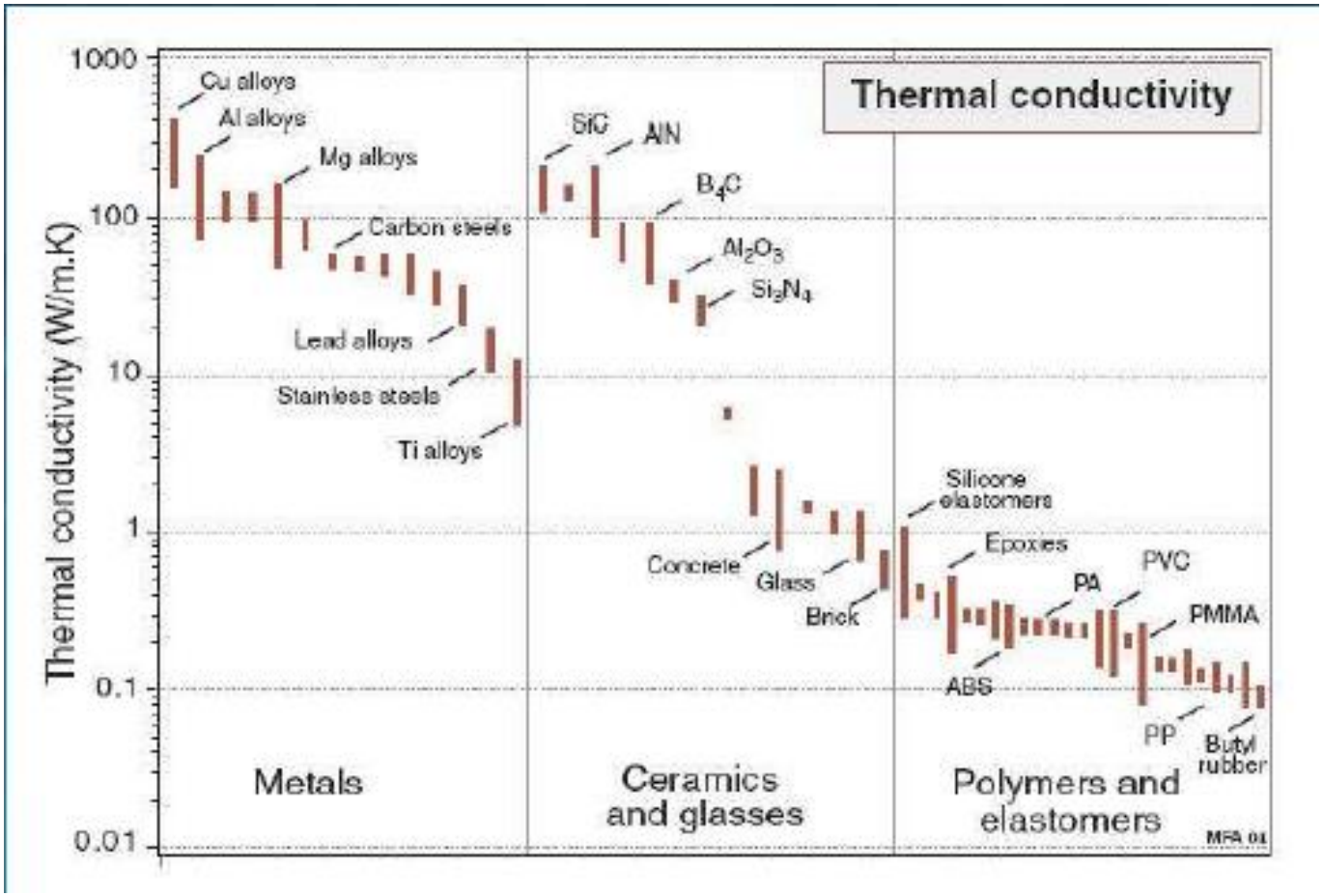


Aşağıda görüldüğü şekilde malzemelerin sorgulandığı bir ARAMA MOTORU kullanılır.

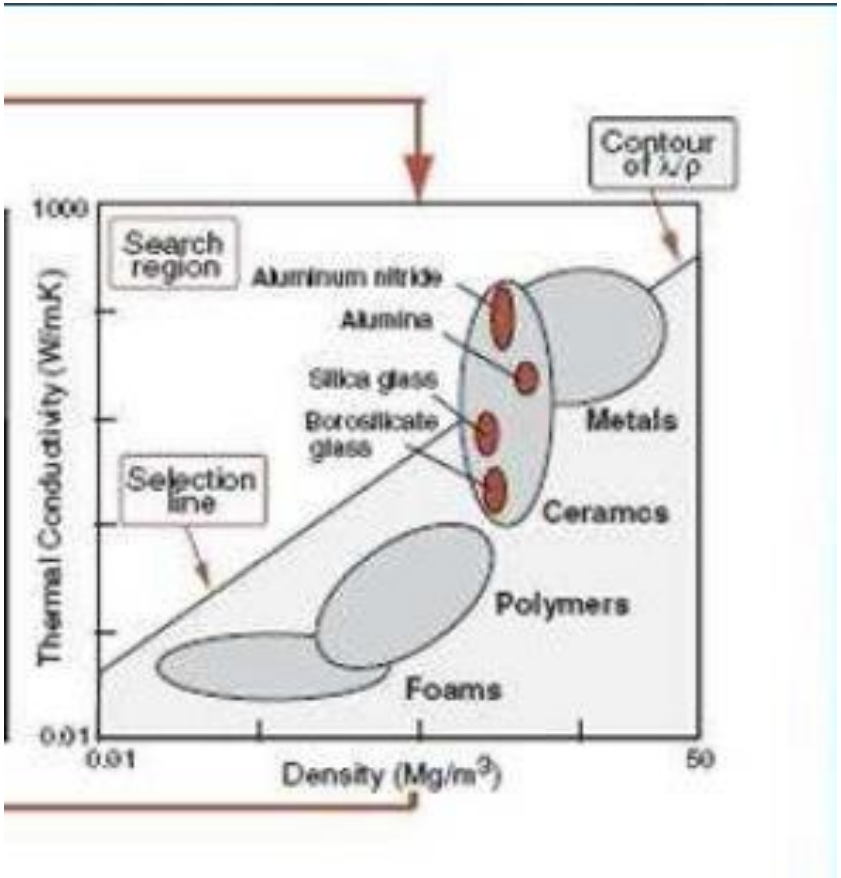


Sol kısım'da özelliklerin girildiği max. ve min değerler vardır. Limit dışında kalan malzemeler reddedilir.

Merkez'de sorgulama için 2.ci bir yol gösterilmiştir. Önceden gösterildiği gibi bir çubuk kart grafiği görülmektedir.



Sağda ise, baloncuk şeklinde gösterilen malzeme özellik kartı'nda hem sınırlamalar hem de malzemelerin ayrılması gösterilmiştir.



Sıralama amacıyla kullanılan kartta gölgeli alanlar daki malzemeler elenmiştir. Bakınız !

Kalan malzemeler arasından seçim yapılacaktır.

Seçilen malzemeler de sol taraftadır. Bunlar üst sıra seçilen malzeme adaylarıdır.

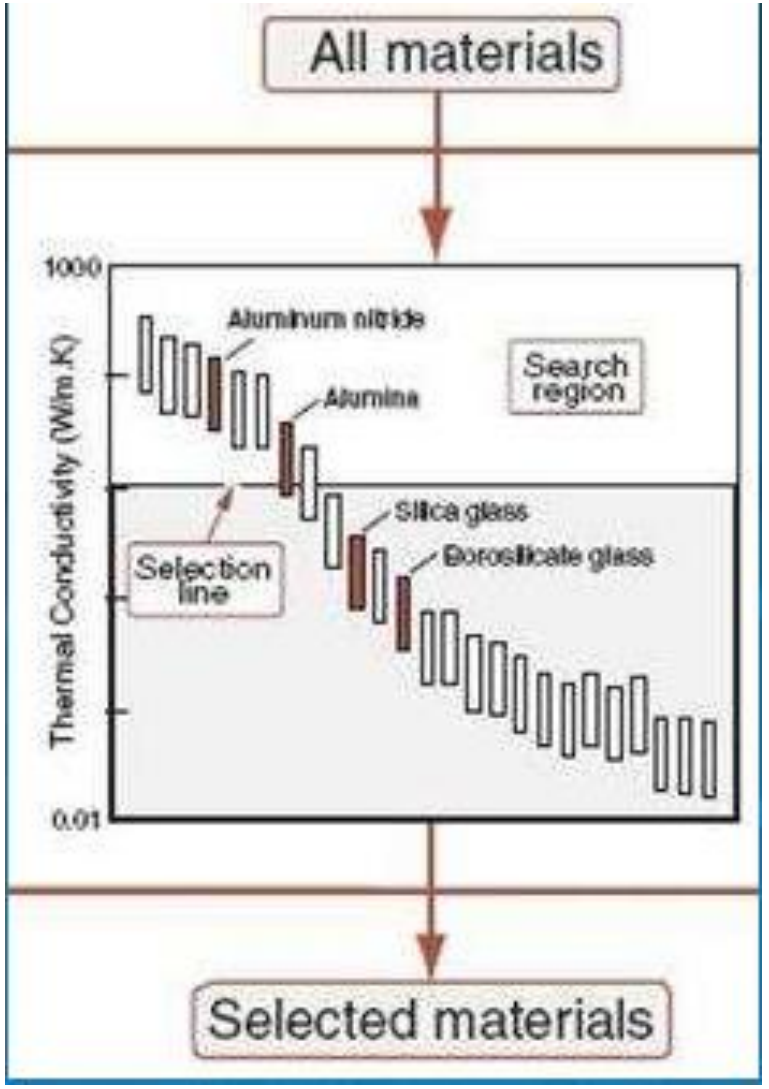
Daha önce chip için ısı giderici bir malzeme seçim örneği verilmişti. Aşağıdaki tablo'ya bakınız.

Function, expanded constraints, objective, and free variable for the heat sink

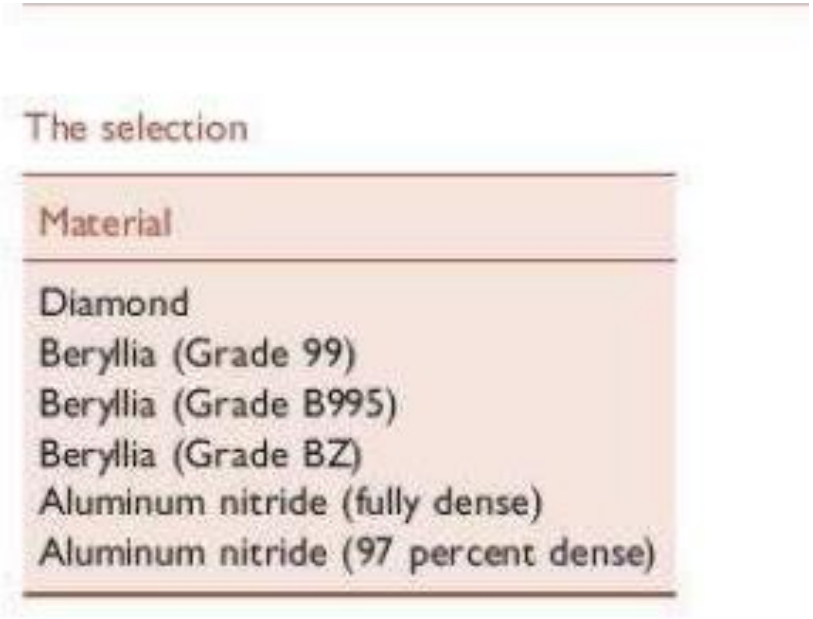
Function	Heat sink
Constraints	• Material must be "good insulator", or $\rho_e > 10^{19}\ \mu\Omega$cm • Modulus $E > 50$ GPa • Maximum service temperature $T_{max} > 120°C$ • Expansion coefficient $2 \times 10^{-6} < \alpha < 10 \times 10^{-6}/°C$ • All dimensions are specified
Objective	Maximize thermal conductivity, λ or conductivity per unit mass λ/ρ
Free variables	Choice of material

Şimdi buradaki tabloya bakarak CES yazılımı ile malzeme seçmeye çalışsaydık. Önce E > 50 GPa

Modül şartı , özdirenç $\rho_e > 10^{19}$ $\mu\Omega cm$, α genleşme katsayısı = $(2\text{-}10).10^{-6}$ / ^oC, ve Maximum işletme sıcaklığı 120 ^oC nin üzerinde olması sol pencerede özellik sınırları olarak girilir. Bu değerlerle malzemeler taranır. Termal iletkenlik (λ) ile ilgili taramalar aşağıdaki gibi orta kısım da gösterilmiştir. Üst taraftaki malzemeler seçilecek olanlardır. Elenenler aşağıda kalanlardır.



Aşağıda üst sırada yer alan ve seçilebilecek aday malzemeler sırasıyla görülmektedir.



The selection

Material
Diamond
Beryllia (Grade 99)
Beryllia (Grade B995)
Beryllia (Grade BZ)
Aluminum nitride (fully dense)
Aluminum nitride (97 percent dense)

Bu CES yazılımı 1 tane değil 2 tane veri tabanı içermektedir.1.ci veri tabanında az malzeme vardır. (takriben 100) 2.ci veri tabanında daha fazla sayıda (takriben 3000) malzeme bulunmaktadır.

2.ci veri tabanında detaylı arama sonucu ;

1. Elmas,
2. Berillia (3 değişik tipi olan)
3. Aluminyum nitrat (2 tipi olan)

Elmas olağanüstü bir malzeme ancak çok pahalıdır.

Beriliyum oksit zehirlidir.

Geriye Aluminyum nitrat kalıyor.

Aluminyum nitrat'ın tek cinsinin özellikleri yazılmıştır.

Destek bilgi alınabilir.

Aluminyum Nitrat ile ilgili "Destek bilgi" notu aşağıdaki gibi elde edilir. Kısaca özetlersek ;

Part of a record for aluminum nitride, showing structured and unstructured data, references and the web-search facility

Aluminum Nitride

General properties		*Thermal properties*	
Density	3.26–3.33 Mg/m^3	Thermal conductivity	80–200 W/m.K
Price	*70–95 $/kg	Thermal expansion	4.9–6.2 µstrain/K
Mechanical properties		Max. service temperature	*1027–1727 °C
Young's M modulus	302–348 GPa		
Hardness—Vickers	990–1260 HV	*Electrical properties*	
Compressive strength	1970–2700 MPa	Resistivity	1e18–1e21 µΩ.cm
Fracture toughness	2.5–3.4 MPa.m$^{1/2}$	Dielectric constant	8.3–9.3

Supporting information

Design guidelines. Aluminum nitride (AlN) has an unusual combination of properties: it is an electrical insulator, but an excellent conductor of heat. This is just what is wanted for substrates for high-powered electronics; the substrate must insulate yet conduct the heat out of the microchips. This, and its high strength, chemical stability, and low expansion give it a special role as a heat sinks for power electronics. Aluminum nitride starts as a powder, is pressed (with a polymer binder) to the desired shape, then fired at a high temperature, burning off the binder and causing the powder to sinter.

Technical notes. Aluminum nitride is particularly unusual for its high thermal conductivity combined with a high electrical resistance, low dielectric constant, good corrosion, and thermal shock resistance.

Typical uses. Substrates for microcircuits, chip carriers, heat sinks, electronic components; windows, heaters, chucks, clamp rings, gas distribution plates.

AlN ,

* Elektriğe karşı yalıtkandır

* Mükemmel ısıl iletkenliği vardır

* Chip altındaki parça ısıyı dışarı göndermesi için yalıtılmalıdır. Onun yüksek mukavemeti ve kimyasal kararlılığı ve düşük genleşme güç elektronikleri için ısı giderme olarak AlN'nin özel bir rolü vardır.

* AlN bir toz metallurjisi ürünüdür.

Teknik not : AlN , özellikle yüksek termal iletkenliği, yüksek elektrik direnci birleşir ve düşük elektrik sabitinin olması, iyi korozyon direncinin olmasına ve iyi termal şok direncinin olmasına sebep olur.

Başlıca kullanım yerleri ;

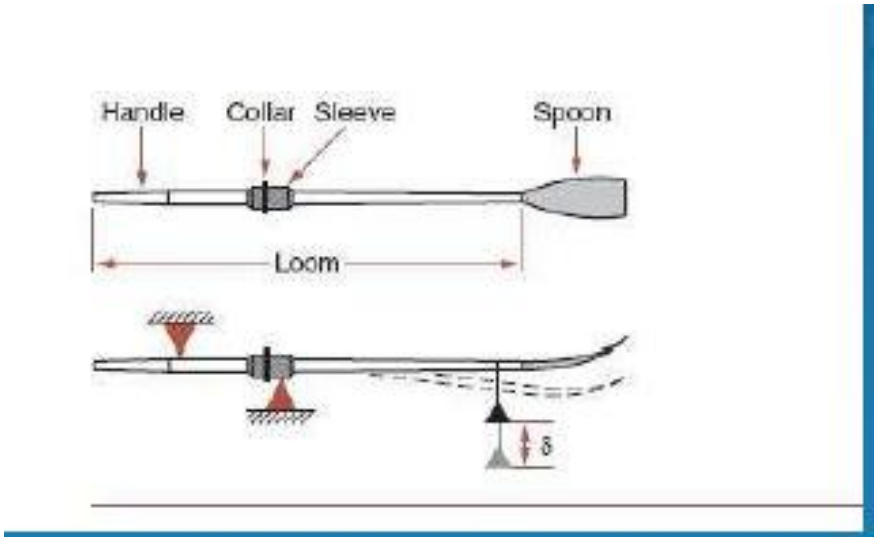
* Mikrochipler için çhip taşıyıcıları,
* Isı giderici olarak,
* Kelepçe contası olarak,
* Gaz dağıtım plakaları olarak, sayılabilir.

MALZEME SEÇİMİ İÇİN ÖRNEKLER-I

ÖRNEK - 1.

BOT KÜREK MALZEMESİ SEÇİMİ

Bot küreğini eğilmeye çalışan bir kiriş gibi düşünebiliriz. Bu kürekçi açısından mümkün olduğunca hafif olmalı, aynı zamanda da kürekçi küreğe asıldığında doğan eğilme momentine de dayanıklı (sert) olması gerekir.



- Kürekte Mukavemet kısıtlamasını karşılamak kolaydır.
- Kürek yük altında belirli bir elastik esnemeye uygun olmalıdır.
- Baştaki kürek resmine bakarsanız küreğin uç kısmı kaşık görünümündedir.
- Alt kısımda elastik esneme gösterilmiştir. Tasmadan 2,05 m uzakta 10 kg ‘lık bir yük uygulandığında yumuşak bir kürekte bu esneme 50 mm, sert olan kürekte 30 mm ölçülür.

- Kürek siparişi verecek kişi elastik esneme payını vermek zorundadır.
- Kürek hafif olmak zorundadır, zira bot'un kendi ağırlığı+küreklerin ağırlığı su içindeki alanı artırır.

Öyleyse ;

1. kürek hafif olmalı
2. dayanıklı (sert) olmalı
3. kiriş görünümlü kabul edebiliriz.

O zaman hafif ve sert kirişte MALZEME İNDİSİ

$M = E^{1/2} / \rho$ şeklindeydi.

Başka bir kısıtlama da, kürekler düşer, uçları çarpar bu nedenle tok malzeme olmalıdırlar.

Design requirements for the oar

Function	Oar — meaning light, stiff beam
Constraints	• Length L specified • Bending stiffness S specified • Toughness $G_{1C} > 1$ kJ/m^2
Objective	Minimize the mass
Free variables	• Shaft diameter • Choice of material

Kürek için tasarım şartları

Fonksiyon : Kürek hafif fakat sert olmalı

Sınırlama : Uzunluğu belli ,

Eğilme muk. belli ,

Tokluk $G_{IC} > 1$ kJ/m^2

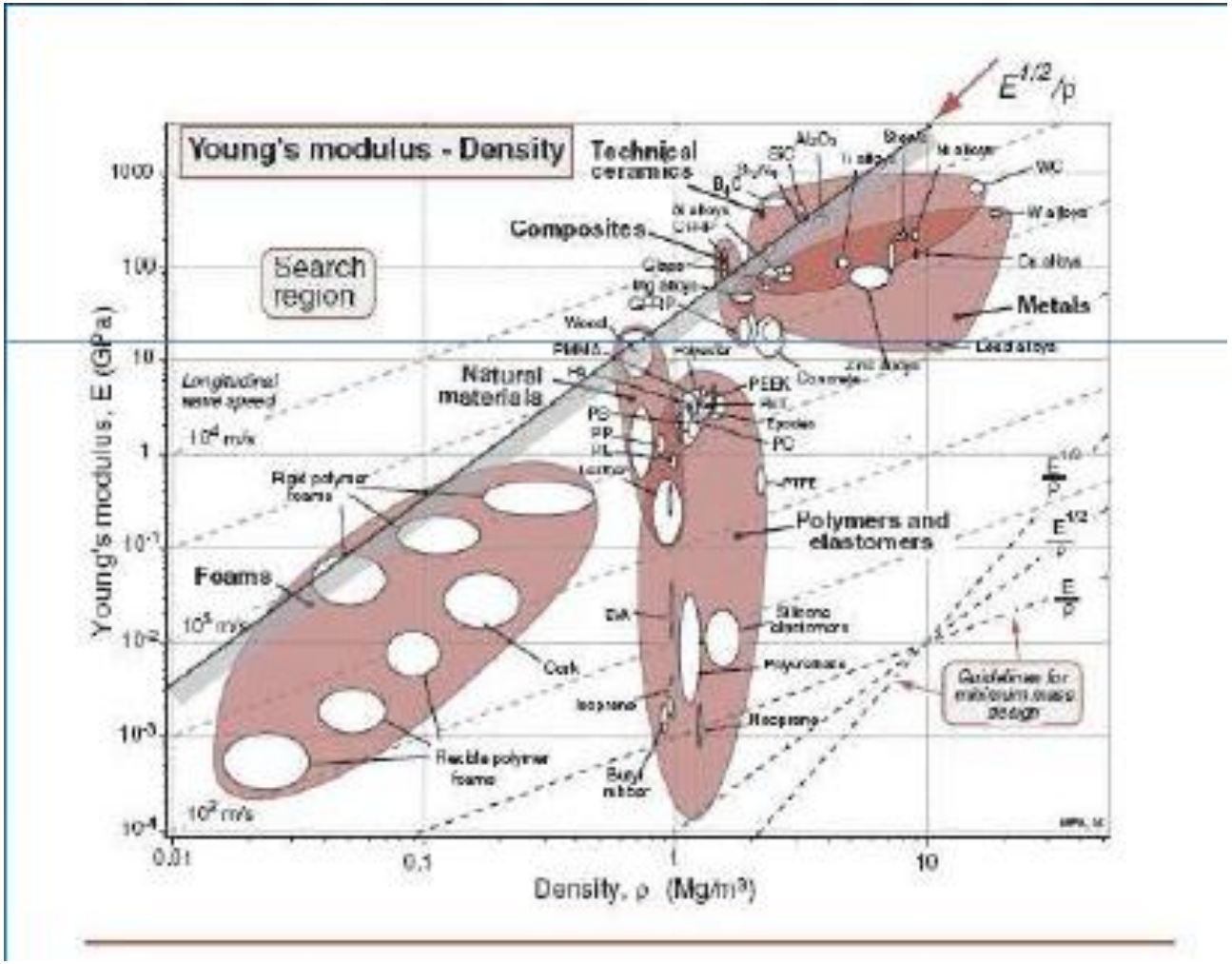
Tokluk $G_{IC} > 1$ kJ/m^2

Amaç : Min.Kütle olacak

Serbest değişkenler : - Kürek çapı

- Malzeme seçimi

Şimdi E-ρ diyagramına bakarsak , arama bölgesin de çok az bir grup malzeme mevcuttur.



Material for oars

Material	Index M $(GPa)^{1/2}/(Mg/m^3)$	Comment
Woods	3.4–6.3	Cheap, traditional, but with natural variability
CFRP	5.3–7.9	As good as wood, more control of properties
Ceramics	4–8.9	Good *M* but toughness low and cost high

Diyagramdan çok açık şekilde seramik, ağaç ve kompozit malzemeler seçim olarak gözükmektedirler.

Kürek için malzeme seçimi

Malzeme	Malzeme index (E/ρ)	Yorum
1. Ağaç	(3,4 - 6,3)	Ucuz ama, doğal değişkenliği fazla
2. CFRP	(5,3 – 7,9)	Ağaç kadar iyi ve kontrol edilebilir
3.Seramik	(4.0 – 8,9)	Tokluk düşük maliyet yüksek

Malzeme seçimi sonuçlarının yorumu

Bu sonuçlara göre kürekler ya Ağaç'tan ya da CFRP kompozitten yapılacaktır.

- Ağaçlar 100 yıl önceki gibi elle imal edilmekte, yapışkanla birleştirilmekte ve cilalanmaktadır. 2004 yılındaki fiyatları 250 dolar idi. Ağırlıkları da 4- 4,3 kg civarındadır.

- CFRP kompozit ise ağaca göre daha hafif, aynı sertlikte karbon ve cam fiberle epoxi reçinesi katılarak daha yüksek fiyata mal olmaktadır. Ama 3,9 kg ağırlığındadır. Özellikle karbon fiber çok güçlüdür.

ÖRNEK – 2 -

MASA AYAĞI İÇİN MALZEME SEÇİMİ

Masa tasarımcısı olan Luigi Tavaloni; basitliğe dayanan hafif bir masa tasarlar ;

Şöyle ki ince, silindirik ayaklar üzerinde desteklenmiş bir cam parçası. Ayaklar mümkün olduğunca hafif (masayı rahat hareket ettirmek için) ve sağlam olmalıdır. Masanın üstünü desteklemeli ve üzerine ne konulursa konulsun burkulmadan taşıyabilmelidir.

Ne tür malzemeler tavsiye edersiniz?



A light-weight table with slender cylindrical legs. Lightness and slenderness are independent design goals, both constrained by the requirement that the legs must not buckle when the table is loaded. The best choice is a material with high values of both $E^{1/2}/\rho$ and E.

Design requirements for table legs

Function	Column (supporting compressive loads)
Constraints	• Length L specified • Must not buckle under design loads • Must not fracture if accidentally struck
Objective	• Minimize the mass, m • Maximize slenderness
Free variables	• Diameter of legs, $2r$ • Choice of material

Bu problemin iki hedefi var; hafiflik en az olacak ve uzunluk (incelik) maximum olacak. Tek bir kısıtlama var; burkulmaya karşı direnç. Öncelikle ağırlığın minimize edilmesini ele alalım. Ayak E young modüllü ve ρ yoğunluklu uzun bir kiriştir. Uzunluğu L , maximum kuvvet F'dir.

Tasarım için sabitlenecek şekilde belirlenmiştir. Ayağın

yarıçapı r serbest bir değişkendir. Ayağın kütlesi m 'yi aşağıdaki fonksiyonu kullanarak minimize etmek istiyoruz.

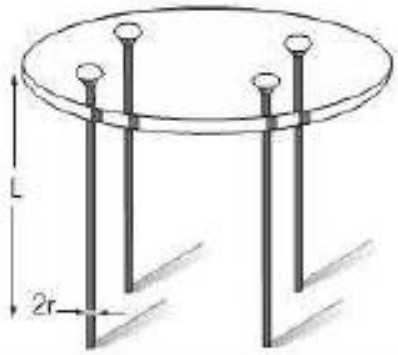
$$m = \pi r^2 L \rho$$

P yükünü burkulmadan taşıyabilirmiyiz? Elastik burkulma kuvveti F_{crit} , uzunluk L ve yarıçap r, olsun

$$F_{crit} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^3 E r^4}{4L^2}$$

F, F_{crit} aşmamalıdır. R'yi serbest değişken olarak alıp, denklemde m / (1/2) 'yi çekerek yerine koyarsak

$$m \geq \left(\frac{4F}{\pi}\right)^{1/2} (L)^2 \left[\frac{\rho}{E^{1/2}}\right]$$



Şekil 6.5 Uzun silindirik ayaklara sahip hafif ağırlıklı masa. Hafiflik ve uzunluk bağımsız Tasarım amaçlarıdır, her ikisi de ayakların yük esnasında burkulmamaları için kısıtlanmıştır. Malzeme seçimi için en iyisi hem E1/2/ hem de E'nin yüksek değerde olmasıdır

Masa ayakları için tasarım ihtiyaçları

Fonksiyon : Kolon görevi yapmak

Sınırlama : Uzunluk L belli, Yük altında burkulmayacak

Kaza ile çarpmalarda kırılmayacak.

Amaç : Kütleyi min. Yapmak, Narin inceliği max.uzun yapmak

Serbest değişkenler : Ayakların çapı 2r,

Malzeme seçme

Malzeme index'inin en yüksek değeri ile her bir malzeme grubunun seçimi için ağırlık minimize edilmiştir.

$$M_1 = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

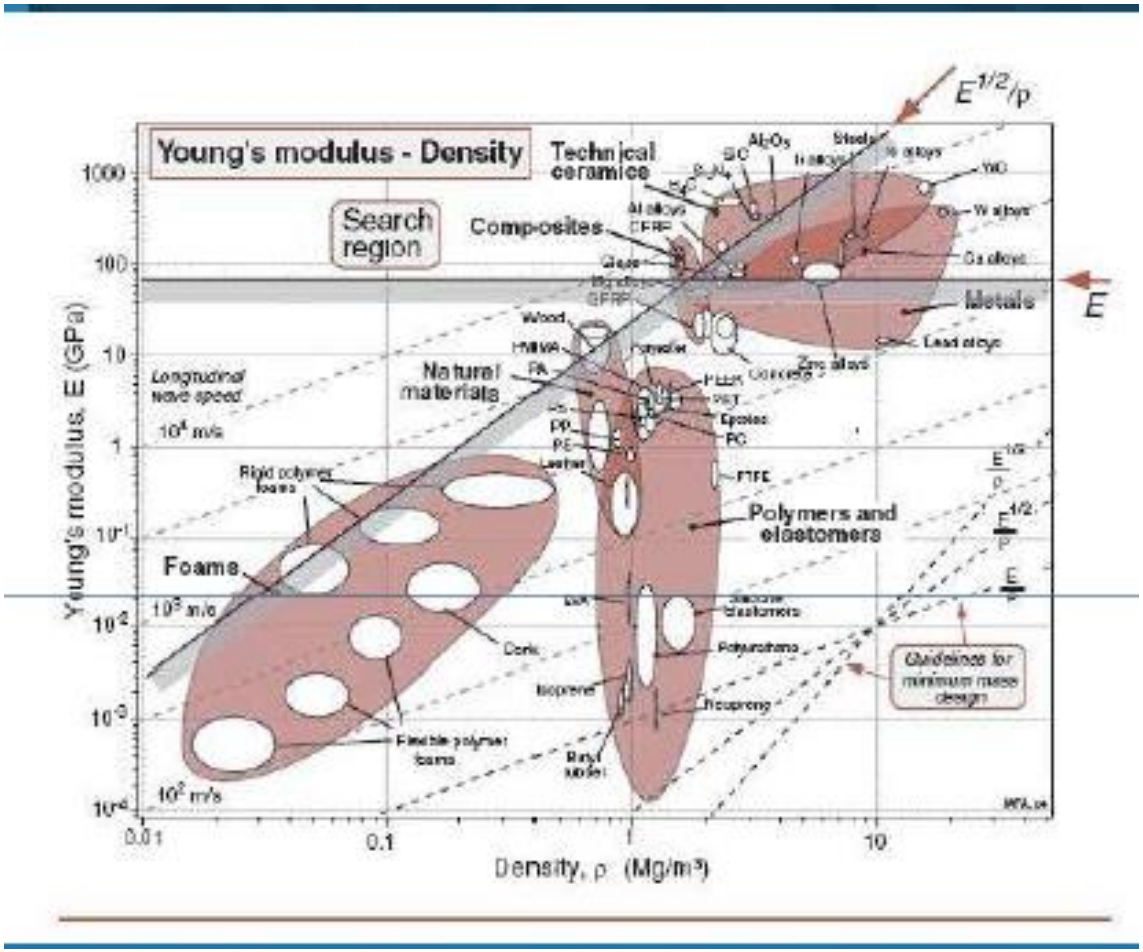
Burkulmayacak en ince ayak için Fcrit değerini denklemde yerine koyarsak ;

$$r \geq \left(\frac{4F}{\pi^3}\right)^{1/4} (L)^{1/2} \left[\frac{1}{E}\right]^{1/4}$$

En ince ayak (malzeme indexinin en yüksek değeri için)

$$M^2 = E$$

Seçim. $E^{1/2} / \rho$ ve E değerlerinin en yüksek değerleri için malzeme arıyoruz. Tekrar E–ρ kartına ihtiyacımız var.



Ağaç iyi bir seçim aynı zamanda CFRP de Seramik amaca uygun , ancak gevrek. CFRP ağaçtan daha yüksek E'ye sahip ve daha hafif.

Seçim CFRP ‘dir. (Karbon Fiber Reinforced Epoksi) Metaller yüksek mukavemete sahip olmalarına rağmen ağırlar. Seramikler çok gevrekler. Geriye ağaç ve CFRP kalıyor. Polimerler de yeterince dayanıklı olmadıkları için seçim dışılar.

Ağaç ve CFRP mantıklı seçim olarak gözükmektedir. Eğer maliyet birinci derecede önemli ise ağaç, değilse CFRP yi kullanırız.

Materials for table legs

Material	Typical M_1 ($GPa^{1/2}.m^3/Mg$)	Typical M_2 GPa	Comment
GFRP	2.5	20	Cheaper than CFRP, but lower M_1 and M_2
Woods	4.5	10	Outstanding M_1; poor M_2 Cheap, traditional, reliable
Ceramics	6.3	300	Outstanding M_1 and M_2. Eliminated by brittleness
CFRP	6.6	100	Outstanding M_1 and M_2, but expensive

Masa ayağı için malzeme

Malzeme	Tipik M1 ($GPa^{1/2}.m^3$ / Mg)	Tipik M2 Gpa	Yorum
GFRP	2,5	20	CFRP den daha ucuz, ama düşük M1 ve M2
Ağaç	4,5	10	Çok iyi M1, ama zayıf M2

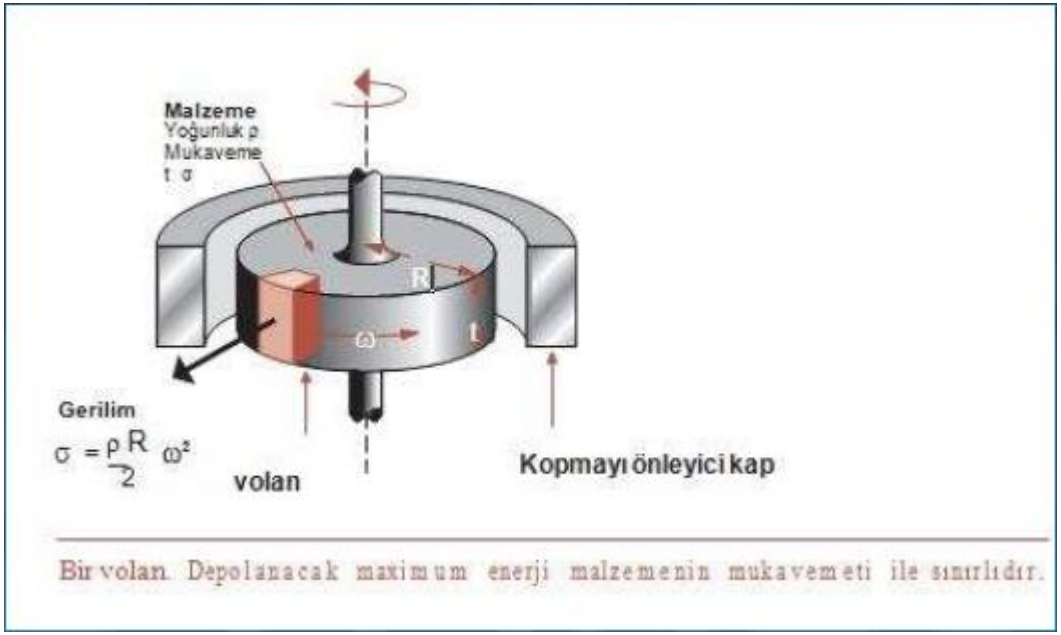
Masa ayağı için malzeme

Malzeme	Tipik M1 ($GPa^{1/2}.m^3$ / Mg)	Tipik M2 Gpa	Yorum
Seramik	6,3	300	Çok iyi M1 ve M2 ama gevrek.
CFRP	6,6	100	Çok iyi M1 ve M2 ama pahalı

ÖRNEK – 3 -

VOLAN MALZEMESİ SEÇİMİ

Volanlar enerjiyi depolar. Küçük olanları — çocuk oyuncaklarında bulunur — kurşun'dan yapılır. Eski buhar makinelerinin dökme demir'den yapılmış volanları vardı. Arabalarda da güç iletimini daha yumuşak hale getirtmek için mevcuttur (siz göremeseniz de). Son zamanlarda volanlar araçların fren sistemlerini daha iyi hale getirmek ve güç depolamak için de kullanılmaya başlanmıştır;



Bu volanların birkaç tanesi yüksek mukavemetli çelikten, bazıları da kompozitlerden yapılmıştır. Kurşun, dökme demir, çelik, kompozitler — burada çok garip bir çeşitlilik mevcuttur. Volan için en iyi malzeme seçimi hangisidir?

Verimli bir volan ağırlığı başına mümkün olduğunca en fazla enerjiyi depolar. Volan dönmeye başladıkça, açısal hızı artar, daha fazla enerji depolar. Kırılma ile bitecek olan depolama limiti, merkezkaç kuvvetinin büyüklüğüne bağlıdır : eğer merkezkaç kuvveti çekme dayanımını geçerse, volan koparak ayrılır. Bunun olmaması tabi ki bir sınırlamadır.

Bir çocuk oyuncağındaki volan bu açıdan verimli değildir. Çocuk itme gücü tarafından hız kısıtlanmıştır ve asla kop ma hızına yaklaşmaz.

Bu durumda, ve otomobil motorunun volanı için — amacımız sabit ve belirli bir açısal hızda birim hacim başına depolanan enerjiyi maximize etmektir. Ayrıca volanın dış çapı R de kısıtlayıcı bir etken olup, sınırlandırılmış kesite uymalıdır.

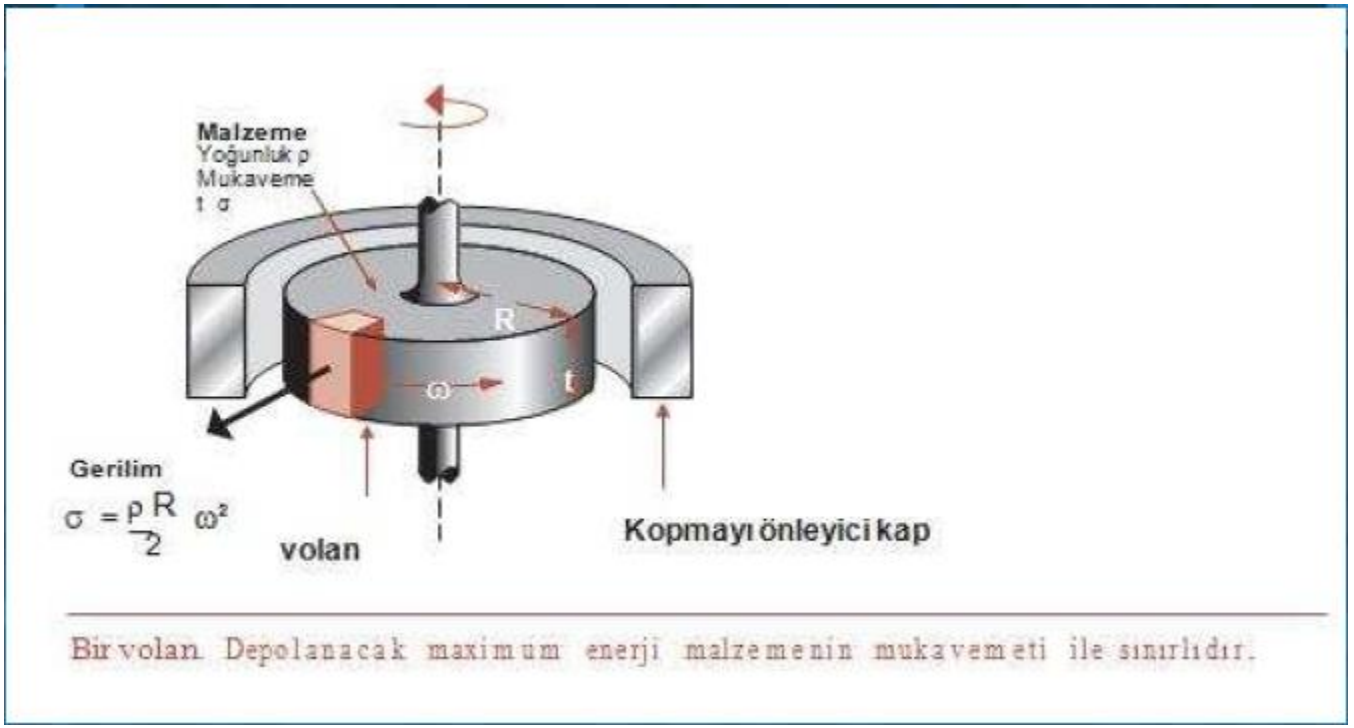
Bu yüzden cevap kullanım alanına bağlıdır. Verimli enerji depolama sistemleri için uygulanacak strateji çocuk oyuncaklarının sisteminden çok farklılık gösterir.

İki alternatif set tabloda listelenmiştir.

Birinci çeşit bir volan kırılmadan ya da kopmadan birim ağırlık başına mümkün olan en yüksek enerjiyi depolamalıdır. Açısal hızla w dönen kalınlığı t ve yarıçapı ‘r’ olan bir katı olarak düşünün (Bak Şekil). Volanda depolanan enerji;

$$U = \frac{1}{2} J \omega^2$$

Burada J değeri $J = (\pi/2)\rho R^4 t$ şeklindedir. Ve diskin polar atalet momenti’dir



Denklemde yerine konduğunda , aşağıdaki denklemi verir.

$$U = \frac{\pi}{4}\rho R^4 t\omega^2$$

Design requirements for maximum-energy flywheel and fixed velocity

(a) For maximum-energy flywheel	
Function	Flywheel for energy storage
Constraints	• Outer radius, R, fixed • Must not burst • Adequate toughness to give crack-tolerance
Objective	Maximize kinetic energy per unit mass
Free variables	Choice of material
(b) For fixed velocity	
Function	Flywheel for child's toy
Constraints	Outer radius, R, fixed
Objective	Maximize kinetic energy per unit volume at fixed angular velocity
Free variables	Choice of material

Sabit hızda maksimum enerji depolayan volan için tasarım gereksinimleri

(a) Maksimum enerjili volan için

Fonksiyon : Enerji depolamak için volan

Sınırlamalar : Dış yarıçap R sabit, kopmalı, kırık hassasiyeti için yeterli tokluk

Amaç : Birim kütle başına kinetik enerji max. olmalı.

Serbest değişkenler : Malzeme seçimi

Sabit hızda maksimum enerji depolayan volan için tasarım gereksinimleri

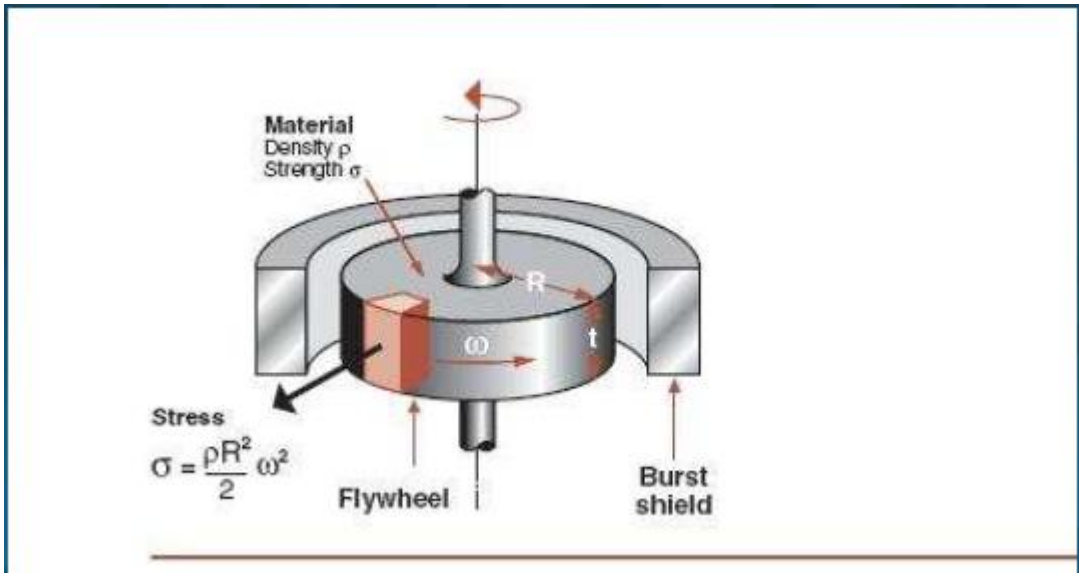
(b) Sabit hız için

Fonksiyon : Çocuk oyuncağı için volan

Sınırlamalar : Dış yarıçap R sabit,

Amaç : Birim hacimde sabit hızda max.kinetik enerji olmalı

Serbest değişkenler : Malzeme seçimi



Diskin kütlesi,

$$m = \pi R^4 t \rho$$

Birim hacim başına maximize edilecek miktar kinetik enerji olup, son iki denklemde orantılarsak ;

$$\frac{U}{m} = \frac{1}{4} R^2 \omega^2$$

Volan döndükçe, depoladığı enerji artar, ama merkezkaç kuvveti de artar. Üniform kalınlıkta dönen diskin maximum asal gerilmes'ini hesaplarsak

$$\sigma_{\max} = \left(\frac{3+\upsilon}{8}\right) \rho R^2 \omega^2 \approx \frac{1}{2} \rho R^2 \omega^2$$

Burada poisson oranı n = 1/3 tür.

Gerilme değeri kopma mukavemetini aşmamalıdır. (uygun bir emniyet faktörü, burada ihmal edilmiştir). En üst bir açısal hıza ulaştığında w, ve disk yarıçapı R (serbest değişken). Verilen iki denklemde R yi atarsak ;

$$\frac{U}{m} = \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_f}{\rho}\right)$$

Yüksek performanslı volan için en iyi malzeme, malzeme indisi'nin yüksek değerdekileridir.

$$M = \frac{\sigma_f}{\rho}$$

Birimi kJ / kg. dır.

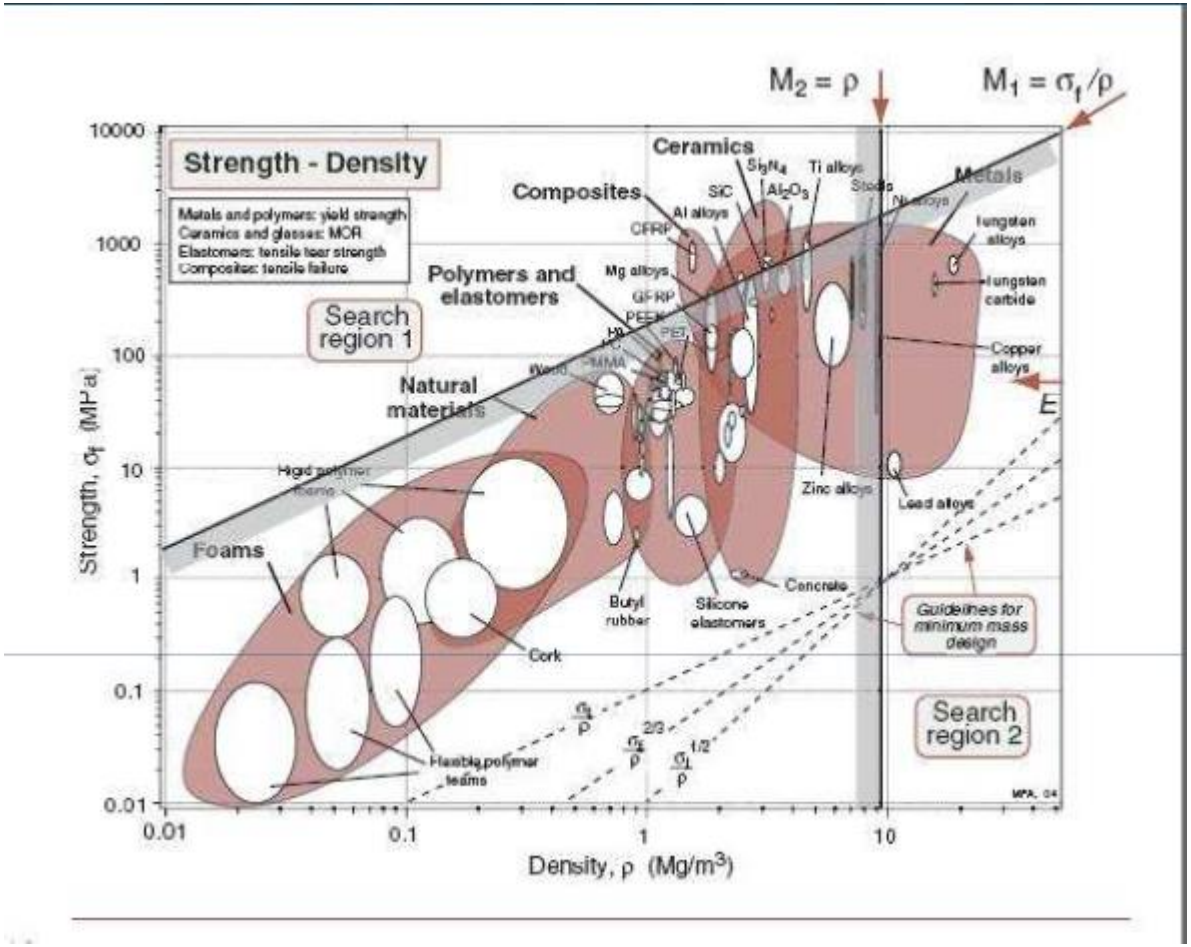
Şimdi de çocuk oyuncağında kullanılan volana bakalım.

Burada sabit açısal hızda, birim hacimde maximum enerjiyi arıyoruz. Birim hacimde sabit açısal hızda depolanan enerji

$$\frac{U}{V} = \frac{1}{4}\rho R^2 \omega^2$$

Hem R hem de w tasarımda sabit alınır, böylece en yüksek değerdeki en iyi malzeme

$$M_2 = \rho$$



Volan malzemeleri. Kompozitler en iyi seçim. Kurşun ve dökme demir gibi geleneksel yöntemler, performansları açısal hız tarafından kısıtlandığı zaman iyi seçimlerdir, mukavemet yönünden değil.

Seçim. Arka sayfadaki diyagram . Mukavemet yoğunluk kartını gösterir. M1 değerleri eğim 1 çizgisini karşılar. Bir tanesi de M1 = 200 kJ/kg. değerinde diagonal çizilmiştir. M1 in yüksek değerindeki aday malzemeler üst soldaki bölgede bulunur. En iyi seçimler beklenmeyecek şekilde kompozit'lerdir, özellikle CFRP, yüksek mukavemetli titanyum alaşımları ve bazı seramikler de vardır, ama bunlar düşük toklukları nedeniyle seçim dışı bırakılmışlardır.

Ama peki çocuk oyuncaklarındaki kurşuna ne demeli?

Zorlayarak sadece iki çeşit malzeme olmaktadır, CFRP ve kurşun: birisi güçlü ve hafif, diğeri yumuşak ve ağırdır. Neden kurşun? Çünkü çocuk oyuncağında sınırlama farklıdır.

Çocuk oyuncağı son hızına kadar döndürmese de, açısal hız w sürtünme mekanizması tarafından kısıtlanmıştır. (itme-yayı, sürtünme). Bu yüzden en iyi malzeme en yüksek yoğunluğa sahip malzemedir.

Diyagramdaki ikinci seçim 10 Mg/m3 değerinde M2 indis'ini göstermektedir. Bu çizginin sağında ikinci arama alanında malzeme ararsak, kurşun iyidir, daha iyisi dersek başka nedenlerden dolayı uygun olmaz.

Özet.

Bir CFRP rotoru 400 kJ/kg. enerji depolayabilir. Bir kurşun volan, aksine, parçalanmadan önce sadece 1 kJ/kg enerji depolayabilmektedir; bir dökme demir ise 30 kat daha fazla depolayabilir.. Gaz ile kıyaslandığında bunlar çok küçük rakamlardır: kabaca 20,000 kJ/kg. Buna rağmen diskteki enerji yoğunluğu üzerinde düşünülmelidir; aniden kırılması ve kopması çok kötü olur.

Disk bir kap ile korunmalıdır, ve dengesiz kuvvetleri önlemek için üretim esnasında hassas kalite kontrolü yapılmalıdır.

Bu kamyon ve otobüslerde kullanımı amaçlanan enerji depolayan birkaç sayıdaki kompozit volanlar'da başarılı olmuştur ve ayrıca rüzgar enerjisi dönüştüren santrallerde de bir enerji depolama aracı olarak kullanılarak başarılı olmuştur.

Şimdi konudan ayrılalım: elektrikle çalışan aracı inceleyelim. Hibrid araçlar trafikte dolaşmakta ve ileri teknoloji ürünü kurşun-asit bataryalarda enerji depolanması yapılmaktadır. Ancak bataryaların da kendi problemleri mevcuttur: depoladıkları enerji yoğunluğu azdır.(Bundan sonraki tablo'ya bakınız).

Ağırlıkları hem miktarı hem de aracın performansını kısıtlar. Pratikte en iyi bataryalara eşit enerji yoğunluğundaki volanların imali faydalıdır. Şu sıralar elektrikli araçlarda volan konusuna özel bir önem verilmektedir. Bir grup saat yönünde dönen CFRP diskleri bir muhafaza tarafından korunarak yerleştirilmiştir. Aracı süren elektrik motoruna güç üreten ve akım sağlayan mıknatıslar muhafaza içerisindeki bobinlerin yanına monte edilmişlerdir.

Energy density of power sources

Source	Energy density (kJ/kg)	Comment
Gasoline	20,000	Oxidation of hydrocarbon — mass of oxygen not included
Rocket fuel	5000	Less than hydrocarbons because oxidizing agent forms part of fuel
Flywheels	Up to 400	Attractive, but not yet proven
Lithium-ion battery	Up to 350	Attractive but expensive, and with limited life
Nickel-cadmium battery	170–200	
Lead-acid battery	50–80	Large weight for acceptable range
Springs rubber bands	Up to 5	Much less efficient method of energy storage than flywheel

Güç kaynaklarının enerji yoğunlukları

Kaynak	**Enerji yoğunluğu** (kJ / kg)	**Yorum**
Gasoline	20 000	Hidrokarbonun oksidasyonu, Oksijen kütlesi dahil değil.
Roket yakıtı	5 000	Hidrokarbonlardan daha az, çünkü oksitlenme, yakıtın bir parçası.

Güç kaynaklarının enerji yoğunlukları

Kaynak	**Enerji yoğunluğu** (kJ / kg)	**Yorum**
Volan	4 00 e kadar cazip fakat henüz kanıtlanmış değil.	
Lithium-ion batarya	350 ‘ye kadar cazip ama ömrü az	
Nickel-cadmium batarya	170-200	
Lead-asid batarya	50-80 kabul edilebilir oran için büyük ağırlıkta	
Yay lastik bant	5 ‘ e kadar verimi az enerji	

ÖRNEK – 4 -
VİBRASYON TABLALARI İÇİN KATI, YÜKSEK SÖNÜMLÜ MALZEMELER

Şekil de sağlam ağaçtan yapılmış bir sarsıcının vibrasyon testi görülmektedir. Bu ikinci tür yüklenmiş sarsıcı test aygıtı 1000 Hz frekansın üzerinde çalışan, tablaya hareket veren elektromagnetik hareketlendiriciden oluşmaktadır.

Sarsıcı ; f frekans ve A genliği değerinde test nesnesine vibrasyon spektrumu uygulamaktadır.

Test neticesinde cevaplar incelenmiştir.



Sarsıcı tabla. Rijit fakat yüksek sönüm ve kayıp katsayısına gereksinim var.

Yüksek frekansta çalışan büyük bir tabla gücü çok iyi bir düzeyde dağıtmaktadır. İlk amaç, bunu minimize etmektir. Fakat nesne için kısıtlar Tablo da ayrıntılı olarak verilmiştir.

İyi bir sarsıcı için hangi malzeme seçilmelidir?

Sarsıcı tablalar için tasarım şartları

Fonksiyon	Vibrasyon testi için tabla ("sarsıcı tabla")
Kısıtlar	Yarıçap, R, belirlenmiş Yüklenen kuvvetler tarafından dağılan titreşime yeteri kadar katı olmak zorundadır. Vibrasyonları minimize edecek yüksek sönüm. Kötü kullanım ve şoka karşı yeteri tokluğa sahip olma
Amaç	Güç dağılımını minimize etmek
Serbest Değişkenler	Malzeme seçimi Tabla kalınlığı, t

Sinüzoidal girişli dağıtıcı vibrasyon sistem tarafından (p) gücü tüketilmektedir. Burada (m) tabla kütlesi, (A) vibrasyon genliği, (w) frekans ve (C1) ise sabittir.

$$p = C_1 m A^2 \omega^3$$

Sağlanan çalışma frekansı (w) tablanın rezonans frekansından oldukça küçük olmalıdır. Daha sonra C1 yaklaşık olarak 1 dir. Genlik (A) ve frekans (w) tavsiye edilir. Sallanan tabla içindeki güç kaybını minimize etmek için, (m) kütlesini minimize etmek zorundayız. Verilen R yarıçaplı diski ve kalınlığı (t) olan serbest değişkenler ile tablayı idealize ederiz. Tabla kütlesi ;

$$m = \pi R^2 t \rho$$

iken (ρ) üretilen malzeme yoğunluğu, (t) kalınlığı tablanın eğilme rijitliğine etkimektedir ve bu çok fazla yüklenen yükler altında tablanın esnemesinin önlenmesinde önemlidir ve çünkü o en düşük doğal titreşim frekansını tanımlar.

Eğilme rijitliği S ise;

$$S = \frac{C_2 EI}{R^3}$$

iken, C_2 sabit I ikincil atalet momenti, t3, R ile orantılıdır. Böylece, verilen δ katılığı ve R yarıçapı için;

$$t = C_3 \left(\frac{SR^2}{E} \right)^{1/3}$$

iken C_3 değeri sabittir. Bu eşitlik içerisinde değişim ile;

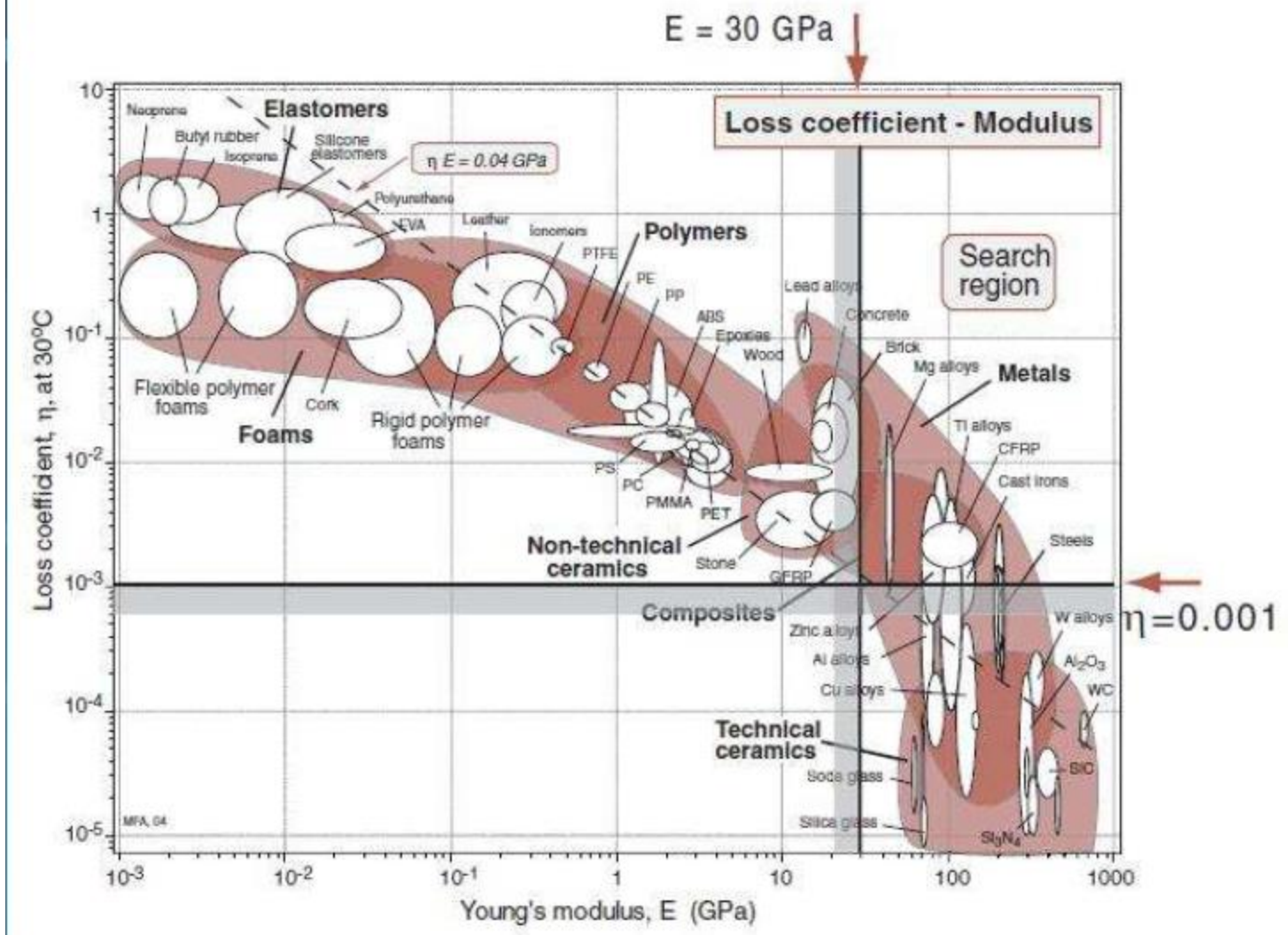
$$m = C_3 \pi R^{8/3} S^{1/3} \left(\frac{\rho}{E^{1/3}} \right)$$

sağlarız. Tablanın kütlesi; verilen katılık ve minimum vibrasyon frekansı için ;

seçilen malzemeler ile M_1 nin yüksek değerleri ile minimize edilir.

$$M_1 = \frac{E^{1/3}}{\rho}$$

Burada üç şeye ihtiyaç var. İlk olanı η kayıp katsayısı tarafından ölçülendirilen yüksek mekanik sönümlemesidir. İkincisi ise yüklenen kuvvetler ve kötü kullanmaya yeteri kadar dayanacak olan Kıc tabla kırılma tokluğudur. Ve üçüncüsü ise çok fazla maliyetli olmayacak malzemedir.


E = 30 GPa
Loss coefficient - Modulus
Search region
Elastomers
Neoprene
Butyl rubber
Isoprene
Silicone elastomers
η E = 0.04 GPa
Polyurethane
EVA
Leather
Ionomers
Polymers
PTFE
PE
pp
ABS
Epoxies
Wood
Lead alloys
Concrete
Brick
Mg alloys
Metals
Ti alloys
CFRP
Cast irons
Steels
Flexible polymer foams
Cork
Foams
Rigid polymer foams
PS
PC
PMMA
PET
Non-technical ceramics
Stone
GFRP
Composites
W alloys
Zinc alloys
Al alloys
Cu alloys
Al_2O_3
WC
SiC
Si_3N_4
Technical ceramics
Soda glass
Silica glass
η=0.001
Loss coefficient, η, at 30°C
Young's modulus, E (GPa)
MFA, 04
10
1
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-3}
10^{-2}
10^{-1}
1
10
100
1000