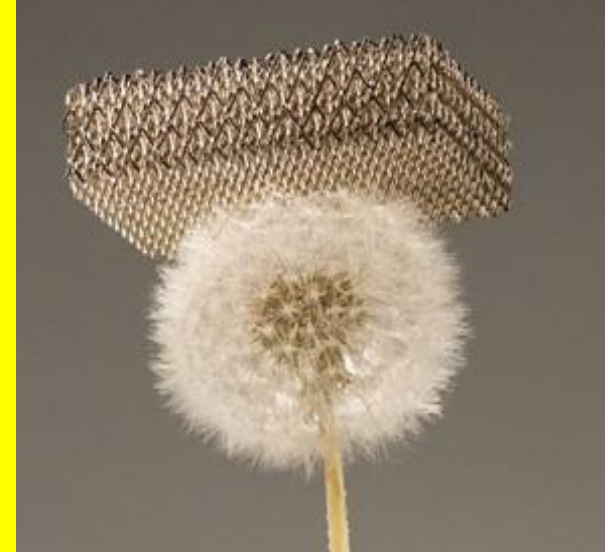
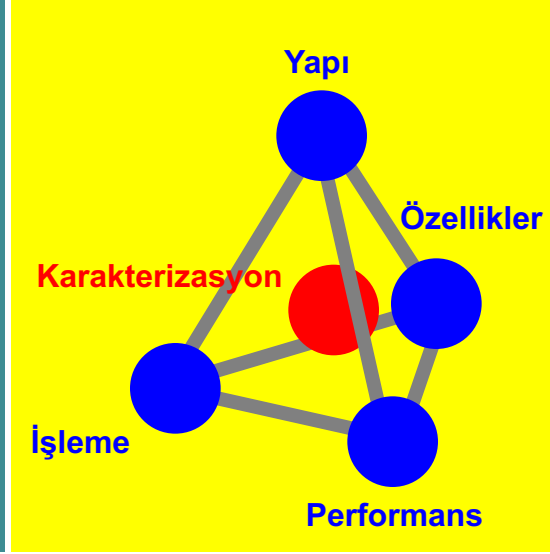
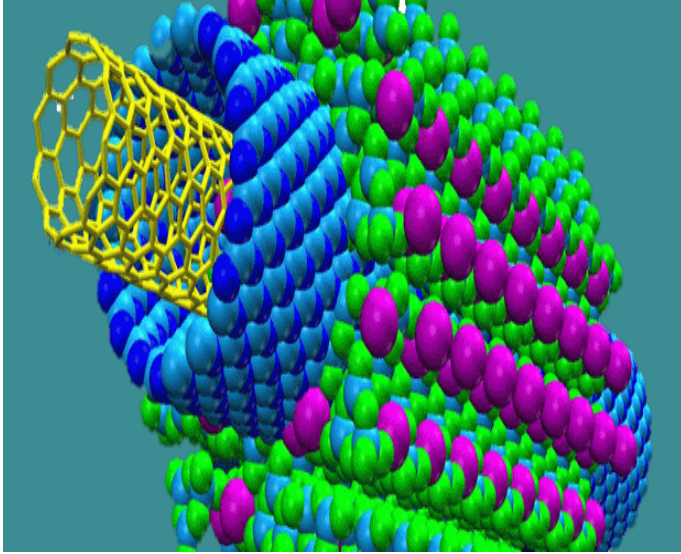


FZM 220

Malzeme Bilimine Giriş



Prof. Dr. İlker DİNÇER

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Fizik Mühendisliği Bölümü

Ders Hakkında

FZM 220 Malzeme Bilimine Giriş Dersinin Amacı

Bu dersin amacı, fizik mühendisliği öğrencilerine, malzemelerin yapısal özellikleri ile mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki ilişkileri tanıtmak ve tasarımlarındaki malzeme seçiminin önemini lisans düzeyinde öğretmektir.

Dersin İçeriği

Hafta	Konu
1. Hafta	Giriş: Malzeme Bilimi ve Mühendisliğinin Önemi (<u>Ön Çalışma: Dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
2. Hafta	Atomal Yapı ve Atomlararası Bağ-1 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
3. Hafta	Atomal Yapı ve Atomlararası Bağ-2 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
4. Hafta	Katılarda Kristal Yapılar-1 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
5. Hafta	Katılarda Kristal Yapılar-2 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
6. Hafta	Katılarda Kusurlar (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
7. Hafta	Katılarda Kusurlar-2 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
8. Hafta	Vize Sınavı (<u>Ön Çalışma: Önceki haftaların konularını gözden geçirip Vize Sınavına hazırlanınız.</u>)
9. Hafta	Yayınma-1 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
10. Hafta	Yayınma-2 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
11. Hafta	Metallerin Mekanik Özellikleri-1 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
12. Hafta	Metallerin Mekanik Özellikleri-2 (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
13. Hafta	Dislokasyonlar ve Dayanım Arttırıcı Mekanizmalar (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)
14. Hafta	Hasar (<u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u>)

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Malzemelerin Elastik Özellikleri

- Metal bir numuneye çekme gerilmesi uygulandığında, gerilmenin uygulandığı doğrultuda Şekilde görüleceği gibi **elastik uzama** ve beraberinde ϵ_z birim şekil değişimi oluşur. Bu uzamanın sonucu olarak, uygulanan **gerilmeye dik olan yanal (x ve y) doğrultularda daralma** gerçekleşir.
- Bu daralma miktarlarından hareketle, ϵ_x ve ϵ_y basma birim şekil değişimleri belirlenebilir.
- Uygulanan gerilme tek eksenli (sadece z ekseninde) ve malzeme izotropik özellik gösteriyorsa, bu durum da $\epsilon_x = \epsilon_y$ olur.
- **Poisson oranı** olarak adlandırılan ve ν parametresi, yanal doğrultudaki birim şekil değişiminin, eksensel doğrultudaki birim şekil değişimine oranı olarak tanımlanır. Yani:

$$\nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

Poisson oranının yanal ve eksensel şekil değişimleri cinsinden tanımı

- olur.

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

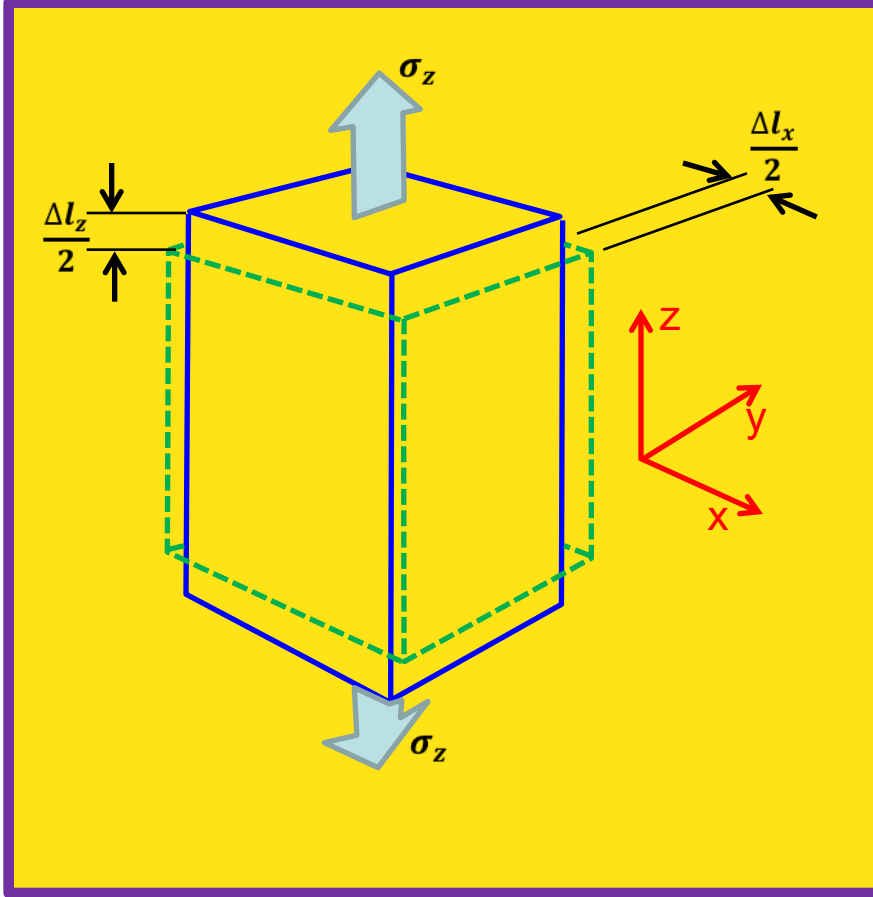
Elastik Şekil Değişimi: Gerilme-Birim Şekil Değişimi Davranışı

Çizelge. Çeşitli metallerin oda sıcaklığındaki elastik ve **kayma modülleri** ve Poisson Oranları

<i>Metal Alaşım</i>	<i>Elastiklik</i>	<i>Kayma Modülü</i>	<i>Poisson Oranı</i>
	<i>Modülü</i>	<i>Modülü</i>	
	<i>GPa</i>	<i>GPa</i>	
Alüminyum	69	25	0,33
Pirinç	97	37	0,34
Bakır	110	46	0,34
Magnezyum	45	17	0,29
Nikel	207	76	0,31
Çelik	207	83	0,30
Titanyum	107	45	0,34
Volfram	407	160	0,28

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Malzemelerin Elastik Özellikleri



Uygulanan çekme gerilmesine karşı malzemede oluşan eksensel uzama ve yanal daralma.

$$\frac{\epsilon_z}{2} = \frac{\Delta l_z}{l_{0z}}$$

$$-\frac{\epsilon_x}{2} = \frac{\Delta l_x}{l_{0x}}$$

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Malzemelerin Elastik Özellikleri

- İzotropik malzemeler için kayma ve elastik modülleri arasında Poisson oranına göre aşağıdaki gibi bir ilişki vardır:

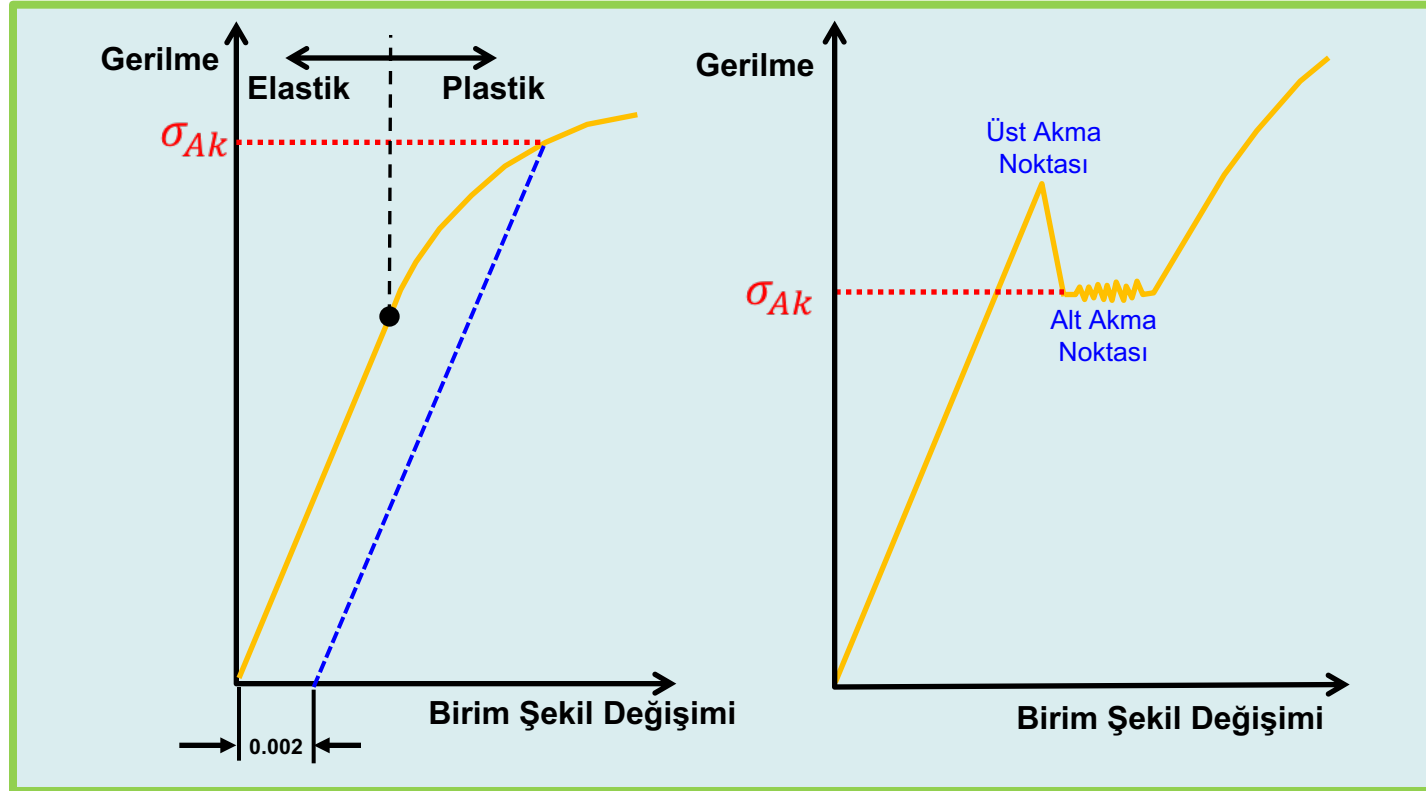
$$E = 2G(1 + \nu)$$

Elastiklik modülü-Kayma gerilmesi-Poisson oranı arasındaki ilişkiyi gösteren denklem

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Plastik Deformasyon

- Birçok metalik malzemede elastik davranış yaklaşık 0,005 birim şekil değişimi miktarına kadar devam eder. Malzeme **bu noktadan daha fazla deforme edildiğinde**, artık gerilme ile birim şekil değişimi arasındaki orantılı değişim ortadan kalkar (**Hooke Kanunu geçerliliğini yitirir**) ve **kalıcı yani geri dönmeyen, plastik deformasyon** oluşur.

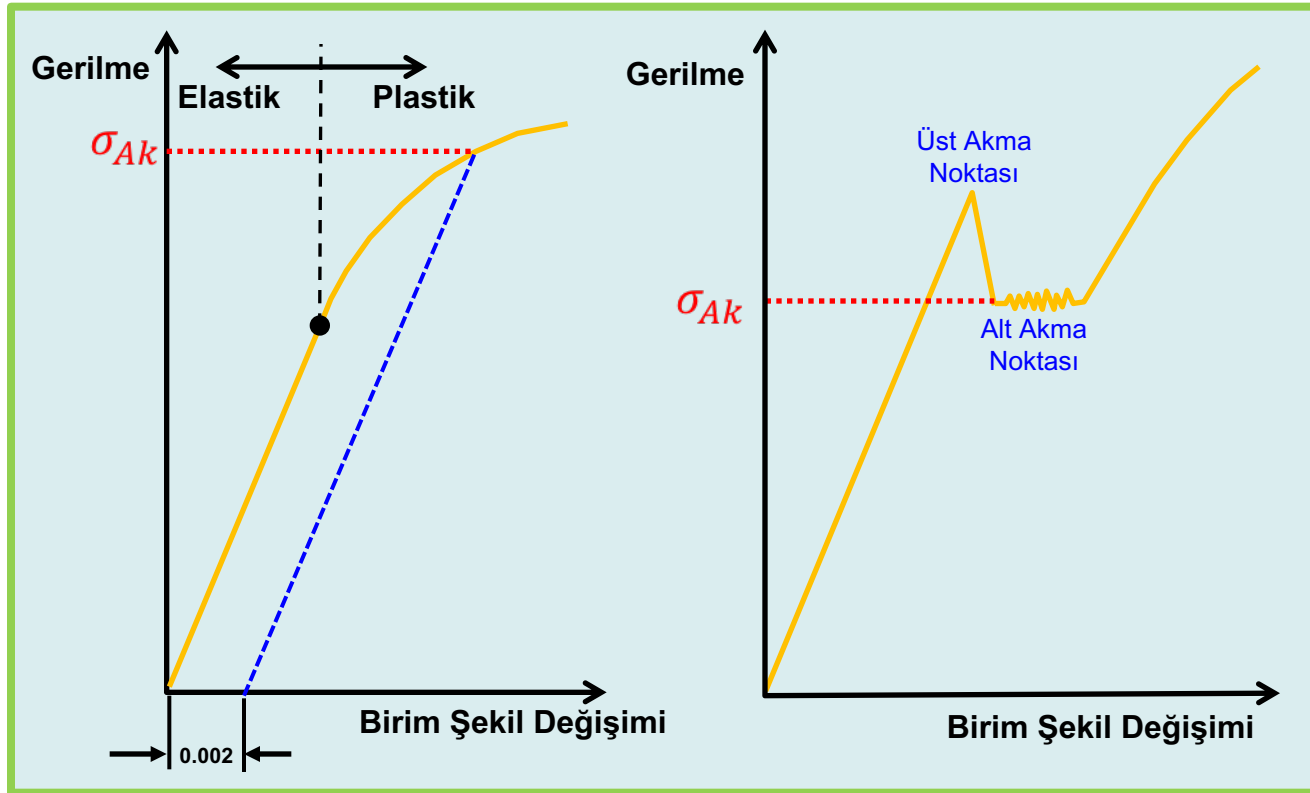


6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Plastik Deformasyon

Atomsal açıdan bakıldığında, **plastik deformasyon** çok sayıda atomun ya da molekülün birbirlerine göre hareketleri sırasında komşularıyla sahip oldukları bağların kopması ve yeni komşularıyla yeni bağ oluşturmaları açıklanabilir.

Uygulanan gerilme kaldırıldığında atomlar başlangıçtaki ilk konumlarına geri dönmezler.



6. Metallerin Mekanik Özellikleri

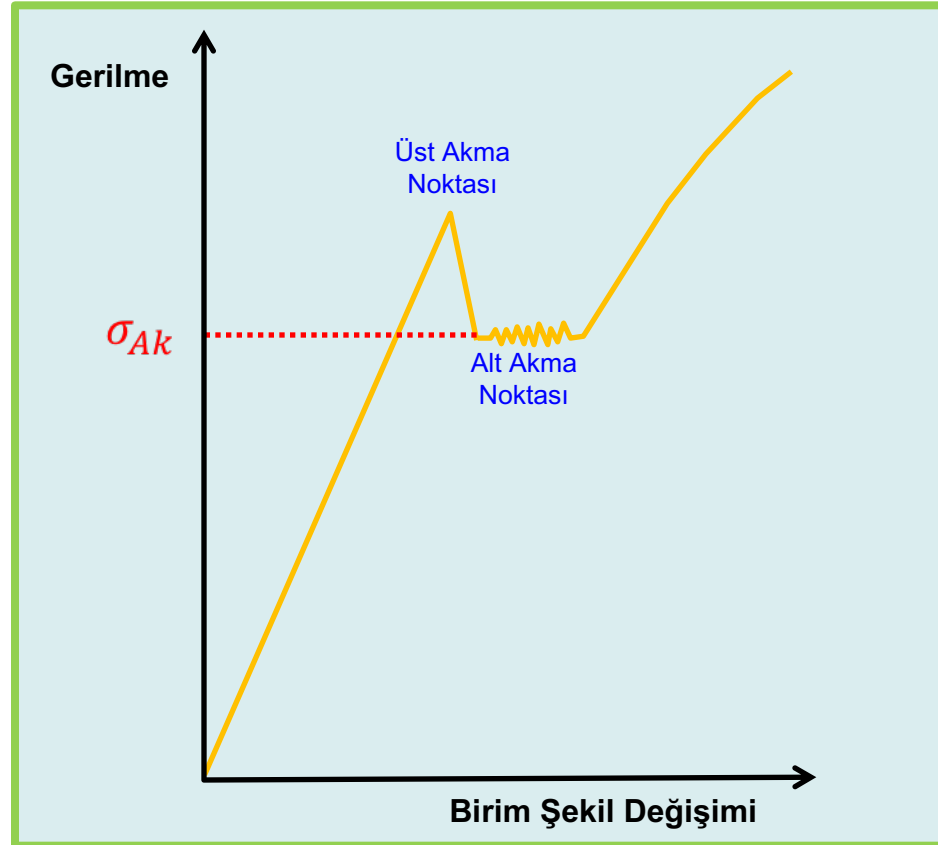
Çekme Özellikleri: Akma Olayı ve Akma Dayanımı

- Yapıların birçoğu gerilme altında sadece elastik şekil değiştirecek şekilde tasarlanır. Plastik deforme olan (kalıcı şekil değiştiren) bir yapı veya parça kendisinden beklenen görevi yerine getiremez. Bu nedenle, plastik deformasyonun başladığı gerilmenin, yani **akma**nın nerede gerçekleştiğinin bilinmesi istenir.
- Şekil 6.10a'da **P noktası** olarak gösterilen ve **orantı sınırı olarak adlandırılan** bu gerilme değeri, mikro ölçekte plastik deformasyonun başladığını gösterir.
- Çizilen doğrunun gerilme-birim şekil değişimi eğrisini kestiği noktaya karşılık gelen gerilme, **akma dayanımı**, σ_{Ak} olarak tanımlanır. Doğal olarak **akma dayanımı MPa** cinsinden ifade edilir.

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Çekme Özellikleri: Akma Olayı ve Akma Dayanımı

Bazı çelik ve başka malzemeler, aşağıdaki şekilde gibi bir **Çekme Gerilmesi-Birim Şekil Değişimi** davranışı gösterirler.

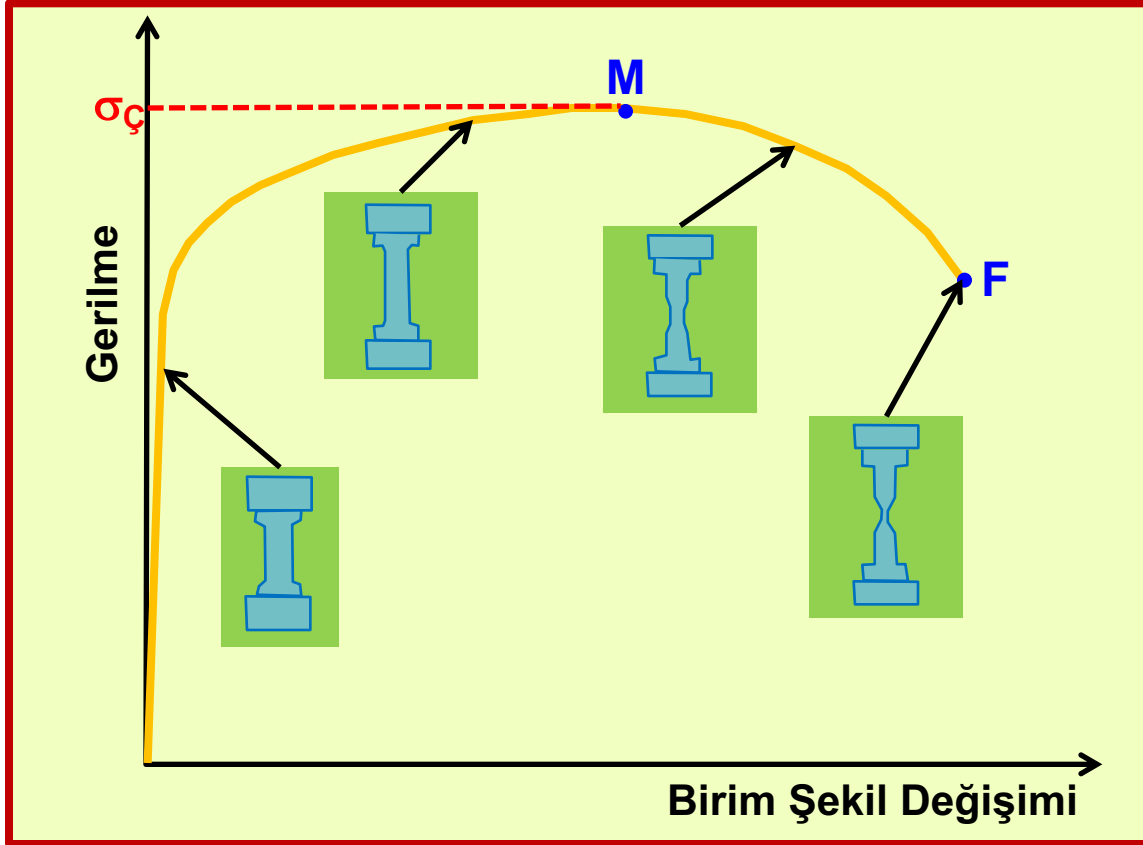


6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Çekme Özellikleri: Çekme Dayanımı

Plastik deformasyonun devam edebilmesi için gerekli gerilme miktarı aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi **M** noktasına kadar artar ve burada maksimum olur. Daha sonra **F** noktasında ani kopma olur.

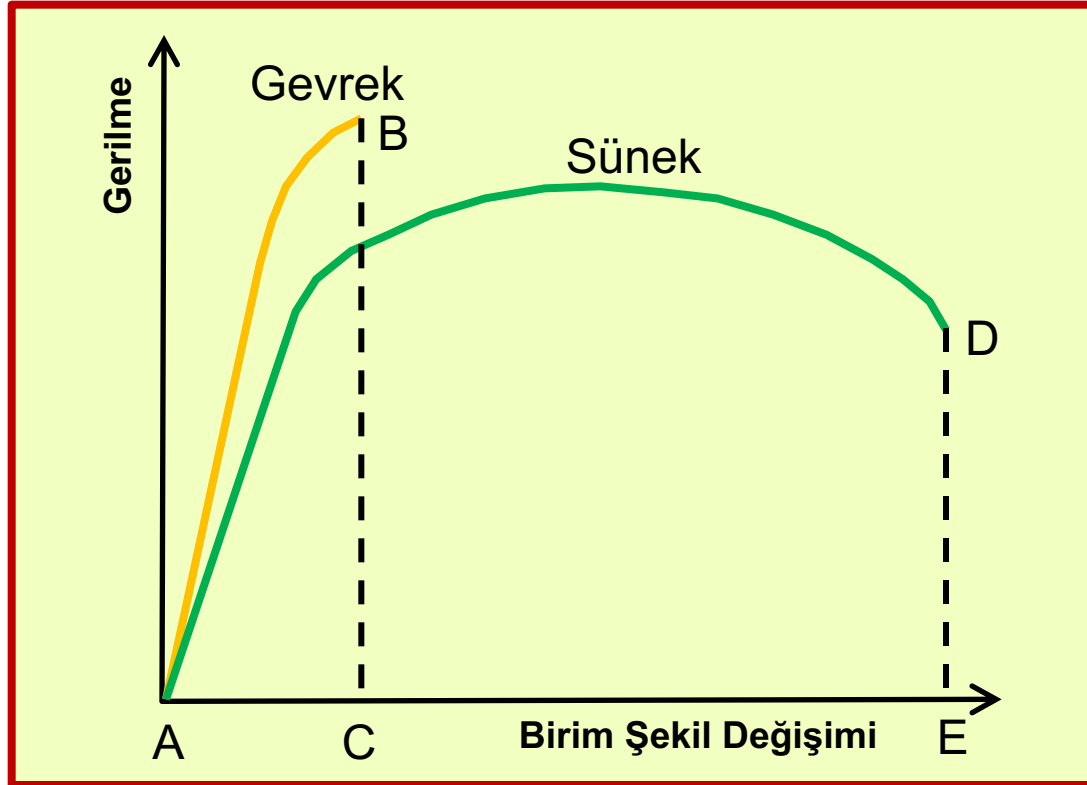
Çekme Dayanımı- $\sigma_{\text{ÇD}}$ $\sigma_{\text{Ç}}$ Mühendislik Gerilmesi-Birim Şekil Değişimi eğrisindeki **maksimum** gerilmedir.



6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Çekme Özellikleri: Süneklik

- **Süneklik**, bir diğer önemli mekanik özellik olup, kırılmaya kadar malzemede oluşabilecek plastik deformasyonun miktarının bir ölçüsüdür.
- Kırılmaya kadar çok az veya hiç plastik deformasyon göstermeyen malzemeler **gevrek** olarak adlandırılır.



6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Çekme Özellikleri: Süneklik

- **Süneklik**, sayısal olarak ya **yüzde uzama** olarak ya da kesit alanında **yüzde daralma** olarak ifade edilir. **Yüzde Uzama (%UZ)**, **kopma anındaki yüzde plastik birim şekil değişimini** verir:

$$\%UZ = \left(\frac{l_k - l_0}{l_0} \right) \times 100$$

Yüzde Uzama olarak Süneklik

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Çekme Özellikleri: Süneklik

- **Yüzde Kesit Daralması (%KD):**

$$\%KD = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100$$

Yüzde Kesit Daralması
olarak Süneklik

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Çekme Özellikleri: Süneklik

Malzemenin sünekliğinin belirlenmesi önemlidir. Çünkü:

1. Tasarımcıya yapının hasara uğramadan önce ne ölçüde deformasyona uğrayacağı hakkında bilgi verir.
2. Üretim sırasında malzemeye verilecek deformasyon miktarını belirtir.

Kopma Uzaması (%UZ) değeri %5'den daha az olan malzemeler gevrek olarak kabul edilir.

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Çekme Özellikleri: Süneklik

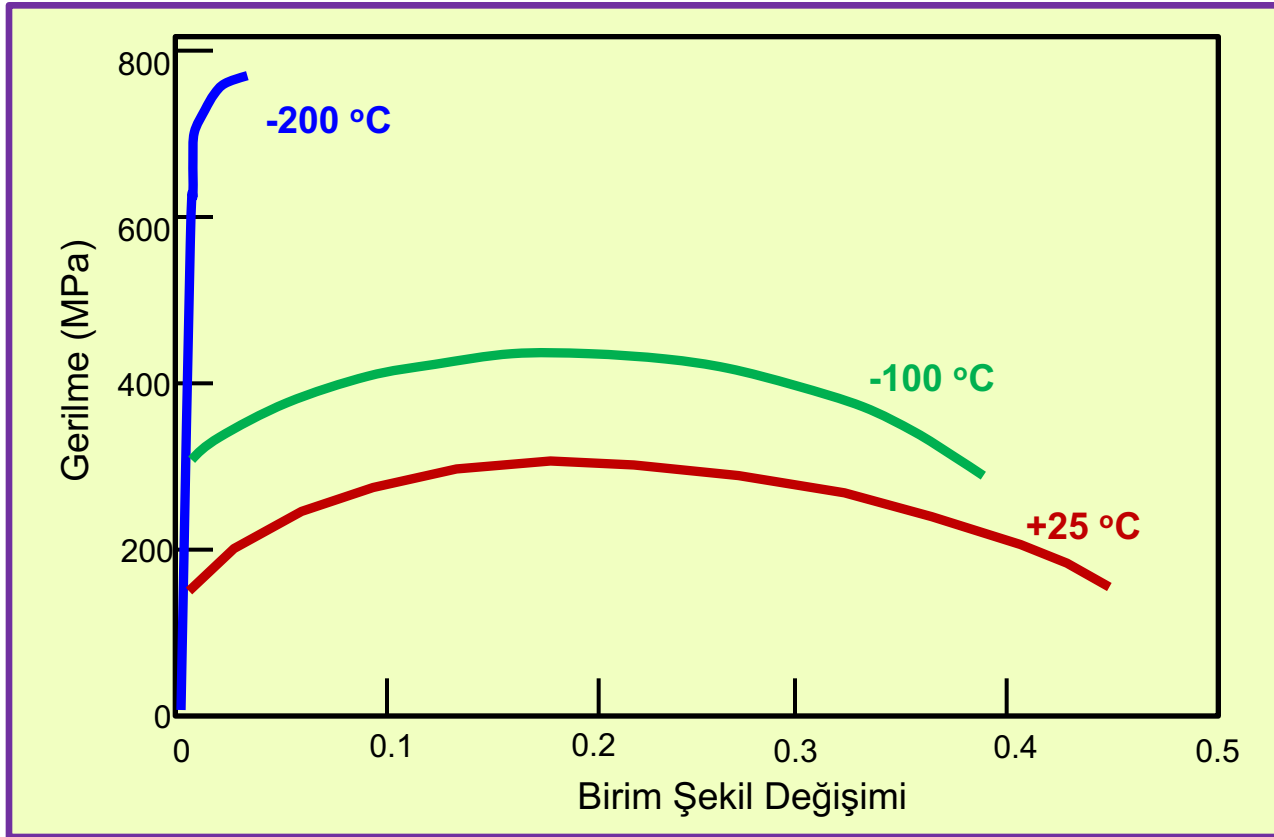
Çizelge. Tavlanmış durumları için çeşitli malzemenin mekanik özellikleri.

<i>Metal Alaşım</i>	<i>Akma Dayanımı, MPa</i>	<i>Çekme Dayanımı, MPa</i>	<i>Süneklik, %UZ [50 mm]</i>
Alüminyum	35	90	40
Bakır	69	200	45
Pirinç (70Cu–30Zn)	75	300	68
Demir	130	262	45
Nikel	138	480	40
Çelik (1020)	180	380	25
Titanyum	450	520	25
Molibden	565	655	35

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Çekme Özellikleri: Süneklik

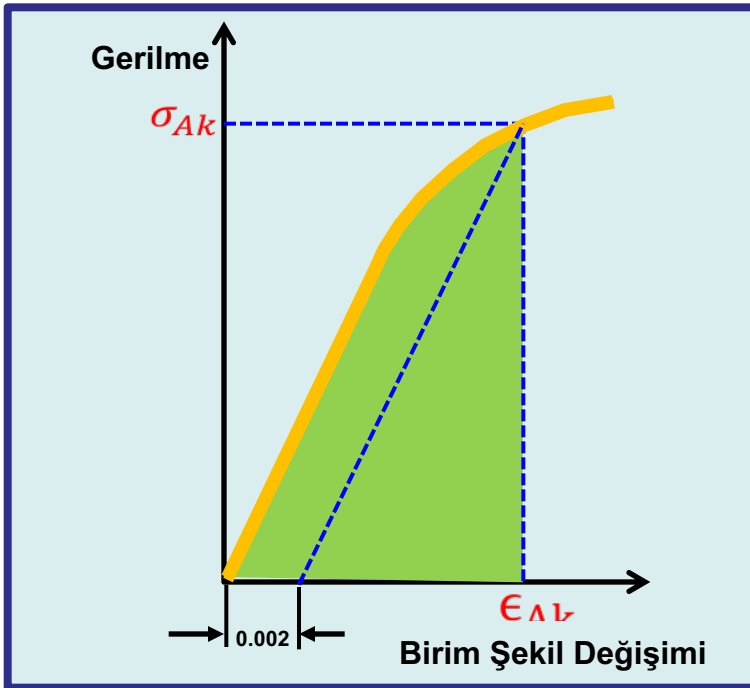
- Elastiklik modülünde olduğu gibi, **akma** ve **çekme dayanımlarının** büyüklüğü **artan sıcaklıkla azalır**. Ancak, **artan sıcaklıkla süneklik** genellikle **azalır**. Aşağıdaki şekilde **Demir-Fe**'nin **Gerilme-Birim Şekil Değişimini** sıcaklıkla nasıl değiştiği görülmektedir.



6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Çekme Özellikleri: Rezilyans

- **Rezilyans** bir malzemenin elastik şekil değiştirme sırasında enerji soğurma ve sonra, yük boşaltıldığında bu **enerjiyi geri verebilme kabiliyeti** olarak tanımlanır.
- **Rezilyans modülü U_r** , yükleme öncesinden, akma noktasına kadar birim hacim başına gerekli birim şekil değiştirme enerjini belirtir.
- Sayısal olarak, **rezilyans modülü** tek eksenli çekme gerilmesi uygulanmış bir numune için, tanımlanmış akma noktasına kadar mühendislik gerilmesi-birim şekil değişimi eğrisinin altında kalan alandır.



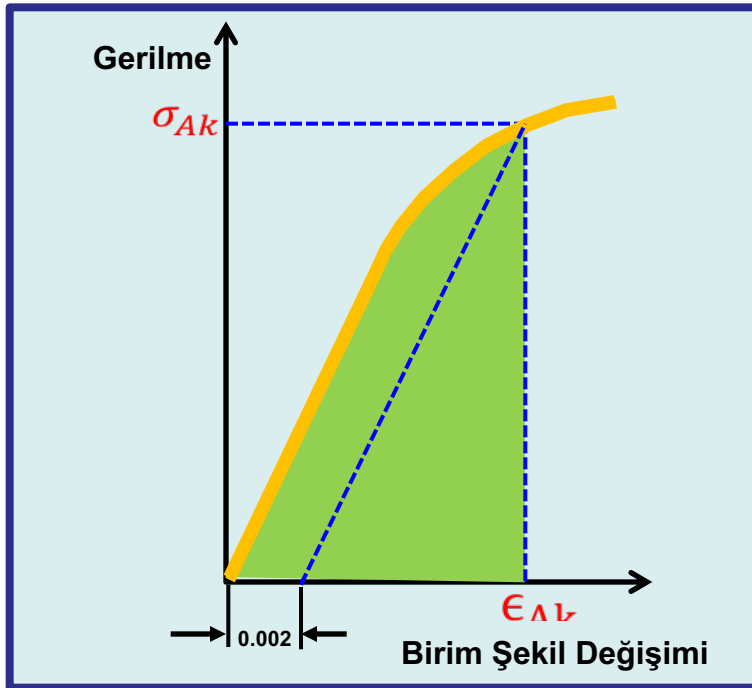
Rezilyans Modülü:

$$U_r = \int_0^{\epsilon_{Ak}} \sigma d\epsilon$$

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Çekme Özellikleri: Rezilyans

- **Rezilyans** bir malzemenin elastik şekil değiştirme sırasında enerji soğurma ve sonra, yük boşaltıldığında bu **enerjiyi geri verebilme kabiliyeti** olarak tanımlanır.
- **Rezilyans modülü U_r** , yükleme öncesinden, akma noktasına kadar birim hacim başına gerekli birim şekil değiştirme enerjini belirtir.
- Sayısal olarak, **rezilyans modülü** tek eksenli çekme gerilmesi uygulanmış bir numune için, tanımlanmış akma noktasına kadar mühendislik gerilmesi-birim şekil değişimi eğrisinin altında kalan alandır.



Rezilyans Modülü:

$$U_r = \int_0^{\epsilon_{Ak}} \sigma d\epsilon$$

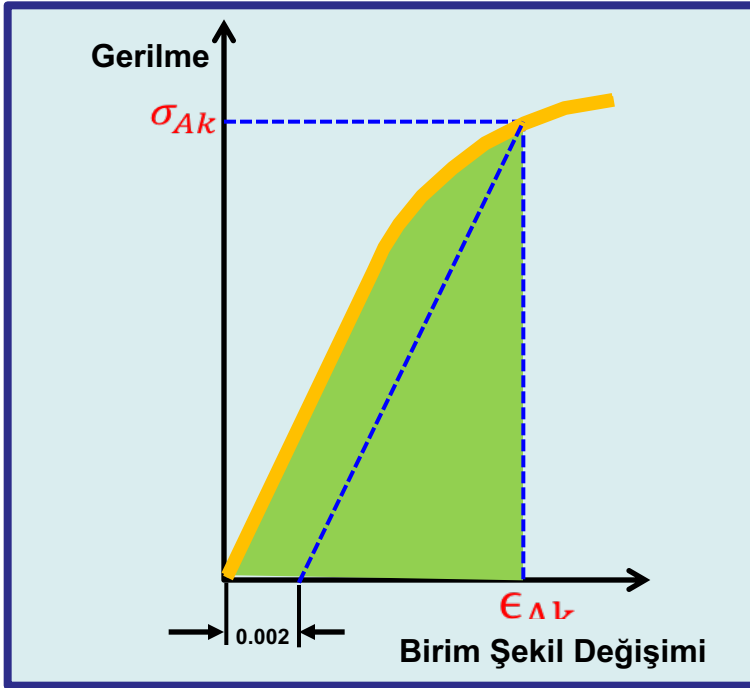
Doğrusal Elastik Davranışı için Rezilyans:

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_{Ak} \epsilon_{Ak}$$

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Çekme Özellikleri: Rezilyans

- **Rezilyans** bir malzemenin elastik şekil değiştirme sırasında enerji soğurma ve sonra, yük boşaltıldığında bu enerjiyi geri verebilme kabiliyeti olarak tanımlanır.
- **Rezilyans modülü U_r** , yükleme öncesinden, akma noktasına kadar birim hacim başına gerekli birim şekil değiştirme enerjini belirtir.
- Sayısal olarak, **rezilyans modülü** tek eksenli çekme gerilmesi uygulanmış bir numune için, tanımlanmış akma noktasına kadar mühendislik gerilmesi-birim şekil değişimi eğrisinin altında kalan alandır.



Rezilyans Modülü:

$$U_r = \int_0^{\epsilon_{Ak}} \sigma d\epsilon$$

Doğrusal Elastik Davranışı için Rezilyans:

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_{Ak} \epsilon_{Ak}$$

Doğrusal Elastik Davranışı için Rezilyansın Hooke Kanunuyla ilişkisi:

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_{Ak} \epsilon_{Ak} = \frac{1}{2} \sigma_{Ak} \left(\frac{\sigma_{Ak}}{E} \right) = \frac{\sigma_{Ak}^2}{2E}$$

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Çekme Özellikleri: Tokluk

- **Tokluk**, mekanikle ilişkili bir terim olup birkaç durumda kullanılır. İlk olarak, tokluk daha özel adıyla, kırılma tokluğu, çatlağın (veya gerilme yığılmasına yol açan bir kusur) bulunması durumunda malzemenin kırılmaya karşı direncini gösteren bir özelliktir.
- **Tokluk**, bir malzemenin kırılmadan enerji soğurma ve plastik şekil değiştirme kabiliyeti olarak da tanımlanabilir.

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Gerçek Gerilme ve Gerçek Birim Şekil Değişimi

- Bazı durumlarda **gerçek gerilme-gerçek birim şekil değişimi eğrisini** kullanmak daha anlamlı olmaktadır. **Gerçek gerilme** σ_g , F yükünün uygulandığı andaki gerçek kesit alanına A_i bölünmesi ile hesaplanır.

$$\sigma_g = \frac{F}{A_i}$$

Gerçek Gerilmenin tanımı

- Gerçek birim şekil değişimi** ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\epsilon_g = \ln \frac{l_i}{l_0}$$

Gerçek Birim Şekil Değişiminin tanımı

- Deformasyon sırasında hacim değişimi olmadığı durum için aşağıdaki eşitlik geçerlidir:

$$A_i l_i = A_0 l_0$$

- Gerçek ve mühendislik gerilme ile birim şekil değişimleri arasındaki ilişki:

$$\sigma_g = \sigma(1 + \epsilon)$$

Mühendislik Gerilmesinden Gerçek Gerilmenin Belirlenmesi

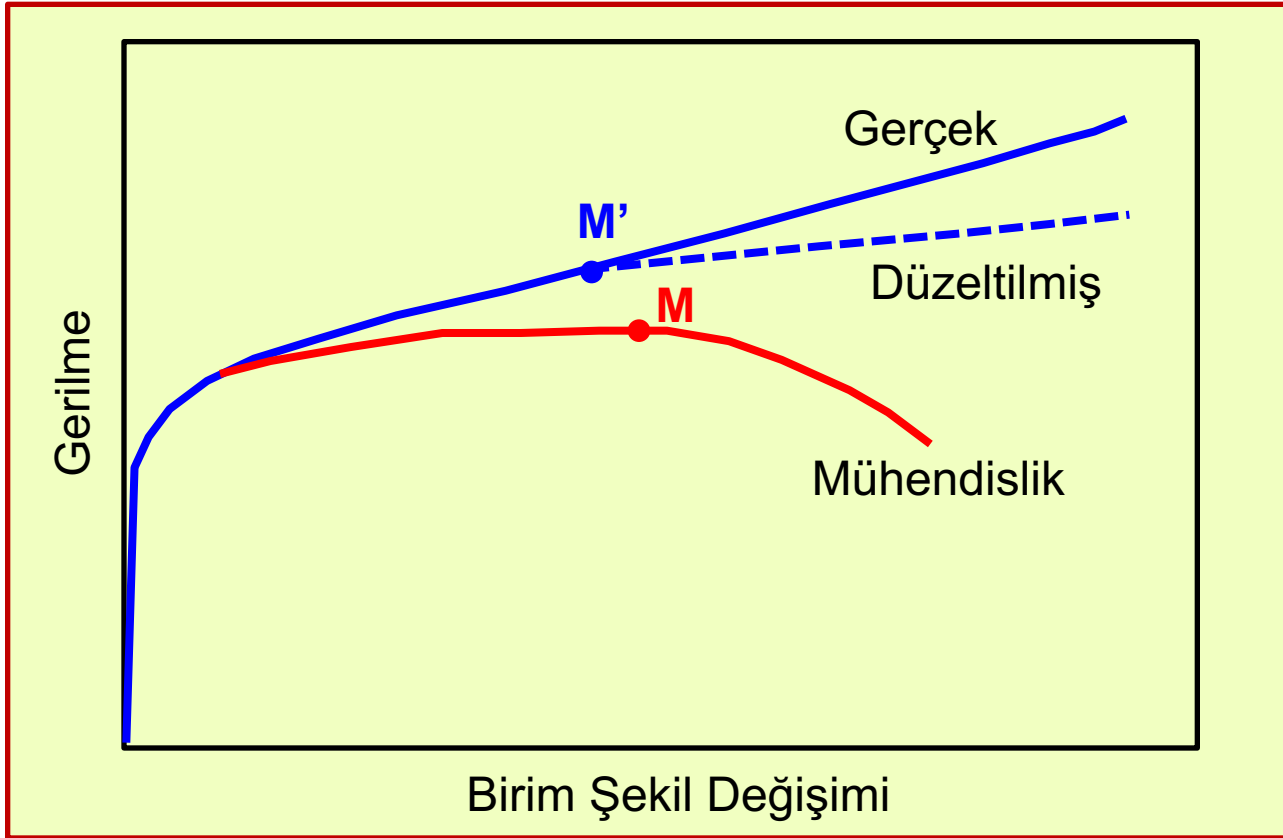
$$\epsilon_g = \ln(1 + \epsilon)$$

Mühendislik Birim Şekil Değişiminden Gerçek Birim Şekil Değişiminin Belirlenmesi

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Gerçek Gerilme ve Gerçek Birim Şekil Değişimi

Aşağıdaki Şekilde mühendislik ve gerçek gerilme-gerçek birim şekil değişimi eğrilerinin şematik karşılaştırılması verilmiştir. Burada şekil değişimin sürdürülebilmesi için gerekli olan gerçek gerilmenin M' noktasından sonra da artmaya devam ettiği görülmektedir.



6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Gerçek Gerilme ve Gerçek Birim Şekil Değişimi

Bazı metaller ve alaşımlarda, gerçek gerilme-gerçek birim şekil değişimi eğrilerinde, boyun vermenin başladığı noktaya kadar gerçekleşen plastik deformasyon için gerçek gerilme ve birim şekil değişimi arasındaki ilişki aşağıdaki denklem ile verilir:

$$\sigma_g = K \epsilon_g^n$$

Plastik bölgede gerçek gerilme-gerçek birim şekil değişimi ilişkisi

Burada, **K** ve **n** alaşıma ve malzemenin durumuna bağlı sabitlerdir. **n**, **pekleşme üsteli** olarak isimlendirilir ve birden küçüktür. Aşağıdaki **Çizelgede** bazı malzemeler için **K** ve **n** sabitleri verilmiştir.

Malzeme	n	K (MPa)
Düşük Karbonlu Çelik (Tavlanmış)	0.21	600
4340 Alaşım Çeliği (315 °C'de Temperlenmiş)	0.12	2650
304 Paslanmaz Çelik (Tavlanmış)	0.44	1400
Bakır (Tavlanmış)	0.44	530
Bahriye Pirinci (Tavlanmış)	0.21	585
2024 Alüminyum Alaşımı (T3 Isıl İşlemlili)	0.17	780
AZ-31B Magnezyum Alaşımı (Tavlanmış)	0.16	450

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Sertlik

- Dikkate alınması gereken bir başka mekanik özellik de **sertlik**dir. **Sertlik**, malzemenin yerel (bölgesel) plastik deformasyona (Örneğin: batma veya çizilmeye) karşı gösterdiği direncin bir ölçüsüdür.

Sertlik deneyleri aşağıdaki nedenlerden dolayı diğer mekanik deneylere göre çok daha yaygın bir şekilde kullanılır:

1. Basit ve düşük maliyetli olmaları– genellikle özel bir numune hazırlanmasına gerek yoktur ve sertlik ölçme cihazı nispeten ucuzdur.
2. Tahribatsız deneylerdir– numunede hasar ya da aşırı deformasyon meydana gelmez, oluşan tek deformasyon küçük bir izden ibarettir.
3. Çoğu zaman, çekme dayanımı gibi diğer mekanik özellikler sertlik verileri kullanılarak tahmin edilebilir

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Brinell Sertlik Ölçme Yöntemleri

- Rockwell ölçümlerinin çoğunda olduğu gibi, **Brinell** deneylerinde de sert bir küresel uç metalin yüzeyine batması için zorlanır. Kullanılan sertleştirilmiş çelik (veya tungsten karbür) batıcı ucun çapı 10 mm'dir. Standart yük aralığı, 500 ile 3000 kg arasında, 500 kg artışlarla değişir ve deney sırasında yük belirli bir süre (10 ile 30 sn aralığında) boyunca sabit tutulur.
- **Brinell sertlik değeri (BSD)**, uygulanan yükün ve ölçüm sonrası yüzeyde oluşan iz çapının bir fonksiyonudur (bk. aşağıdaki **Çizelge**).

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

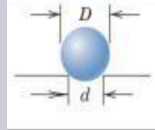
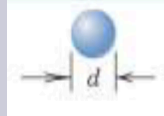
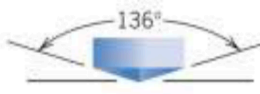


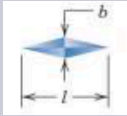
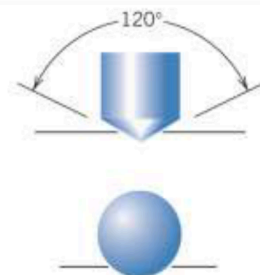

Knoop ve Vickers Mikrosertlik Ölçme Yöntemleri

- Diğer iki sertlik ölçme yöntemi, **Knoop** ve **Vickers**'dir. Vickers için bazen elmas piramit adı da kullanılır. Bu yöntemlerin her ikisinde de piramit geometrisine sahip çok küçük bir elmas uç, sertliği ölçülecek numunenin yüzeyine batırılmaya zorlanır.
- Uygulanan yükler, Rockwell ve Brinell'dekine göre çok daha küçük olup 1 ile 1000 g arasında değişir. Ölçüm sonrası yüzeyde oluşan izin boyutu mikroskop altında ölçülür ve daha sonra sertlik değerine çevrilir (bk. aşağıdaki **Çizelge**).

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Sertlik Ölçme Yöntemleri

Çizelge. Sertlik Ölçme Yöntemleri

Yöntem	Batıcı Uç	Batıcı Ucun Yan Görünüşü	Batıcı Ucun Üst Görünüşü	Yük	Sertlik Değerine Ait Formül
Brinell	10 mm çaplı küresel Çelik veya Tungsten Karbür-WC			P	$BSD = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers Mikrosertlik	Elmas Piramit			P	$VSD = 1.854 \frac{P}{d_1^2}$
Knoop Mikrosertlik	Elmas Piramit			P	$KSD = 14.24 \frac{P}{l^2}$
Rockwell ve Rockwell-Yüzey	Elmas Koni 1.588, 3.175, 6.350 ve 12.7 mm çaplı çelik küre			60 kg, 100 kg, 150 kg (Rockwell) - 15 kg, 30 kg, 45 kg (Rockwell-Yüzey)	

6. Metallerin Mekanik Özellikleri

Sertlik ve Çekme Dayanımı Arasındaki İlişki

Çekme dayanımı ve sertlik bir metalin plastik deformasyonuna olan direncin göstergesi olarak tanımlanır. Bu yüzden aralarında bir ilişki vardır. Çelik için Brinell sertlik değeri-BSD ve çekme dayanımı-ÇD arasındaki ilişki aşağıdaki denklem ile verilmiştir:

$$\text{ÇD (MPa)} = 3.45 \times \text{BSD}$$