

ÇENTİK DARBE DENEYİ

- Endüstriyel uygulamalarda kullanılan malzemelerin, ortam sıcaklığına
- ve uygulanan yük türüne bağlı olarak hasara uğradıklarını görüyoruz.
- Mühendisler, malzeme seçimi yaparken malzemenin hangi sıcaklıklarda sünek mi, gevrek mi kırılacağını,
- kırılırken ne kadarlık bir enerji absorbe edebileceği veya kırılma enerji miktarının ne kadar olabileceği hakkında malzemenin davranışı ile ilgili bilgi sahibi olmayı arzu ederler.

- Bu bilgilere ulaşmak amacıyla malzemelerin dinamik yüklere karşı ne kadarlık bir kırılma enerjisine sahip olduğunu belirlemek,
- ani darbe sebebiyle malzemenin absorbe ettiği enerji miktarını ölçmek,
- malzemenin süneklik-gevreklik özelliklerini değerlendirmek ve
- malzemenin hangi sıcaklıklarda sünek hangi sıcaklıklarda gevrek bir davranış sergilediğini belirlemek amacıyla

çentik darbe deneyi

- yapılır.

- Çentik darbe deneyi vasıtasıyla belirlenen malzemelerin kırılma enerji değeri, çekme deneyi sonuçlarında olduğu gibi,
- mühendislik tasarım hesaplamalarında sayısal bir değer olarak kullanılmaz.
- Kırılma enerjisi değeri, sadece o malzemenin kırılma davranışını değerlendirmek ve sünekliği veya gevrekliği hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla kullanılır.
- Malzemelerin kırılma enerjisi ile süneklilikleri arasında belirli bir ilişki söz konusudur.
- Sünek olmayan yani gevrek olan malzemelerin kırılma enerjileri de düşüktür.

- Çentik darbe deneyinde kullanılan test numunesi üzerine, üç boyutlu bir gerilme sağlamak amacıyla, bir çentik açılır.
- Bu çentikten dolayı, deneye de çentik darbe deneyi adı verilmiştir.
- Çentik darbe deneyinde, numune üzerine çentiğin açıldığı yer ve darbe etkisinin numuneye temas ettiği nokta dikkate alınarak, deneyin adı da değişmektedir.

- Genellikle çentikli numuneler kullanılır ve bunların belirli sıcaklıklarda tek darbe türü makinelerde kırılması ile çentik tokluğu değerleri bulunur.
- Sonuçlar numune tarafından absorbe edilen darbe enerjisi veya darbe direnci olarak ifade edilir.
- En çok kullanılan Charpy ve İzod darbe deney yöntemleridir.
- Bunlarda çentikli numune ve sallanan sarkaç tipi makine kullanılır.
- Bu deney yöntemleri çeşitli standartlarda açıklanmıştır.

- Çentik numunenin tam ortasından açılırsa ve test cihazının kırma çekici çentikli numunenin çentik hizasının arka tarafından çarparak kırarsa, deneyin adı **CHARPY çentik darbe deneyi** olur.
- Çentik, numunenin merkezinden daha uzak bir mesafede (örneğin, numunenin 1/3 lük kısmında) açılırsa ve test cihazının kırma çekici, çentikli numunenin uç kenarına yakın yerden çarparak numune kırılırsa, deneyin adı **IZOD çentik darbe deneyi** adını alır.

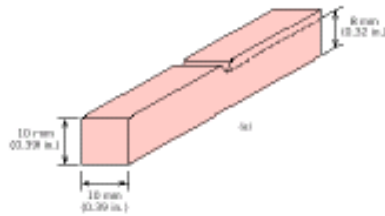
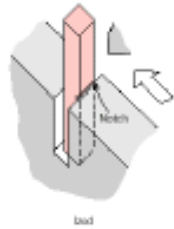
- Charpy ve Izod çentik darbe deneyinde kullanılan numunelerin boyutlan ve çentik geometrileri, standartlarda belirtilen geometrik ebatlarda yapılması gerekir.
- Metallerin Charpy çentik darbe deneyi, TS EN ISO 148 ve ASTM E23 standartlarına,
- plastiklerin Charpy çentik darbe deneyi TS EN ISO 179 TS ve ASTM D6110 - 10 standartlarında verilmiştir.
- Metallerin Izod çentik darbe deneyi ise TS EN ISO 180 standartlarına göre yapılır.
- Charpy test numunesinin boyu (55 mm), Izod test numune boyundan (75 mm) daha küçüktür.
- Fakat her iki test numunesi de 10 mm kare kesitine sahiptir.
- Charpy çentik darbe numunesinde, V çentikli, U-çentikli ve anahtar deliği çentikli olmak üzere üç farklı çentik geometrisi kullanılabilir.
- Izod çentik darbe numunesinde, sadece V çentiği açılır.
- Numunelerin ve çentiklerin boyutlan, standartlarda verilen ölçülere dikkat edilerek hassas bir şekilde hazırlanmasına özen gösterilmelidir.

- Gri dökme demir numunelerinin çentik darbe deneyi için hazırlanan test numunelerine, çentik açılmadığını görürüz.
- Çünkü gri dökme demir içerisinde bulunan grafit lamelleri, zaten çentik etkisi yapacağından, bu numunelere çentik açılmamaktadır.
- Çentik darbe deneyi, sarkaç tipi cihazlardan yararlanarak gerçekleştirilir.
- Kırılma enerjisini belirlemek için cihazlarda dijital veya analog göstergeler mevcuttur.
- Ayrıca pek çok modellerde otomatik çekiç kaldırma sistemi de vardır.
- Küçükten büyüğe kadar değişik kapasiteli cihazlar imal edilmiştir.
- Cihaz kapasiteleri, çekicinin sahip olduğu potansiyel enerjisine göre (örneğin 15 J veya 900 J gibi) belirtilir.

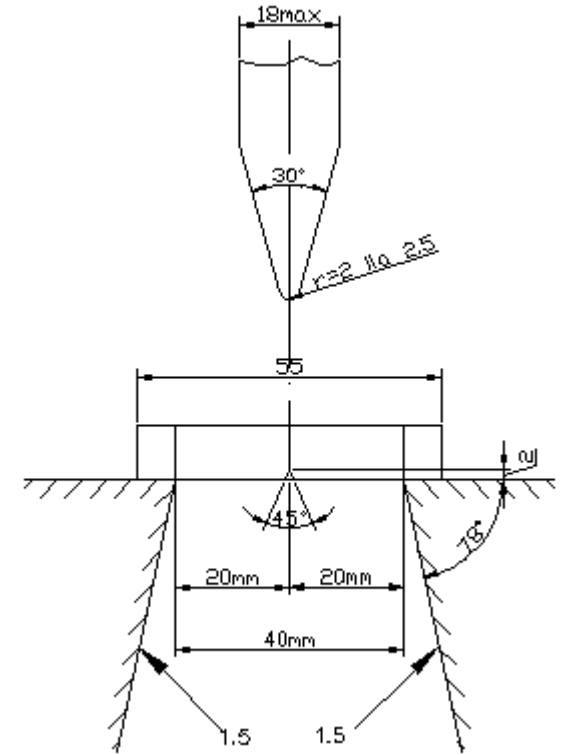
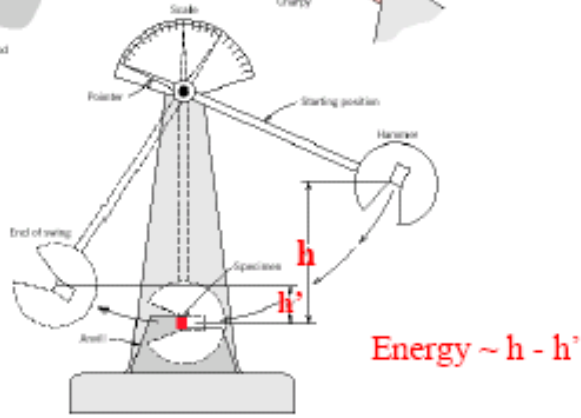
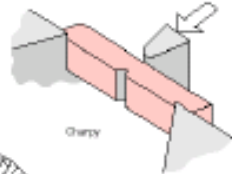
Charpy Darbe Deneyi

- Charpy darbe deneyi, yatay ve basit kiriş halinde iki mesnete yaslanan numunenin ortasına bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılması ve çentik ucunda meydana gelen çok eksenli gerilmelerin etkisi ile numunenin kırılması için harcanan enerjiyi tayin işlemidir.
- Charpy makinesinin toplam darbe enerjisi $220 \text{ ft} - \text{lb}$ civarındadır.
- Darbe değeri numunenin kırılması için harcanan enerji olup, vuran parçanın numuneye değdiği andaki potansiyel enerji ile numunenin kırıldıktan sonra vuran parçada kalan potansiyel enerji farkına eşittir,
- bu deneyde numune, ağırlık merkezi sarkacın vurma noktasının salınım yayına tam vurma anında çizilen teğet bir doğru üzerinde bulunacak şekilde cihaza yerleştirilir.

Izod



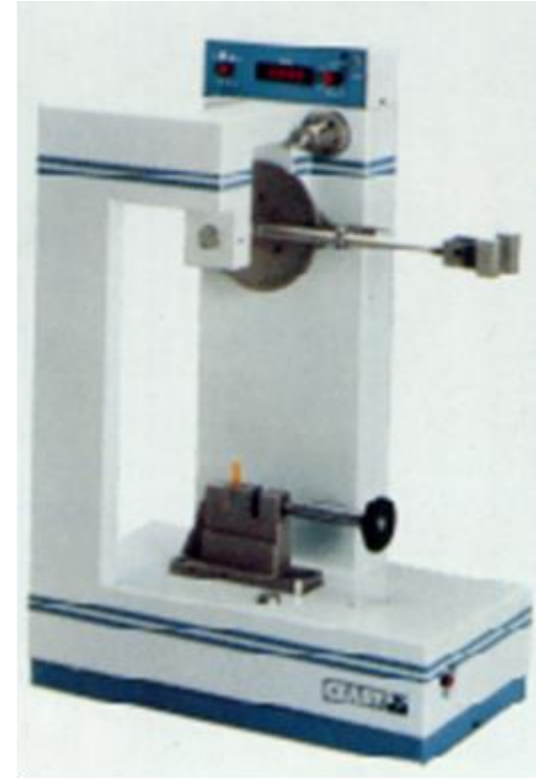
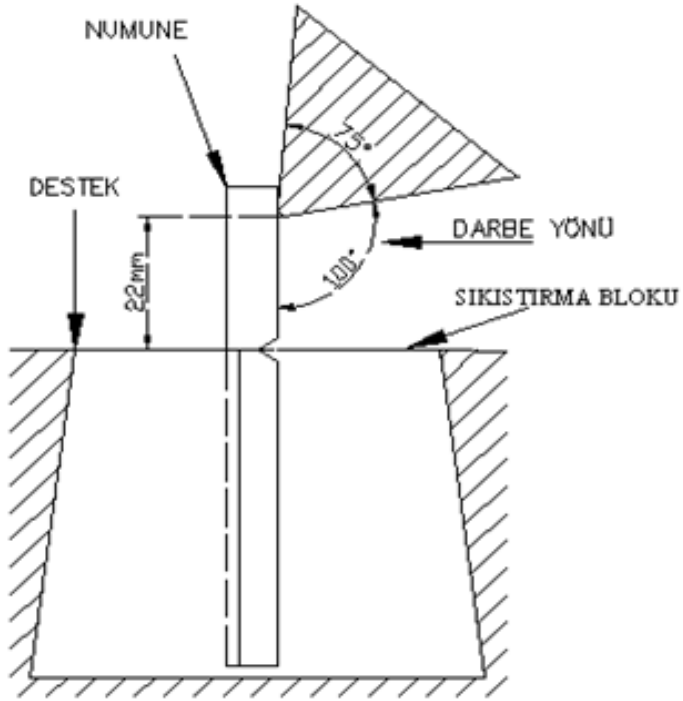
Charpy



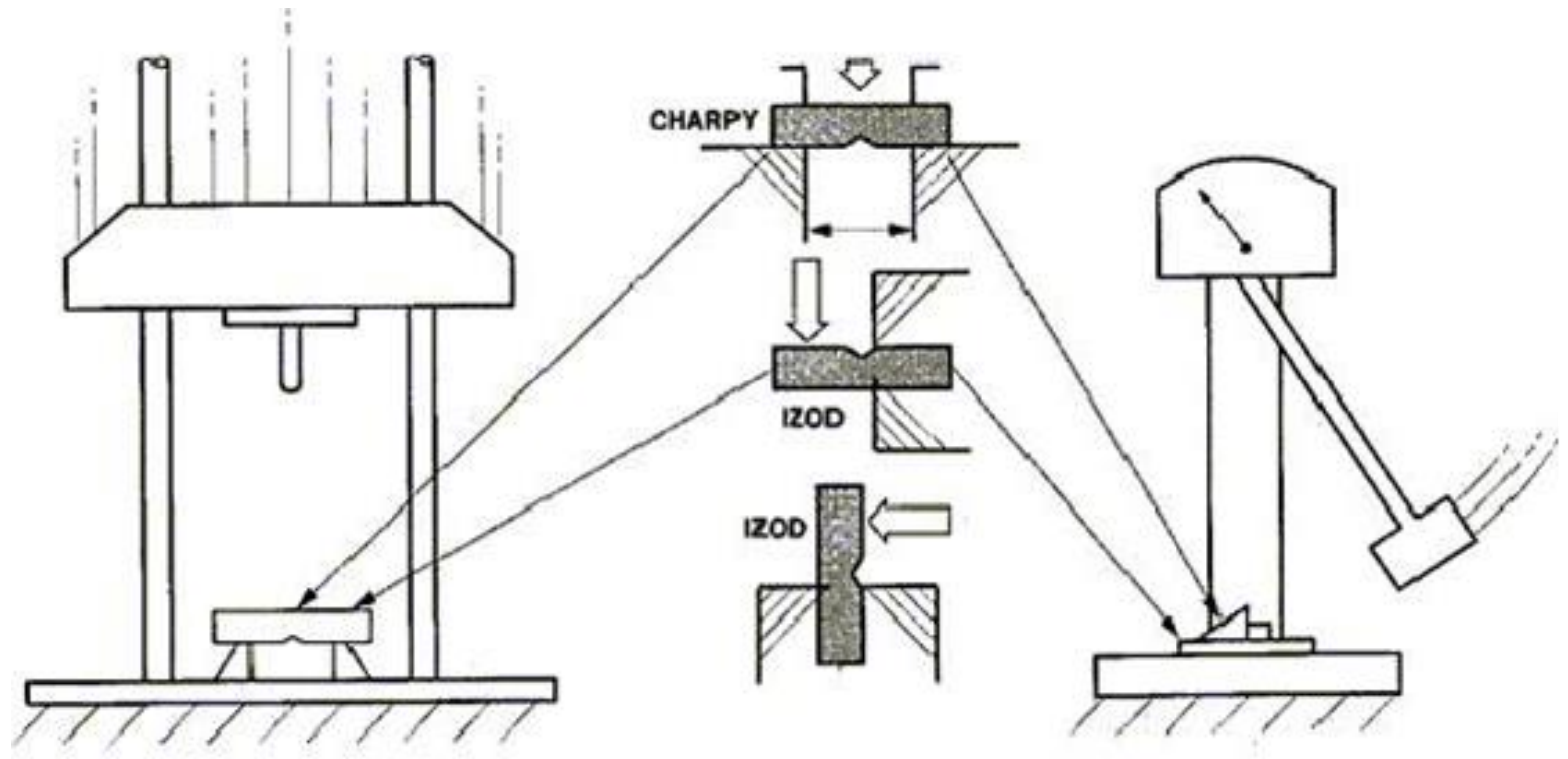
Charpy darbe deneyi (V çentikli deney parçası).

İzod Darbe Deneyi

- İzod darbe deneyi, dikey ve konsol kiriş halinde bir kavrama çenesine tespit edilen numune yüzeyine kavrama çenesinden belirli yükseklikte, bir sarkacın ucundaki vurucu çekiçle bir vurma yapılması
- ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilmeler etkisi ile numunenin kırılması için harcanan enerjinin tayini işlemidir.
- Bu deneyde numunenin vurulacak olan yüzeyi darbe anında çekicinin kenarı ile sarkacın salınım merkezinin teşkil ettiği düzlem üzerindedir.



İzod darbe deneyi

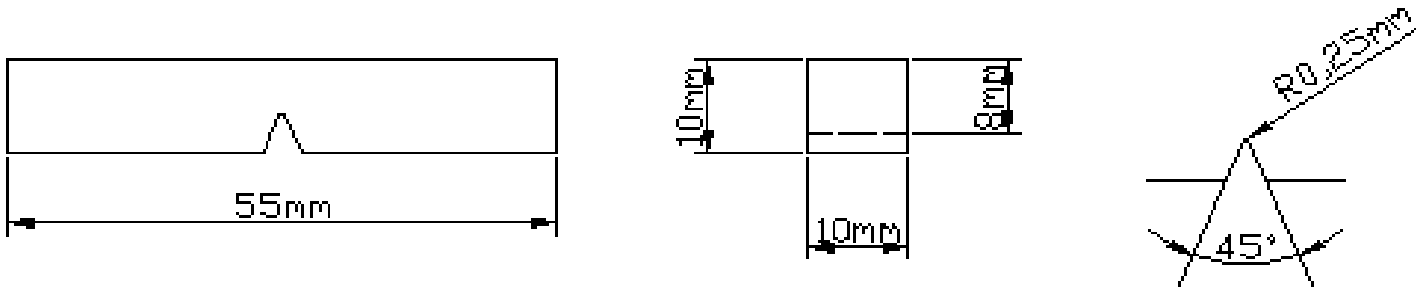


Charpy ve izod darbe deneyinin şematik görünümü

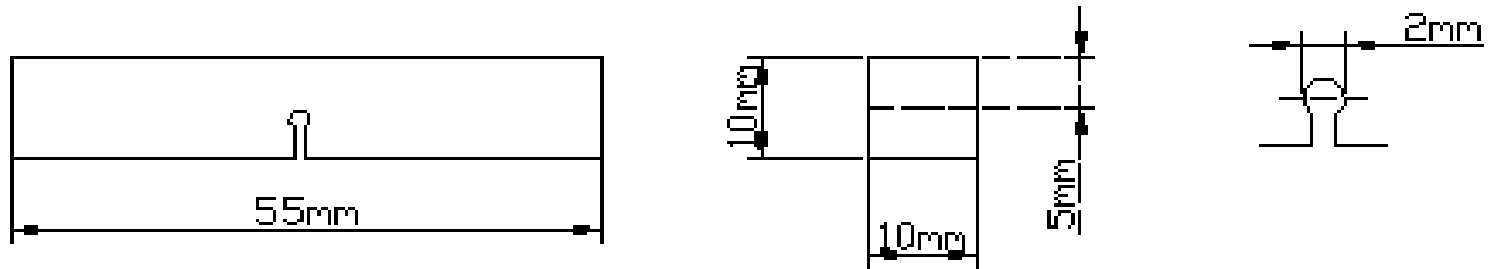
Çentikli Darbe Deneyi Numuneleri

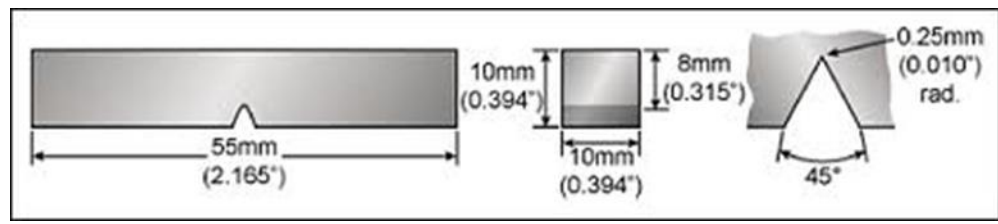
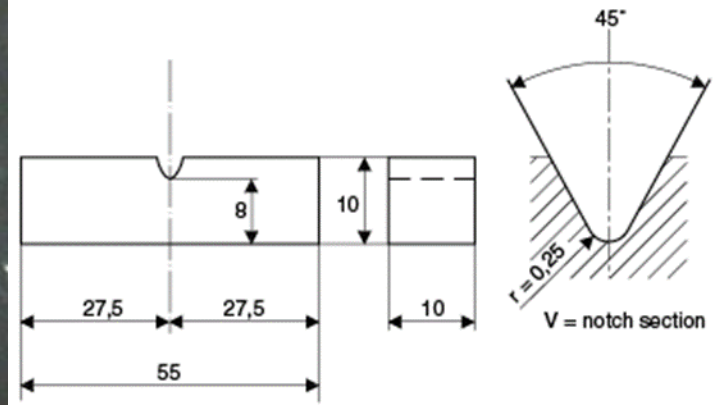
- Çeliklerin darbe tokluğunun belirlenmesinde kullanılan çentikli darbe deneyi numunelerinin boyut ve biçimleri Şekil' de görülmektedir.
- Bazı durumlarda standart dışı numune kullanılabilir.
- Örneğin lamel grafitli dökme demir için çentiksiz numune kullanılır.

V Çentikli Charpy darbe numunesi (ASTM, DIN, TS)

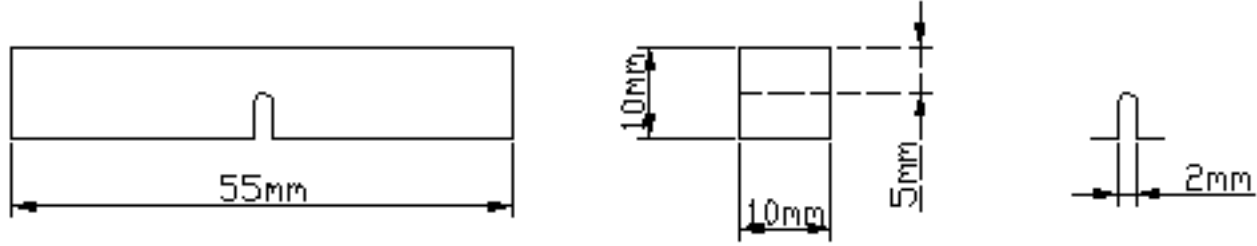


Anahtar deliği çentikli Charpy darbe numunesi (ASTM)

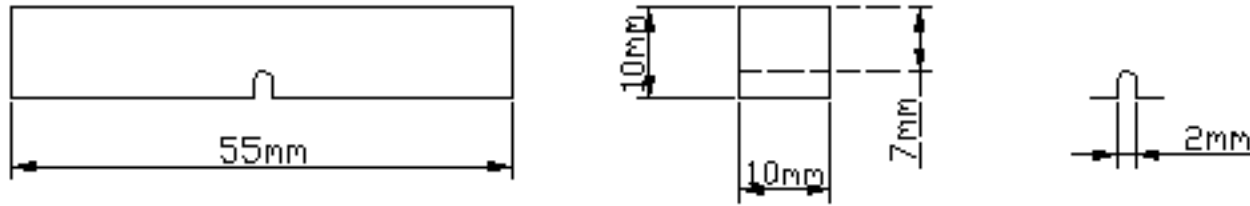




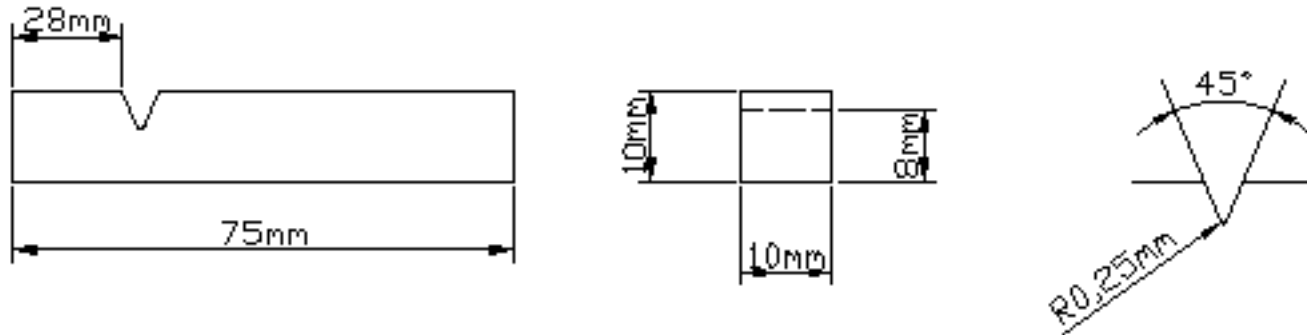
U Çentikli (DIN-ISA) Charpy darbe numunesi (ASTM,DIN, TS)

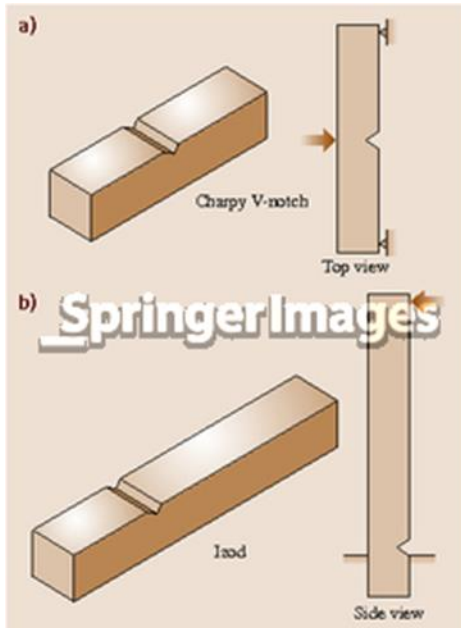
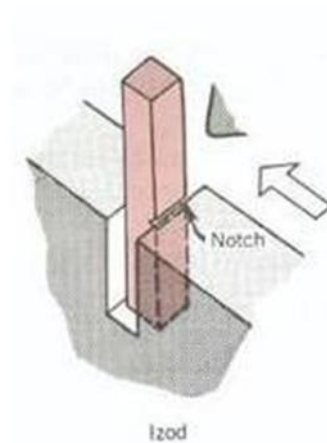
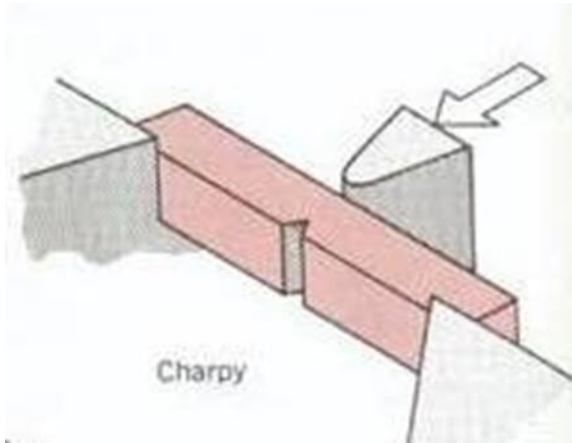


U Çentikli (DIN-DVM) Charpy deney numunesi (DIN)



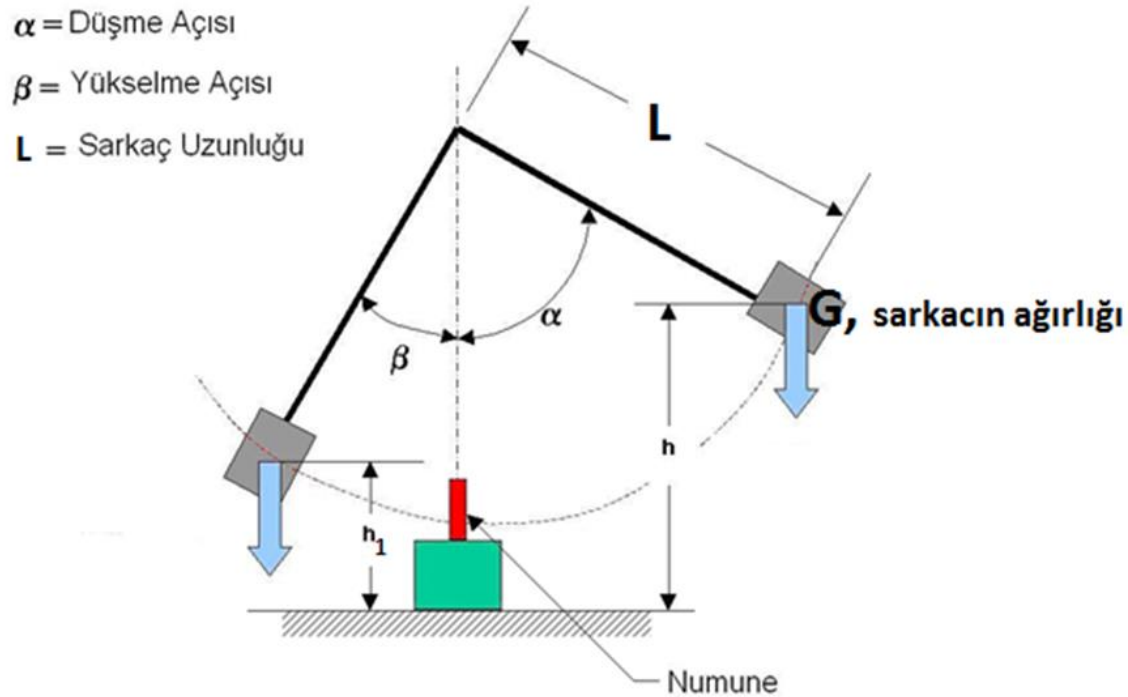
V Çentikli İzod darbe numunesi (ASTM,DIN, TS)





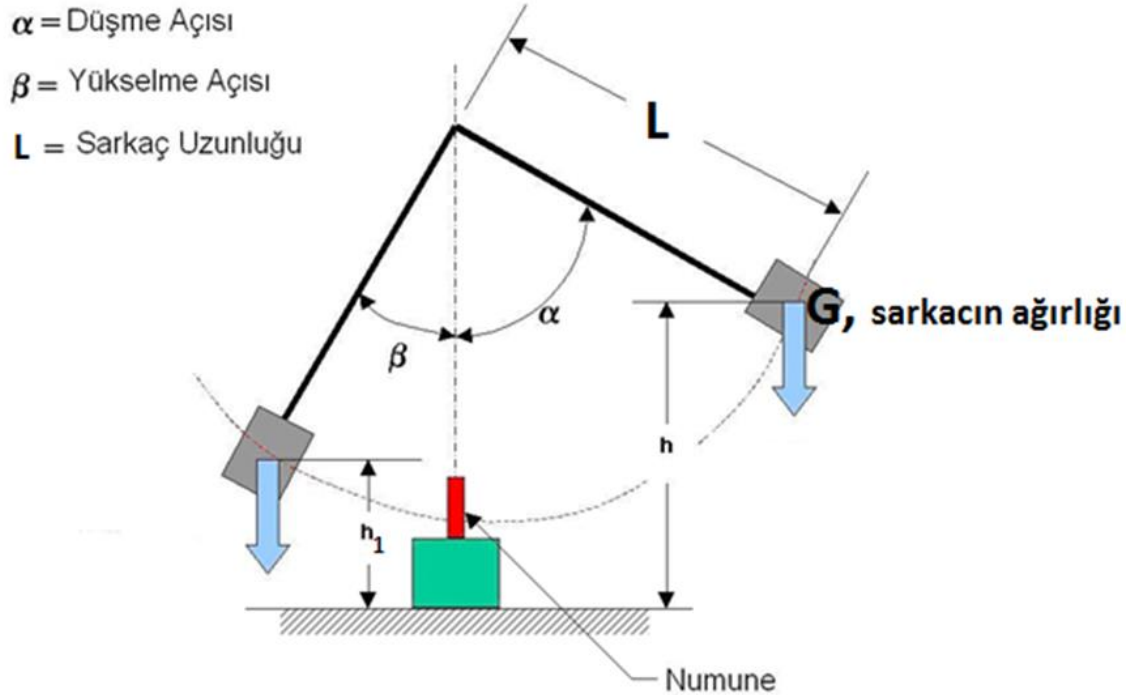
Deneyin yapılışı

- L uzunluğundaki bir sarkacın ucunda, bilinen bir G ağırlığına sahip çekiç, belli bir h yüksekliğinden serbest bırakılarak, çekicin numuneye çarpması ve numuneyi kırması sağlanır.



- Numuneyi kıran çekicin hızı azalacağından, h_1 yüksekliğine kadar ancak yükselebilir.
- Serbest bırakılmadan önce çekicin potansiyel enerjisi

$$G \cdot h$$



iken numune kırıldıktan sonra belli bir h_1 yüksekliğine çıkan çekicinin potansiyel enerjisi

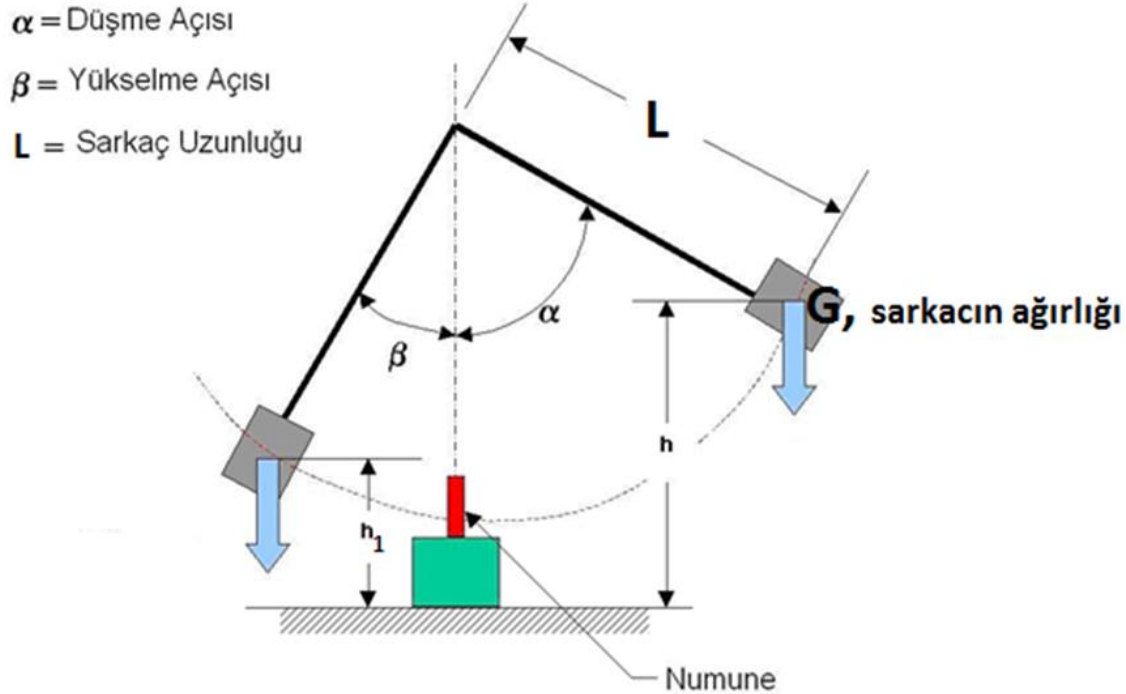
$$G \cdot h_1$$

olacaktır.

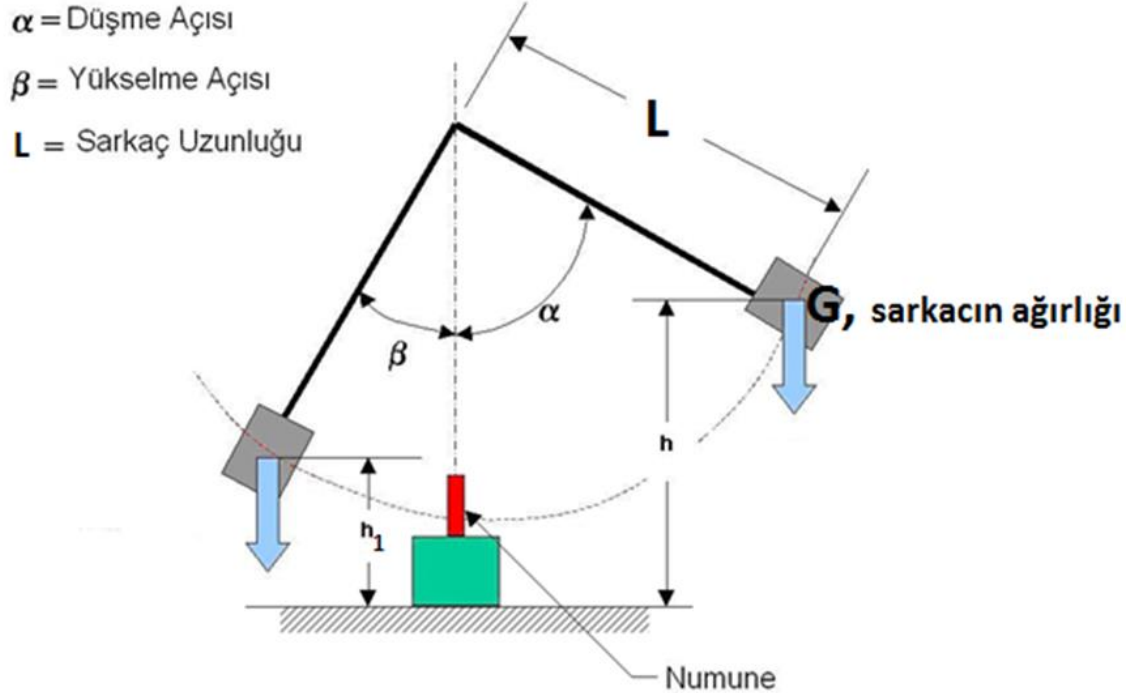
- Test numunesinin kırılmasından sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji,

$$G \cdot h_1$$

düzeyindedir.



- Sarkacın sahip olduğu potansiyel enerji ($G \cdot h$) ile numune kırıldıktan sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji ($G \cdot h_1$) arasındaki fark, o numunenin kırılması için gereken kırılma enerji miktarını verecektir.



$$\mathbf{Kırılma\ enerjisi} = (G \cdot h) - (G \cdot h_1) = G (h - h_1)$$

$$\mathbf{Kırılma\ enerjisi} = G \cdot L \cdot (\cos \beta - \cos \alpha)$$

G = Sarkacın ağırlığı (kgf)

L = Sarkaç ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine olan uzaklığı (m)

h = Sarkaç ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m)

h₁ = Numune kırıldıktan sonra sarkaç ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m)

α = Düşme açısı (derece)

β = Yükselme açısı (derece)

- Kırılma enerjisi birimi, **joule** veya **kgf.m** (**1 kgf.m = 9.80665 Joule**) olarak ifade edilir.

Darbe Mukavemeti

- Çentik darbe deneyi ile bulunan kırılma enerjisi, kırılan numune kesitine bölüdüğü takdirde,
- bulunan sonuç **çentik darbe mukavemeti** veya **çentik darbe tokluğu** terimleri ile tarif edilir.
- Darbe mukavemeti birimi, kgf.m/cm² veya Nm/cm² (1 kgf = 9,8 N) olup aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$\text{Çentik Darbe Mukavemeti} = \frac{G(h - h_1)}{A}$$

G = Sarkacın ağırlığı (Newton)

h = Sarkaç ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m)

h₁ = Numune kırıldıktan sonra sarkaç ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m)

A = Numunenin çentik altındaki kesit alanı (cm²)

Malzemelerin Sünek - Gevrek Geçiş Sıcaklıklarının Tespit Edilmesi

- Malzemelerin kırılma davranışının, yapılan çalışmalara göre sıcaklığa bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir.
- Bazı malzemeler, düşük sıcaklıklarda gevrek olarak kırılırken, yüksek sıcaklıklarda sünek olarak kırılmaktadırlar.
- Bu malzeme özelliğinin, çeşitli uygulama örneklerinde de etkin bir rol oynadığını görebiliriz.
- II. Dünya Savaşı esnasında düşük karbonlu çelikten imal edilmiş Amerikan LIBERTY türü kaynaklı gemilerin, Kuzey Atlantik'teki soğuk kış koşullarında yük taşıırken, ortadan ikiye bölünerek hasara uğradıkları belirlenmiştir.

- Kuzey denizindeki soğuk kış şartlarında hasara uğrayan petrol platformları, kışın çöken asma köprüler ve soğuk su ortamında ikiye ayrılan gemilerin beklenmedik bir anda hasara uğramalarının sebepleri üzerinde pek çok çalışmalar yapılmıştır.
- Yapılan incelemeler sonucunda, soğuk hava şartlarında ve deniz dalgalarının şiddetli bir şekilde gemiye çarpması ile kaynaklı düşük karbonlu çeliklerin gevrek bir davranış sergileyerek, ani olarak gevrek kırıldıkları belirlenmiştir.
- Böylece belirli sıcaklıklarda sünek kırılma davranışı sergileyen çelik malzemenin, düşük sıcaklıklarda da gevrek bir kırılma davranışı sergilediği ortaya çıkmıştır.
- İşte malzemelerin belirli sıcaklıklarda, hangi kırılma davranışını gösterdiğini belirlemek amacıyla, çentik darbe deneyinden yararlanılmıştır.

- Standartlara göre hazırlanan çentikli darbe deneyi numuneleri, değişik sıcaklıklarda ısıtılarak veya soğutularak, çentik darbe cihazına yerleştirilir, kırılır ve kırılma enerjileri belirlenir.
- Daha sonra, her bir malzeme ye ait kırılma enerjisi – sıcaklık diyagramları çizilir.
- Diyagramda gözüken eğriyi gevrek bölge, geçiş bölgesi ve sünek bölge olmak üzere üç ana bölgeye ayırırız.
- Gevrek bölgede malzemenin, düşük sıcaklıklarda düşük kırılma enerjisine sahip olduğu ve gevrek olarak ani bir şekilde kırılarak hasara uğrayacağını anlarız.
- Sünek bölgede malzemenin, nispeten yüksek sıcaklıklarda yüksek kırılma enerjisine sahip olduğu ve sünek olarak yani plastik şekil değişimi özelliği göstererek hasara uğradığını anlıyoruz.
- Geçiş bölgesi, malzemenin sünek kırılma davranışından, gevrek kırılmaya geçişin meydana geldiği bölgedir.
- Geçiş bölgesinin tam orta noktası, yani % 50 gevrek, % 50 sünek kırılmanın olduğu noktadaki sıcaklık değeri, sünek-gevrek geçiş sıcaklığı (T_g) olarak adlandırılır.

- Gevrek bölge ile geçiş bölgesini ayıran noktaya, tam gevreklik sıcaklığı (**T_{TGS} veya T_1**)adı verilir.
- Bu sıcaklık değerinin altında malzeme tamamıyla gevrek kırılacağı anlaşılır.
- Sünek bölge ile geçiş bölgesini ayıran noktaya da tam süneklik sıcaklığı (**T_{TSS} veya T_2**)adı verilir.
- Bu sıcaklık değerinin üstünde de malzeme tamamıyla sünek kırılma özelliği sergileyecektir.

- Çentik darbe deneyi ile malzemenin sünek-gevrek geçiş sıcaklığını belirlemek amacıyla hazırlanan numuneler, önce termos içerisindeki sıvı azot içerisine yerleştirilerek, termometre ile numunenin hangi eksi sıcaklık değerine ulaşması arzu ediliyorsa, ölçülerek tayin edilir.
- Numune termostan çıkarılarak, hemen çentik darbe deneyi uygulanır.
- Yüksek sıcaklık için de fırınlara yerleştirilerek numune sıcaklığı belirlenir.

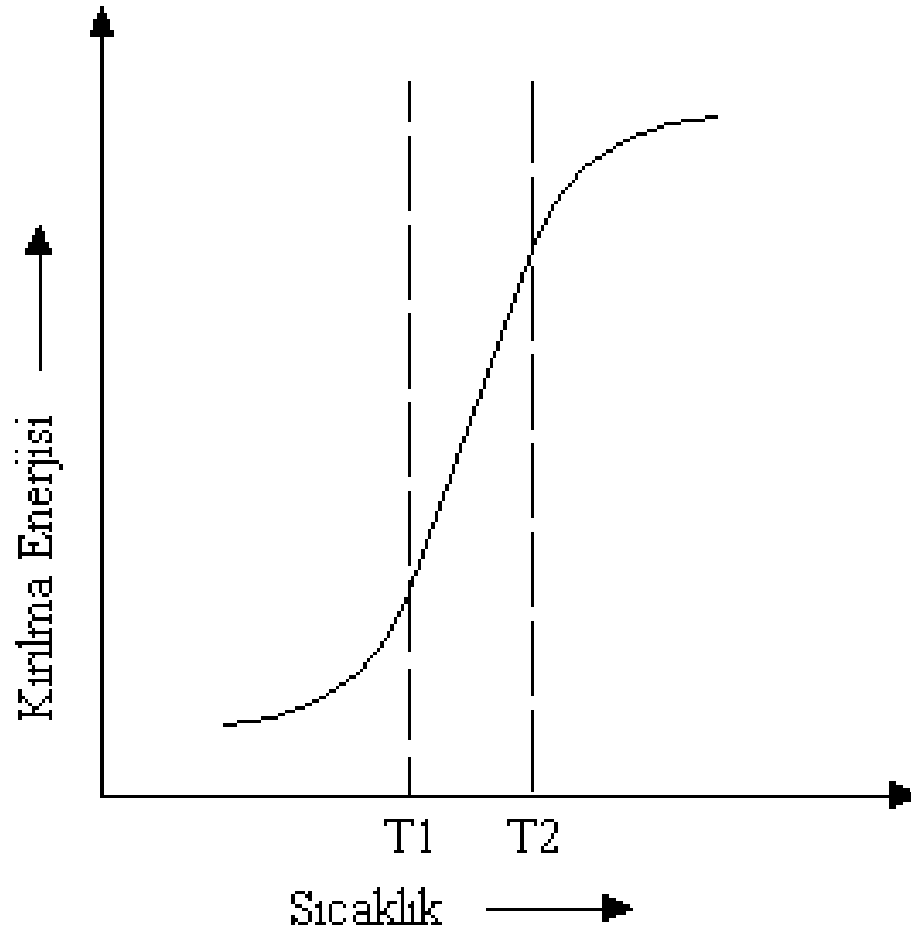
- Tasarım mühendisleri, malzeme seçimini yaparken malzemelerin sünek-gevrek geçiş sıcaklıklarını dikkate alırlar.
- Riske girmemek için daima geçiş sıcaklığı düşük olan malzemeyi seçmek gerekir.
- Çünkü seçilecek malzemenin kullanım ortamındaki sıcaklık değeri, bazen çok düşük olabilir,
- Bazen da yüksek olabilir.
- Dolayısıyla malzemenin kullanıldığı ortamdaki sıcaklık değişimi daima dikkate alınmalıdır.
- Örneğin; bir gemi, sıcak sularda yüzebileceği gibi, soğuk su ortamlarında da bulunabilir.
- Bu nedenle gemiyi imal edeceğimiz malzemenin geçiş sıcaklığının düşük olması arzu edilmelidir.

- Zaten bu amaçla, çelik üretici firmalar geçiş sıcaklığı düşük gemi imalat çelikleri geliştirilmiştir.
- Gemi imalatında kullanılan düşük karbonlu çeliklerin sünek-gevrek geçiş sıcaklığı, malzemenin **27 J** 'lük Charpy kırılma enerjisine karşılık gelen sıcaklık değeri olarak alınır.
- Bu özellik, gemi çeliklerinde **T_{27J}** terimiyle gösterilir.

- Bazı malzemelerin kırılma enerjileri, sıcaklığa bağlı olarak değişmesine rağmen,
- bazı malzemelerin kırılma enerjileri ise değişmemektedir.
- Orta karbonlu bir çeliğin kırılma enerjisi, sıcaklık düştükçe oldukça büyük bir oranda belirgin bir değişiklik azalmaktadır.
- Fakat bakır metalinin kırılma enerjisi ise sıcaklık değiştikçe hemen hemen değişmemekte yani sabit kalmaktadır.

Darbe Direncine Etki Eden Faktörler

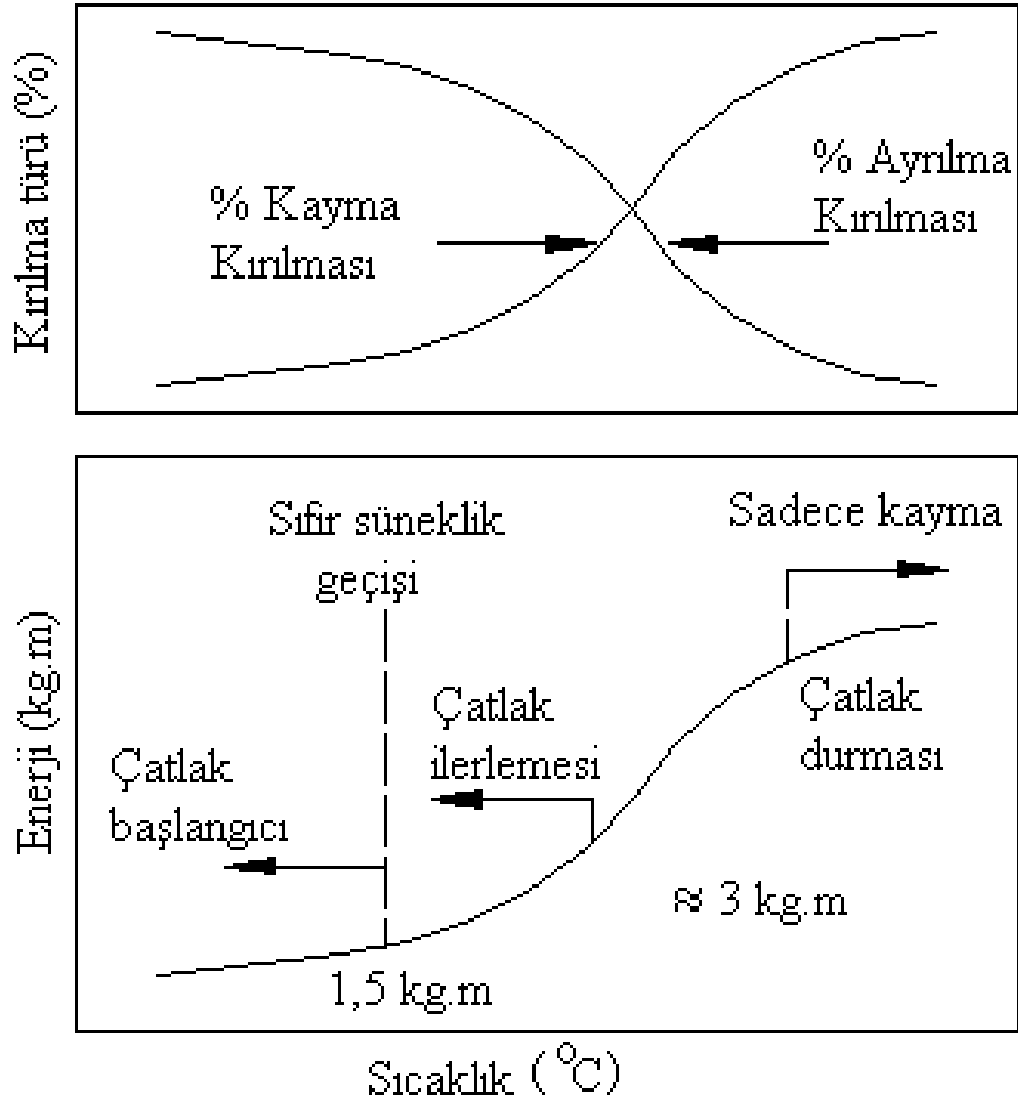
- **Sıcaklık Etkisi**
- Sıcaklığın darbe direncine etkisini belirlemek amacıyla çeşitli sıcaklıklarda darbe deneyi yapılır.
- Sıcaklık azaldıkça, malzeme süneklikten gevrekliğe geçiş gösterir, gevrek kırılmanın olduğu sıcaklığa **sünek-gevrek geçiş sıcaklığı** denir.



Darbe direncinin sıcaklıkla değişimi.

- Bu şekilde görüldüğü gibi darbe direnci sıcaklık azaldıkça azalmaktadır, bu azalış (T_{TSS} veya T_2) ve (T_{TGS} veya T_1) sıcaklıkları arasında çok şiddetlidir.
- (T_{TGS} veya T_1) sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda malzeme gevrek bir davranış gösterir.
- Kırılma, ayrılma düzlemleri boyunca olup, kırılma yüzeyi ince taneli görünüştedir.
- Bu sıcaklıklarda darbenin tesiri ile çatlak oluşması kolaydır ve çatlak büyük bir hızla yayılır.
- (T_{TSS} veya T_2) sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda malzeme sünek davranış gösterir.

- Bu sıcaklıklarda, darbenin etkisiyle malzemede önce plastik deformasyon daha sonra kırılma meydana gelir ve çatlağın yayılma hızı yavaştır.
- Bu durumlarda kırılma, yırtılma şeklinde olur ve kırılma yüzeyi lifli bir görünümde dir.
- **(TTGS veya T_1) ve (TTSS veya T_2)** sıcaklıkları arasında geçiş aralığında her iki davranış birden görülür.
- **(T_{TGS} veya T_1)** sıcaklığına yaklaşıldığında gevrek,
- **(T_{TSS} veya T_2)** sıcaklığına yaklaşıldığında sünek davranış görülür.



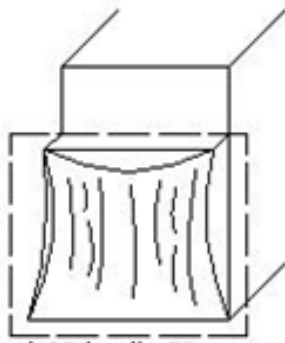
Kırılma türü ve darbe enerjisinin sıcaklıkla değişimi.

- Mühendislik uygulamalarında (T_{TGS} veya T_1) sıcaklığı (T_{TSS} veya T_2)'ye göre daha önemlidir,
- çünkü deneyi yapılan malzeme bu sıcaklığın altında tamamen gevrek davranış gösterdiğinden bu sıcaklıktan daha düşük sıcaklıklarda kullanılmaz.
- Geçiş sıcaklığı olarak da (T_{TGS} veya T_1) sıcaklığı alınır ve bu sıfır süneklik sıcaklığıdır.

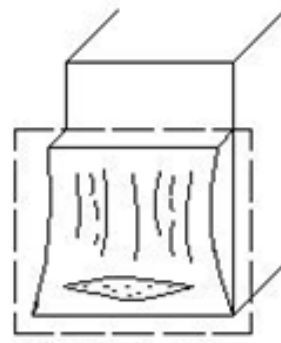
(T_{TGS} veya T_1) sıcaklığının tayininde şu kriterlerden faydalanılır;

- Darbe veya kırılma enerjisi
- Kırılma yüzeyinin görünüşü
- Kırılma sonrası çentik tabanında meydana gelen enlemesine büzülme.

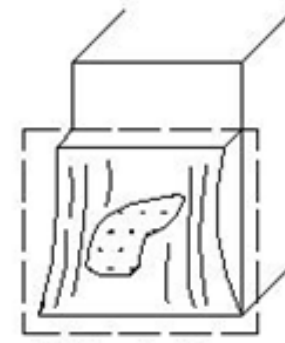
- Kırılma enerjisi kriter olarak alındığından genellikle 2-3 kJm. (15-20 ft-lb)' lik kırılma enerjisine karşı gelen sıcaklık geçiş sıcaklığı olarak alınır.
- Kırılma yüzeyi görünüşü kriter olarak alındığında kırılma yüzeyinde kristalin şekilde görülen alanın tüm kesit alanına oranı yaklaşık olarak tespit edilir.



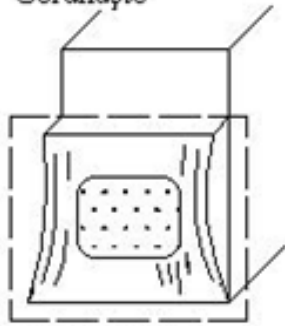
a) Kristalin Yüzey
% 0 Tümü Lifi
Görünüşte



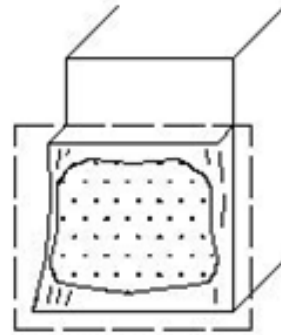
b) Kristalin Yüzey
Yaklaşık % 10



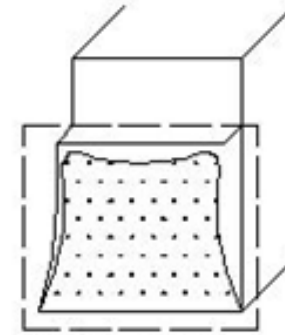
c) Kristalin Yüzey
Yaklaşık %20



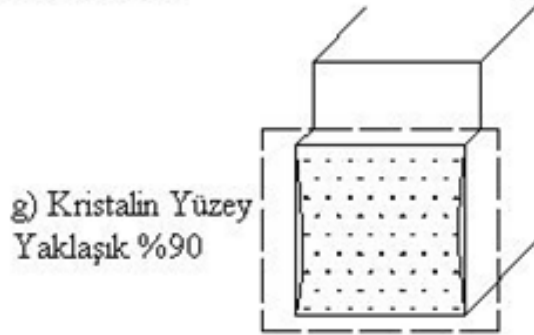
d) Kristalin Yüzeyi
Yaklaşık %30



e) Kristalin Yüzey
Yaklaşık %40



f) Kristalin Yüzey
Yaklaşık %50



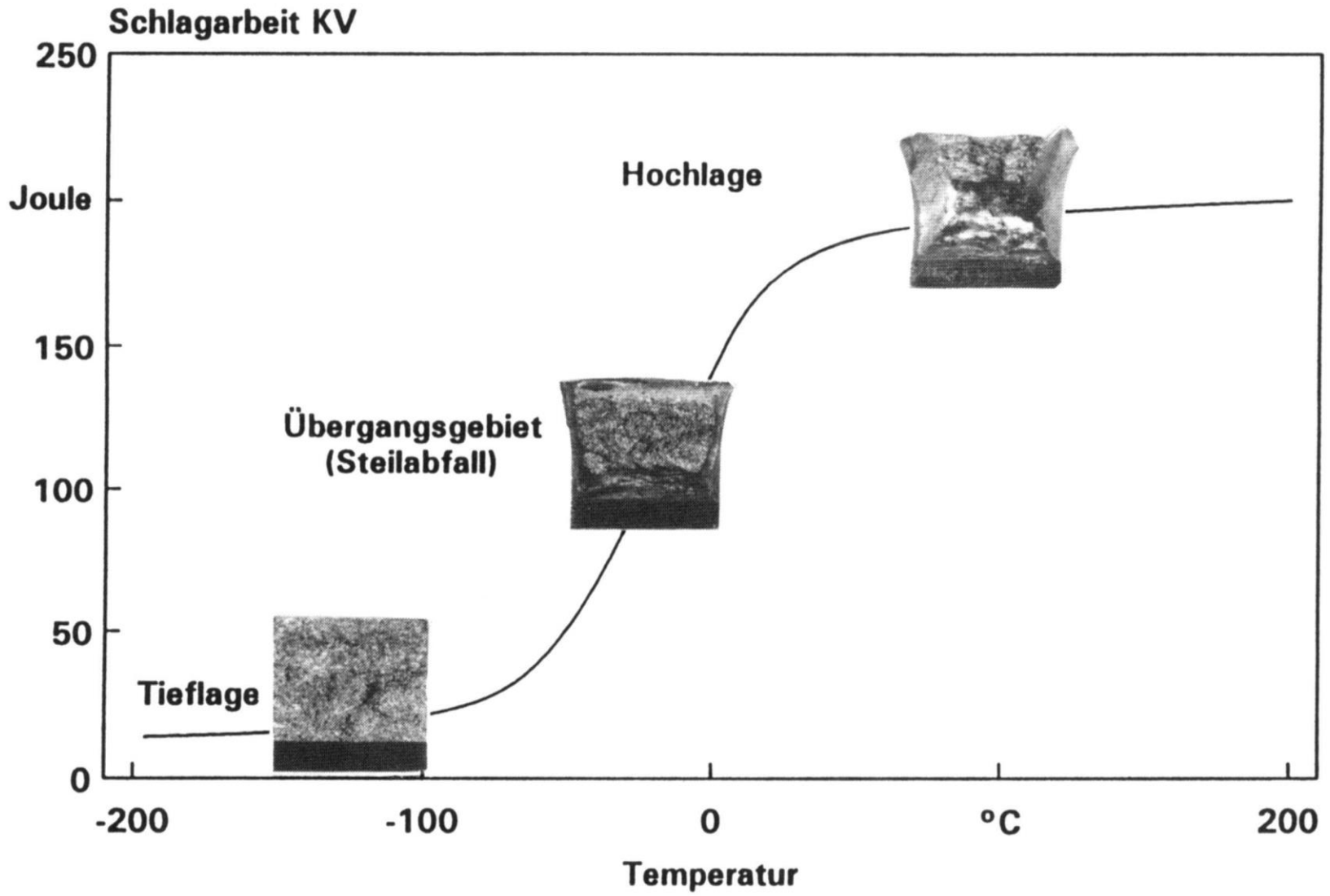
g) Kristalin Yüzey
Yaklaşık %90



h) Kristalin Yüzey
Yaklaşık %100

Geçiş aralığında kırılma yüzey görünüşünün sıcaklıkla değişimi







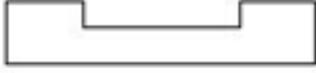
- (a) şekli sünek davranışa, (h) şekli ise çok gevrek davranışa ait görünüştür.
- Kesitte % 50 kristalin görünüşü veren sıcaklık geçiş sıcaklığı olarak alınır.
- Şekil a.' da sünek davranış halinde çentik tabanında belirli miktarda büzülme görülmektedir.
- Gevrek davranış halinde (Şekil h.) ise plastik şekil değiştirme olmadığından çentik tabanında enlemesine büzülme görülmez.
- Bu büzülme miktarı kriter olarak alındığında % 1 büzülme gösteren sıcaklık, geçiş sıcaklığı olarak alınır.



- Malzemelerin süneklikten gevrekliğe geçiş sıcaklığı mühendislik uygulamalarında, özellikle malzeme seçiminde önemlidir.
- Geçiş sıcaklıkları düşük olan malzemeler tercih edilir.
- Geçiş sıcaklığı malzemedan malzemeye değişebileceği gibi, aynı tip malzemedede **kimyasal bileşim, tane boyutu, mikro yapı, soğuk işlem derecesi** gibi faktörlerin tesiri ile de değişebilir.

Çentik Etkisi

- Çentikli bir parça zorlandığı, zaman çentiğinin tabanına dik bir gerilme meydana gelir.
- Kırılmanın, başlaması bu gerilmenin etkisiyle olur.
- Çentiğin şekli çentik tabanında meydana gelen gerilme durumunu değiştirdiğinden darbe direncini etkiler.
- Şekil de çentik açısının darbe direncine etkisini göstermektedir.
- Bu şekilde çentik açısı daraldıkça darbe direnci azalmakta ve malzeme daha kırılgan olmaktadır.

Çentik Açısı (Derece)	Deney Parçası	Charpy Darbe Değeri, kg.m
0		3.0
30		3.4
45		3.2
90		3.6
120		5.8
130		9.1
180		8.7

Çentik açısının darbe direncine etkisi

Kimyasal Bileşim Ve Mikro Yapının Etkisi

- Çeliklerde karbon ve diğer alaşım elemanları belirli bir sıcaklıkta çentik tokluğunu etkiledikleri gibi geçiş sıcaklığını da etkilerler.
- Karbon miktarı arttıkça süneklik azalmakta geçiş sıcaklığı artmaktadır.
- Diğer alaşım elementlerinden manganezin etkisi ise artan manganez miktarı ile geçiş sıcaklığının düşmesidir.
- Alüminyum ile söndürülmüş karbon çeliklerinin geçiş sıcaklığı, söndürülmemiş çeliklerden daha düşüktür.

- Genel olarak küçük taneli çelikler, kaba tanelilerden daha yüksek bir çentik tokluğuna sahiptirler.
- Tane boyutu küçüldükçe geçiş sıcaklığı azalır.
- Çeliğin mikro yapısı çentik tokluğunu bileşim ve mekanik özelliklerden bağımsız olarak etkileyebilir.
- Temperlenmiş martenzit veya beynitik yapı diğer mikro yapılara oranla en yüksek çentik tokluğu ve en düşük geçiş sıcaklığı sağlar.
- Haddelenmiş veya dövülmüş malzemelerde yapının yönlenmesi nedeniyle oluşan anizotropik durum, bu malzemelerde farklı yönlerde alınan numunelerde farklı çentik tokluğu değerleri verir.

Darbe Testinden Elde Edilen Özellikler

- Sünek-Gevrek geçiş sıcaklığı (DBTT)
- Çentik Duyarlılığı - çentik etkisi , yorulma ömrü yada tokluk gibi malzemelerin özelliklerinde ki diğer kusurlar ölçülür

- **Charpy testi** ile numunenin kırılma esnasındaki absorbe ettiği enerji miktarı ölçülebilir.
- **Çentik tokluğu**: bir metalin çentik uçlarında meydana gelen yerel gerilmeler altında plastik akma kabiliyet ve kapasitesidir.