

LABORATUVAR I

TAHRİBATLI MALZEME MUAYENESİ (ÇEKME DENEYİ – SERTLİK ÖLÇME – DARBE DENEYİ)

DENEY NUMUNESİNİN HAZIRLANMASI VE RAPORLAMA

Dersi alan öğrenciler Bölüm Başkanlığı tarafından gruplara ayrılacaktır. Her bir grup Denizli sanayisinde bulunması muhtemel Çizelge 1.5’de verilen malzemelerden veya kendi belirlediği ve ne olduğunu bildiği bir malzemeden 2 adet çekme deneyi numunesi, Şekil 1.6 ile 2 adette çentik darbe deneyi numunesi, Şekil 1.7’ye uygun boyutlarda hazırlayacaktır. Malzemeler sanayide malzeme satışı yapan firmalardan birinden alınıp, istenilen bir yerde aşağıda verilen standart boyutlarda talaşlı imalatı yaptırılarak çekme ve çentik darbe deney numuneleri hazırlanacaktır (Çentikler bizim tarafımızdan tahribatlı malzeme muayene laboratuvarında açılacaktır). **Daha önceden sanayideki birkaç firma tarafından hazırlanmış ve size satılmak istenen hazır işlenmiş parçalardan almayınız.** Ne olduğu belli olan parçayı kendi gözünüzün önünde kestirip bulacağınız bir firmada istenilen ölçülere birebir uyacak şekilde işletiniz. Hazırlanan çentik darbe deneyi numunesi kırılmadan önce Rockwell C veya malzeme yumuşak geliyorsa Rockwell A cinsinden sertliği ölçülecek ve rapora yazılmak üzere not edilecektir. Sertlik ölçümü yapılan numune çentik darbe deneyine tabi tutulup tokluğunun kaç J olduğu makineden çıktısı alınarak rapor edilecek ve rapora taranmış olarak .jpg resmi olarak eklenecektir. Çekme deneyi sonucu öğrencinin adı soyadı ve numarası ile .pdf olarak kaydedilecektir (örnek: Cemal Meran 89220519.pdf). Yapılan deneysel çalışmaya ait **HER BİR ÖĞRENCİ AYRI AYRI 1 adet word olarak rapor hazırlayacaktır.** Raporları hazırlarken öğrenciler birbirinden kopya çekmeyecektir. Her bir raporun öğrencinin kendisi tarafından hazırlanmış olması ve özgünlüğü değerlendirmede özellikle dikkate alınacaktır. Raporda malzemenin cinsi, nereden kaçta alındığı, kaç Liraya işletildiği ve her bir deneyde bulunan sonuçlar sembolleri ve birimleri doğru yazılacak şekilde özetlenecektir. Word veya Acrobat dosyası yine öğrencinin adı soyadı ve numarası ile kaydedilecek (örnek: Cemal Meran 89220519.doc veya Cemal Meran 89220519.pdf) ve deney raporları **Canlı Ders sisteminde Haftalık Konu Başlıklarında dersin yapıldığı haftadaki Ödev Yönetimi sayfasına** ödevini kendilerine tanımlanan tarihe kadar yüklemiş olacaklardır. Bu tarihten sonra teslim edilen raporlar dikkate alınmayacaktır.

Çizelge 1.5: Denizli piyasasında bulunabilen çelik malzeme türlerinden bazıları

		EN Standartına Göre Yeni Gösterimi	Piyasada Bilinen Kısa Gösterimi veya Malzeme Numarası
ÇEKME DENEYİ İÇİN ALINABİLECEK MALZEMELER			
1	Genel Yapı Çelikleri	S235JR	St37-2
2	Sementasyon Çeliği	21NiCrMo2-2	AISI 8620
3	İslah Çeliği	C40	AISI 1040
4		42CrMo4	AISI 4140
5	Takım Çeliği	X210Cr12	1.2080
6		155CrVMo12-1	1.2379
7		115CrV3	1.2210 – Civa Çeliği
ÇENTİK DARBE DENEYİ İÇİN ALINABİLECEK MALZEMELER			
1	Genel Yapı Çelikleri	S235JR	St37-2

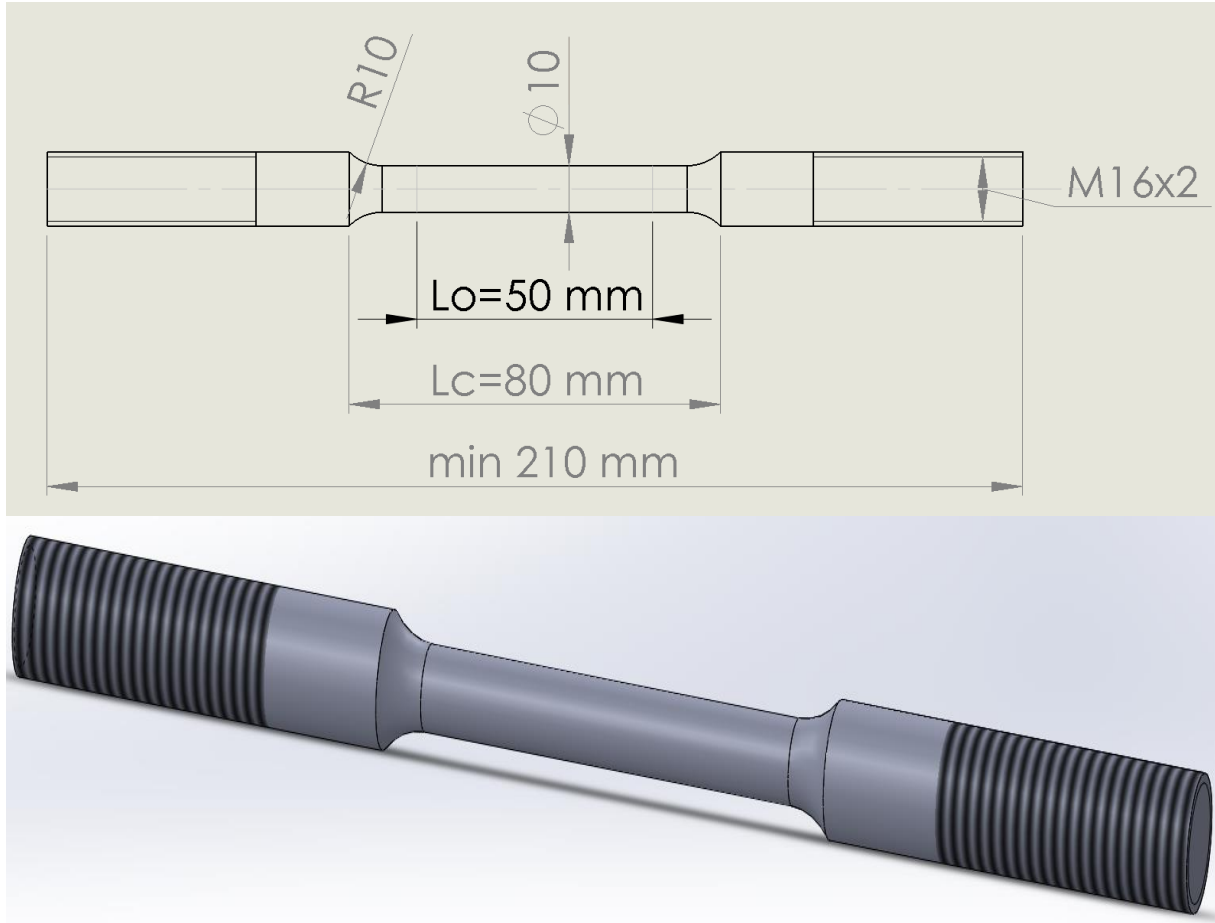
Laboratuvar uygulamasına katılmış olsa bile, rapor teslim etmeyen öğrenci değerlendirmeye alınmayacaktır. Deneyler A Blok zemin katta bulunan Z20 nolu Tahribatlı Malzeme Muayene

Laboratuvarında bizzat öğrenciler tarafından yapılacaktır. Programda verilen tarihler dışında deneylerin yapılması için izin verilmeyecektir.

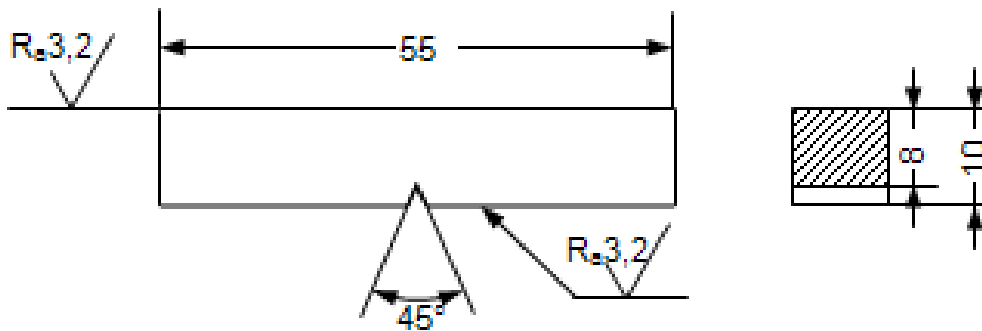
Grupların derse gelirken numuneleri yanında getirmesi zorunludur. Çekme ve Çentik darbe deney numune malzemeleri birbirinden farklı olabilir.

NOT:

Çentik darbe deneyi numunelerinizi 10x10 kare kesitte soğuk çekilmiş S235JR çeliğinden tam 55 mm boyutunda olacak şekilde 2 adet kestirip derse getirin. Çentikler bizim tarafımızdan tahribatlı malzeme muayene laboratuvarında açılacaktır.



Şekil 1.6. 10 mm numune çapı için numune boyutları ve katı modeli



Şekil 1.7. V çentikli normal numune

LABORATUVAR I

TAHRİBATLI MALZEME MUAYENELERİ (ÇEKME - ÇENTİK DARBE - SERTLİK ÖLÇME DENEYİ)

1. METAL MALZEMELERİN ÇEKME DENEYİ

Metal malzemelerin çoğunda bazı mekanik özellikleri ölçebilmek için **EN ISO 6892** (2009) standardında belirlenmiş kurallar içinde çekme deneyleri yapılır. Bir kısım metallerde, örneğin dökme metallerde, bazı yassı demir olmayan metallerde ve metal olmayan malzemelerde (plastikler, seramikler, tekstil vb.) ayrı kurallar geçerlidir. EN ISO 6892 standardı dört kısımdan oluşmaktadır. Oda veya ortam sıcaklığı denen sıcaklıklardaki (+10 ile +35 °C arası) mukavemet değerlerinin ölçümü için bunlardan birincisi geçerlidir:

EN ISO 6892 -1: Oda Sıcaklığında Metal Malzemelerin Çekme Deneyi;
EN ISO 6892 -2: Yüksek Sıcaklıklarda Metal Malzemelerin Çekme Deneyi;
EN ISO 6892 -3: Düşük Sıcaklıklarda Metal Malzemelerin Çekme Deneyi;
EN ISO 6892 -4: Sıvı Helyum İçinde Metal Malzemelerin Çekme Deneyi;

Metalik malzemelerin çekme deneyini tanımlayan EN ISO 6892 standardına ait Kısım 1 halen kullanımdadır. Kısım 2 ve 3 hazırlanma aşamasındadır. Kısım 4 ise henüz plan aşamasındadır.

1.1 Çekme Deneyi ile Ölçülebilen Malzeme Değerleri

Standartlara uygun olarak yapılacak bir çekme deneyi sonucu, malzemelerin **Çizelge 1.1'**de verilen mekanik özellikleri ölçülebilir.

Çizelge 1.1: Metallerde çekme deneyi ile ölçülebilen başlıca mekanik özellikler

Malzeme Değeri		Sembol	Birim
Çekme Dayanımı		R_m	N/mm ² veya MPa
Akma Sınırları	Üst Akma Dayanımı (Üst Akma Sınırı)	R_{eH}	N/mm ² veya MPa
	Alt Akma Dayanımı (Alt Akma Sınırı)	R_{eL}	N/mm ² veya MPa
	% 0,2 Uzama Dayanımı (% 0,2 Uzama Sınırı)	R_{p0,2}	N/mm ² veya MPa
Kopma Uzaması		A[*]	%
Kopma Büzülmesi		Z	%
Üniform Uzama		A_g	%
Elastisite Modülü		E	kN/mm ² veya GPa
Akma Sınırı Uzaması		A_e	%
*) : Standart numune (L ₀ = 5d ₀) için alınan A dışında uzun numunelerde (yani L ₀ = 10d ₀) A _{11,3} ve yassı numuneler için A _{50mm} ve A _{80mm} de vardır.			

1.2 Çekme Deneyi Makineleri ve Çekme Deneyinin Yapılışı

Çekme deneyinin yapılabilmesi için bir “Çekme Deneyi Makinesi” ve özelliği ölçülecek malzemeden yapılmış “Numune” (veya “Deney Parçası”) gereklidir. Numunelerin hangi şekle sahip olacaklarını da EN ISO 6892-1 belirlemektedir. Bir çekme deneyinde kullanılan semboller **Çizelge 1.2'**de detayları ile verilmiştir.

Cizelge 1.2: Çekme deneyi ile ilgili semboller ve açıklamaları

Sembo l	BİRİ M	AÇIKLAMA
σ	N/mm ²	Gerilme (genel anlamda normal gerilme)
a	mm	Yassı numunenin kalınlığı (veya boru et kalınlığı)
b	mm	Yassı numunenin gövde genişliği
B	mm	Yassı numunenin baş genişliği
d	mm	Daire kesitli numunenin gövde çapı
D	mm	Daire kesitli numunenin baş çapı (veya boru dış çapı)
L ₀	mm	Numune üzerine deney öncesi işaretlenen ilk ölçü boyu
L _U	mm	Kopmada işaretli çizgiler arasında kalan son ölçü boyu
ΔL	mm	Uzama: $\Delta L = L - L_0$, kopmada: $\Delta L_m = L_U - L_0$
ε *)	-	Uzama oranı: $\varepsilon = \Delta L / L_0$
100 ε	%	Birim uzama = $(\Delta L / L_0) \cdot 100$
L _C	mm	Gövde boyu
L _t	mm	Numunenin toplam uzunluğu
S ₀	mm ²	Gövdenin ilk kesit alanı
S _U	mm ²	Kopmada gövdenin büzüldüğü yerdeki en küçük kesit alanı
A	%	Kopma uzaması (orantılı kısa numunede: $L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$) $A = (\Delta L_m / L_0) \times 100$, burada $A \equiv A_{5,65}$ alınmıştır.
A _{11,3}	%	Kopma uzaması (orantılı uzun numunede, yani yuvarlak çubuklarda $L_0 = 10d_0$ veya köşeli çubuklarda $L_0 = 11,3 \sqrt{S_0}$)
A _{50mm}	%	Kopma uzaması (ince sac numunelerde $L_0 = 50$ mm)
A _{80mm}	%	Kopma uzaması (ince sac uzun numunelerde $L_0 = 80$ mm)
A _e	%	Akma sınırı uzaması (belirgin akma sınırı olan numunelerde)
A _g	%	Üniform uzama (büzülme başlamadan önceki plastik uzama)
A _{gt}	%	Üniform toplam uzama (büzülme başlangıcından önceki uzama), $A_{gt} = A_g + A_e$
A _t	%	Kopmada toplam uzama: $A_t = \text{kopma uzaması} + A_e$
Z	%	Kopma büzülmesi: $Z = 100 \times (S_0 - S_U) / S_0$
R _m	MPa	Çekme dayanımı: $R_m = F_m / S_0$
R _{eH}	MPa	Üst akma sınırı: $R_{eH} = F_{eH} / S_0$
R _{eL}	MPa	Alt akma sınırı: $R_{eL} = F_{eL} / S_0$
R _{p0,2}	MPa	%0,2 uzama sınırı: $R_{p0,2} = F_{p0,2} / S_0$, (üst akma sınırı yerine)
μ	-	Poisson sayısı (veya çapraz kasılma). $\mu = \varepsilon_{enine} / \varepsilon_{boyuna}$
E	GPa	Elastisite modülü: $E = \text{tg } \alpha = \sigma_e / \varepsilon_e$

*) : "Uzama oranı" ε çoğunlukla "birim uzama" veya sadece "uzama" olarak adlandırılır ve (%) birimiyle ifade edilir. Yani $\varepsilon = (\Delta L / L_0) \cdot 100$ alınmaktadır.

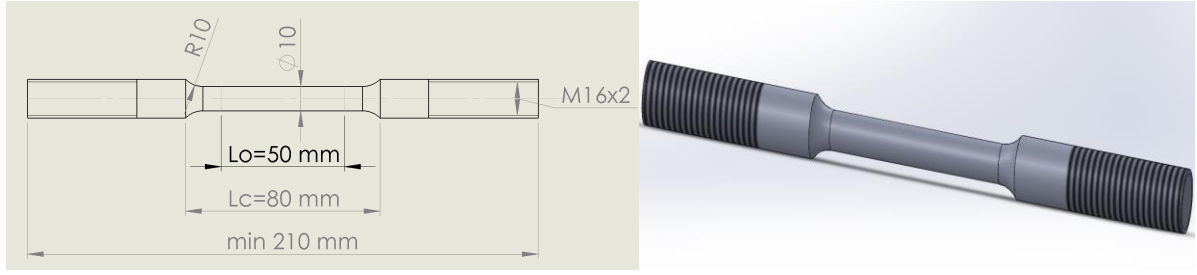


Çekme makineleri, genelde çok maksatlı (üniversal) makinelerdir. Çekme deneyi yanında basma deneyi ve eğme deneyleri de yapabilirler. Hepsinde dijital veya analog kuvvet ölçüm göstergeleri mevcuttur. Hepsinde elektronik veya mekanik bağlantılı *kuvvet-uzama diyagramı* çizicileri vardır, **Şekil 1.1**.

1.2.1 Deneyden Önce

- Numune boyutlarının ölçülmesi ve kayda geçmesi.
- İlk ölçü boyu L_0 'ın numune üzerinde işaretlenmesi (ince uçlu bir keçeli kalem ile işaretleme önerilir). Daire kesitli numunelerde, örneğin $d_0 = 7,95$ mm ölçülmüş ise L_0 olarak bunun beş katı bir değer yerine, d_0 'ın nominal değeri olan $8,0$ 'ın beş katı, yani $L_0 = 5 \times d_0 = 5 \times 8,0 = 40$ mm alınarak numune üzerine işaretlenir. Dikdörtgen veya başka kesitli numunelerde d_0 'a eşdeğer olacak boyut S_0 'dan hesaplanmak zorunludur: $L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$. Bu durumda S_0 ve L_0 için nominal değer yerine ölçülen gerçek değerler alınır.

3/17



Şekil 1.2: 10 mm numune çapı için numune boyutları ve katı modeli

Çekme deneyi makinesinin çeneleri arasına düzgün ve ortalayacak bir şekilde sıkıştırılan çekme numunesi, numunenin eksenı yönünde kopana kadar çekilir. Kuvvet uygulama şekli genelde hidroliktir. Kuvvet uygulama yani yükleme hızı iyi ayarlanmak zorundadır. Zira, çekme deneyleri her ne kadar birkaç dakikada bitirilen çalışmalar olsa da, bunlar statik yükleme sınıfında sayılmaktadırlar (*sanki statik, bir nevi statik*). Yükleme hızları akma sınırlarına kadar olan elastik bölgede, sabit ve **Çizelge 1.3**'de verilen değerlerde olmalıdır. Akma sınırının üzerindeki plastik bölgedeki yükleme hızı da saniyede birim uzama olarak en çok % 0,8 olabilir.

Çizelge 1.3: Çekme deneyinde yükleme hızları

Numune Malzemesinin Elastisite Modülü	Yükleme Hızı	Metaller
< 150 GPa	2 – 10 MPa/s	Cu alaş., Al alaş., vb.
≥ 150 GPa	6 – 30 MPa/s	Çelikler, DD, Ni, vb.
Çinko ve alaşımlarına uygulanan saniyedeki uzatma hızı: % (12,5 ± 5)		

Hacim merkezli kübik (hmk) kafes yapılı metallerde çekme hızının artması σ - ϵ eğrisini yüksek değerlere öter. Yani hem akma sınırı hem de çekme dayanımı yüksek değerlere ötelenir. Ancak hmk yapılı malzemelerde yüksek çekme hızlarında akma sınırı R_e , malzemenin çekme dayanımına oranla çok daha hızlı artar ve akma sınırı çekme dayanımını yakalar. Yüzey merkezli kübik (ymk) yapılı malzemelerde ise akma sınırı çekme hızının artmasıyla önemli bir değişiklik göstermezken, çekme dayanımı ise hızla artarak akma sınırı ve çekme dayanımı arasındaki fark artar.

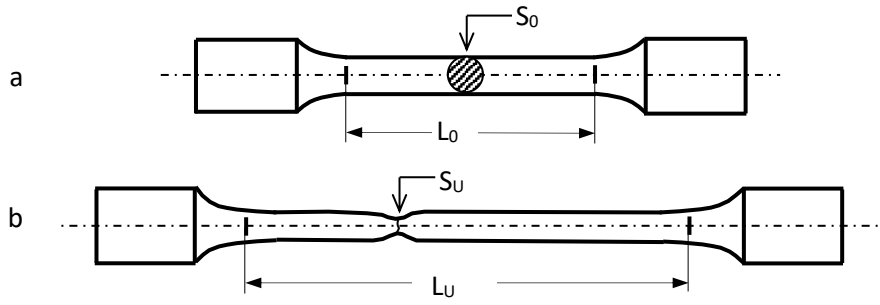
1.2.2 Deney Esnasında

- Çekme makinesinin yükleme hızına uyulması gerekir, **Çizelge 1.3**.
- Belirgin akma sınırı olan malzemelerde, kuvvet göstergesinin üst akma sınırı noktasında geriye doğru döndüğü noktaya dikkat edilip, buradaki kuvvetin çok dikkatle takip edilip hemen F_{eH} olarak kayda geçilmesi tavsiye edilir. Deney sonunda sürüklenen ibreden okunan F_m ile deney esnasında okunan F_{eH} , çekme diyagramının gerilme ekseninin ölçeğini belirlemede kullanılır.

1.2.3 Deney Sonunda

- Çekme makinelerinin çizdiği çekme diyagramlarının “kuvvet $F(N)$ ” – uzama $\Delta L(mm)$ ” veya bilgisayarla çevrilmiş olarak “gerilme $\sigma(MPa)$ - birim uzama $\epsilon(\%)$ ” diyagramları olarak mı çıktığına dikkat edilmesi gerekir. $F - \Delta L$ diyagramı olma durumunda gerilme ($F/S_0 = \sigma$) - birim uzama ($100 \times \Delta L/L_0 = \epsilon$) şekline çevrilir.
- Kopma Uzaması A* değeri, numune koparıldıktan sonra kopan parçalar tekrar bir araya getirilip ilk ölçü boyunun işaretlendiği çizgiler arası ölçülerek hesaplanır ve diyagramdaki

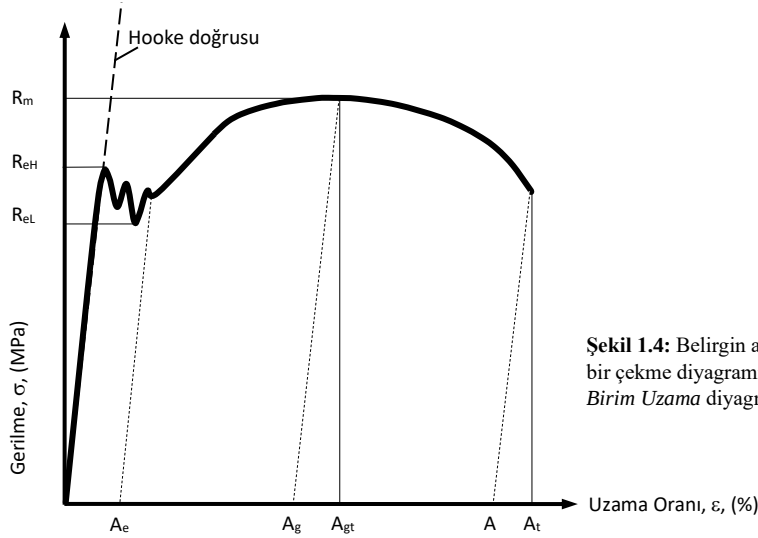
yerine yazılır: $[(L_U - L_0) / L_0] \times 100 = A$, **Şekil 1.3.** Bu ölçüyle birlikte *birim uzama* ekseninin ölçüğü de bulunmuş olur.



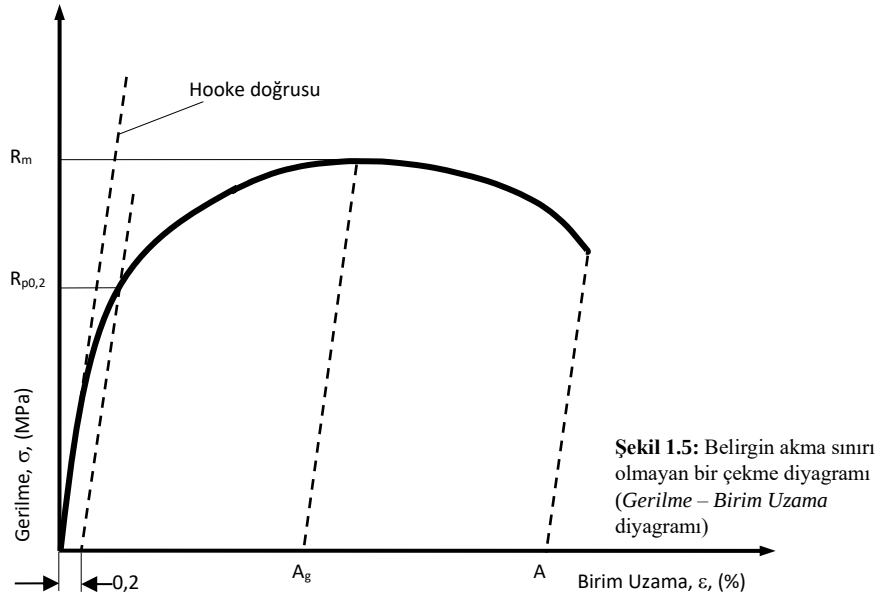
Şekil 1.3: Bir çekme deneyi numunesi, a: deneyden önce ve b: kırıldıktan sonra

- *Çekme Dayanımı* R_m , doğrudan makinenin kuvvet göstergesinden okunan en büyük çekme kuvveti F_m üzerinden $R_m = F_m/S_0$ şeklinde hesaplanarak bulunur. Çekme diyagramında en büyük çekme kuvveti F_m 'nin karşılığındaki gerilme çekme dayanımıdır.

Akma sınırı değerleri ise numuneye takılacak ekstensometreden takip edilir. Daha az hassas durumlarda deney sonunda çekme diyagramından ölçülerek de çıkarılabilir. Akma sınırı değerlerinden belirgin akma sınırı olan malzemelerde (herhangi bir şekilde soğuk şekillendirilmemiş olan alaşımsız veya az alaşımlı çeliklerde belirgin akma sınırı vardır, **Şekil 1.4**) *üst akma sınırı* (veya *üst akma dayanımı*) R_{eH} ve belirgin akma sınırı olmayan malzemelerde ise % 0,2 *uzama sınırı* (veya % 0,2 *uzama dayanımı*) $R_{p0,2}$ önemlidir, **Şekil 1.5.**

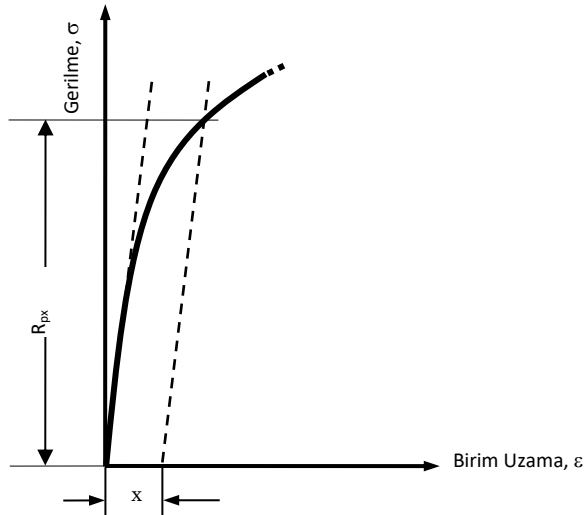


Şekil 1.4: Belirgin akma sınırı olan bir çekme diyagramı (Gerilme – Birim Uzama diyagramı)



Bu değerler, tasarımcının mukavemet hesapları için mutlaka bilmesi gereken değerlerdir. Çizelgelerde hep rastlanan ve çoğu kez sadece *akma sınırı* adı altında verilen değerler de bunlardır. *Alt akma sınırı* (veya *alt akma dayanımı*) R_{eL} değeri sıcak veya soğuk şekillendirme yapan imalatçı için önemli olabilir.

- % 0,2 dışında başka bir uzama sınırı, örneğin % 1 uzama sınırı (R_{p1}) veya % 0,1 uzama sınırı ($R_{p0,1}$) gibi uzama sınırları (dayanımları) da kullanılabilir, **Şekil 1.6**.



Şekil 1.6: Plastik bölgede verilen bir % x uzama dayanımı R_{px} , ($x = 0,1$ veya $0,2$ veya 1 veya başka bir değer olabilir)

- *Kopma Büzülmesi* Z değeri de kopma uzaması gibi koparma işleminden sonra numune üzerinde kopmanın olduğu yerdeki en dar kesit (S_u) ölçülerek hesaplanır: $Z(\%) = (S_0 - S_u)/S_0 \times 100$, **Şekil 1.3**.
- *Üniform Uzama* A_g 'nin ve *Akma Sınırı Uzaması* A_e 'nin bulunması da çekme diyagramı üzerinden yapılabilir. Akma sınırı uzamasının belirlenmesinde, **Şekil 1.5**'de gösterildiği gibi belirgin akma sınırı zikzaklarının bittiği noktadan Hooke doğrusuna paralel inilmekte, yani orada da elastik uzama kastedilen ve A_e ile gösterilen akma sınırı uzaması bir kalıcı

uzama olarak gösterilmektedir. Akma sınırı uzaması, belirgin akma sınırı uzun olan bazı yassı çeliklerde önemli olabilir.

- *Elastisite Modülü E*'nin ölçümü de çekme diyagramı yardımıyla yapılabilir. Burada elastik bölge olan deneyin başlangıç bölümü (Hooke doğrusu) boyunca hassas olarak gerilme σ ve ona tekabül eden uzama oranı $\varepsilon = \Delta L / L_0$ ekstensometre ile birkaç değerde ölçülür ve Hooke doğrusunun eğimi hesaplanır: $\tan \alpha = E = \sigma_e / \varepsilon_e$, **Çizelge 1.4.**

Çekme deneyi esnasında yapılan yükleme elastik bölgede (Hooke doğrusu) durdurulur ve yük kaldırılır ise uzama lastiklerde olduğu gibi başlangıç noktasına geri gider, kalıcı bir uzama görülmez. Bu tür uzamalara *elastik uzama* denir. Çekme eğrisi Hooke doğrusundan sağa doğru ayrılır ise malzemede bir kalıcı şekillenme, yani plastik bir uzama başlamıştır. Plastik bölgede deney durdurulur ve yük boşaltılır ise, uzamanın elastik kısmı geri gider, plastik kısmı olan A_{pr} kalır. Numunenin üzerinde bu kalıcı uzamaya tekabül edecek bir de iç gerilme (artık gerilme) R_r kalmıştır, **Şekil 1.6**. Numunenin yerini bozmadan çekme makinesi yeni baştan çekiye yüklenecek olursa diyagram döndüğü yolu takip eder ve diyagramı tamamlar. Bu işlemlerle malzemeye esasen bir soğuk şekillendirme yapılmış ve malzeme pekleştirilmiştir. Malzemenin akma sınırı yükseltilmiştir. Buna karşılık kopma uzaması değeri numunenin ilk haline göre A_{pr} kadar daha düşük çıkacaktır.

Çizelge 1.4: Çekme deneyinde ölçülen mukavemet değerlerinin hesaplanması

ÇEKME DENEYİ SONUNDA ÖLÇÜLEBİLEN DEĞERLER		
$F_m / S_0 = R_m$	(N/mm ²)	Çekme dayanımı
$F_{eH} / S_0 = R_{eH}$	(N/mm ²)	Üst akma sınırı
$F_{eL} / S_0 = R_{eL}$	(N/mm ²)	Alt akma sınırı
$F_{p0,2} / S_0 = R_{p0,2}$	(N/mm ²)	% 0,2 uzama sınırı
$L_U - L_0 = \Delta L_m$	(mm)	Kopmadaki ölçü boyu uzaması
$100 (\Delta L_m / L_0) = A$	(%)	Kopma uzaması
$100 (\Delta L_g / L_0) = A_g$	(%)	Üniform uzama
$S_0 - S_U = \Delta S$	(mm ²)	Kopmadaki kesit daralması
$100 (\Delta S / S_0) = Z$	(%)	Kopma büzülmesi
$F_e / S_0 / \Delta L_e / L_0 = E$	kN/mm ²	Elastisite modülü

2. METAL MALZEMELERİN CHARPY ÇENTİK DARBE DENEYİ

Charpy çentik darbe deneyi metal malzemelere uygulanır. Numuneleri hem V-çentikli ve hem de U-çentikli olabilir. Deney, özel olarak bu deneyi yapma amacıyla imal edilmiş çentik darbe makinelerinde gerçekleştirilir, **Şekil 2.1** ve **Şekil 2.2**

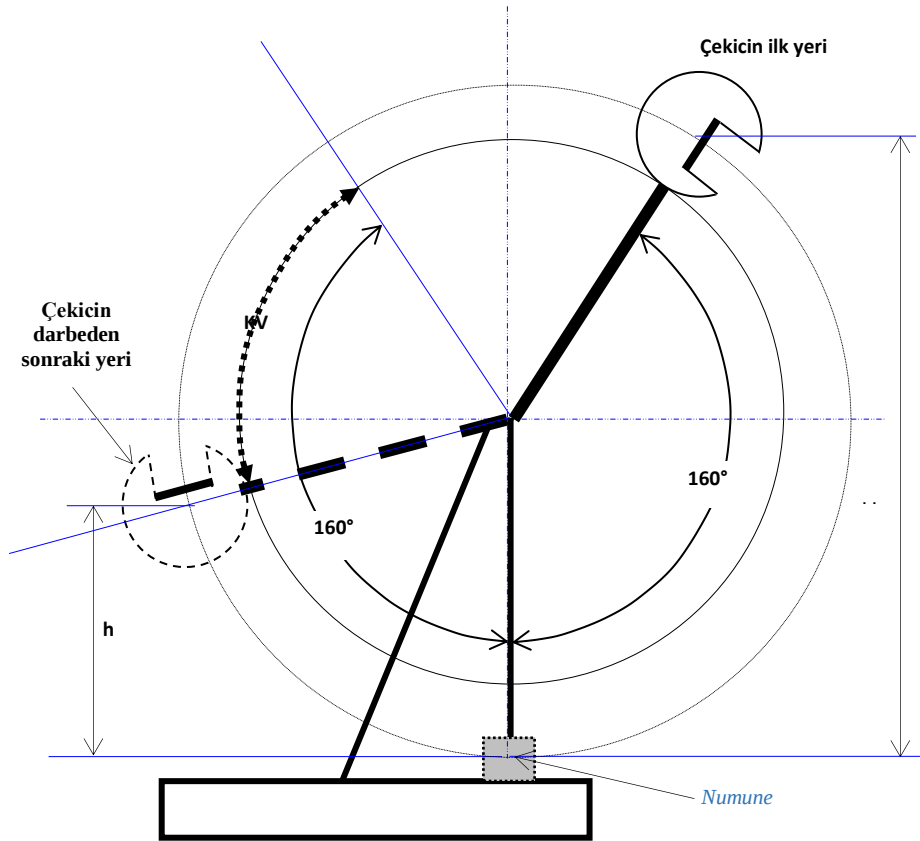
İlgili standart: **EN ISO 148** (2010): Metal malzemelerin Charpy çentik darbe deneyi, Kısım 1: Deney yöntemi; Kısım 2: Çentik darbe makinelerinin testi ve Kısım 3: Charpy V çentik test numunelerinin hazırlanması ve tanımlanması

2.1 Yapılma Nedeni

Çentik darbe deneyinin yapılma nedenleri aşağıda olduğu gibi sıralanabilir:

- Malzemelerin kullanıma hazır hale getirildiğinde gevrek olup olmadığını,
- Malzemelerin çentik etkisinden dolayı gevrek kırılıp kırılmadığını,
- Malzemelerin, özellikle çeliklerin, yaşlanma meyillerinin olup olmadığını,
- Malzemelerin geçiş sıcaklıklarının ne olduğunu anlamak amacıyla **Charpy çentik darbe deneyi** yapılır.

Deney sonunda o malzemeye ait **çentik darbe işi** [**KV (J)** veya **KU (J)**] saptanır.



Şekil 2.1: Çentik darbe deney makinesi prensip şeması

Açıklamalar: Pek çok yerde hasar durumlarının sebebi olan gevrek kırılmalık aşağıdaki nedenlerden kaynaklanabilir:

- Malzeme türü (*sdh* kafes sistemi, yüksek oranda soğuk şekillendirme, çeliklerde yüksek karbon oranları, dökme demirler, vb. gibi zaten gevrek yapıli malzemeler),
- Gerilme durumu (üç eksenli iç gerilmeler ve dış yüklemeler, darbeli yüklemeler, vb.),
- Çentik etkisi (esasinda sünek olan malzemeler de sivri çentik etkisi ile ve hızlı yükleme sonucu gevrek kırılmalık gösterebilir),
- Sıcaklık (*ymk* kafes sistemi dışında kalan metaller daha önce sünek iken sıcaklığın düşmesiyle gevrekleştikleri bir *geçiş sıcaklığına* sahiptirler),
- Soğuk şekillendirme (soğuk şekillendirme oranı yükselen metal o oranda gevrekleşir).

Gevrekleşen malzemenin çentik darbe işi daha düşüktür. Malzeme daha kolay kırılır. Metalik bir malzemenin gevrekleşmesinin nedeni; o malzemenin *üretim yöntemi, işleniş şekli ve yaşlanma* olabilir.

2.2 Yaşlanma

Yaşlanma, malzemenin zamanla gevrekleşmesidir. Özellikle bazı alaşımsız çeliklerde sıkça görülür. Esas sebebi, malzemede çözünmüş olarak bulunan azot vb. küçük atomlu elementlerdir. Soğuk şekillendirme, yaşlanmayı hızlandırır. Malzemenin yaşlanmaya meyli olup olmadığını anlamak için **yapay yaşlandırma** deneyi yapılır.

Yapay yaşlandırma: Çelik malzeme % 10 soğuk şekillendirilir. Bu arada soğuk şekillendirme yöntemi önemli değildir. Soğuk şekillendirilen malzeme 30 dakika boyunca 250°C’de tavllanır. Eğer malzemenin yaşlanmaya meyli varsa malzeme bu arada yaşlanmış ve dolayısıyla gevrekleşmiştir. Çeliğin gevrekleşip gevrekleşmediğini anlamak için, o malzemeye her aşamada çentik darbe deneyi yapmak gerekir; yani: en az üç numune soğuk şekillendirmeden önce ve en az üç numune yapay yaşlandırmadan sonra. Bu iki konum arasında çentik darbe işi yönünden önemli bir düşüş varsa, o çelik yaşılanıyor demektir. Yaşlanma testi yapılacak malzemelerin, üretimden yeni çıkmış olmaları gerekir. Yoksa, üretimden sonra yaşlanabilen çelikler zaten altı ay depoda dururken de yaşlanabilirler. Bu yüzden bazı çelik fabrikaları, çeliklerinin katalog değerlerini ancak birkaç ay için garanti ederler.

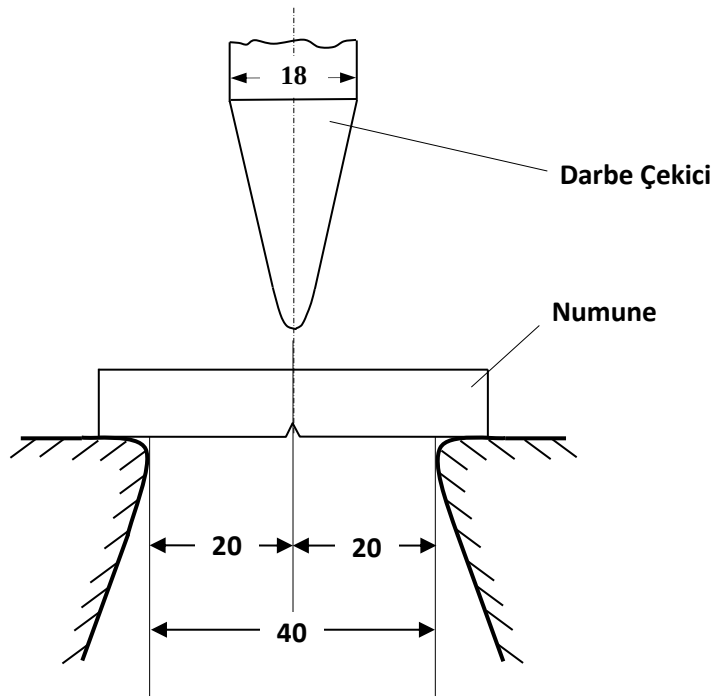


Şekil 2.2: 300 J kapasiteli bir çentik darbe deney makinesinin ve deney numunelerinin görünümü

Bir metal malzemenin gevrek veya kırılğan oluşu hangi nedene dayanıyor olursa olsun, gevreklik muayenesi EN ISO 148-1 standardında verilen **Charpy çentik darbe deneyi** ile yapılır. Plastikler, seramikler gibi metal olmayan malzemelerin darbe deneylerinde normalde çentiksiz numuneler kullanılır ve deneyleri için ayrı standartlar vardır.

2.3 Test Makinesi ve Deneyin Yapılışı

Çentik darbe deneyini yapabilmek için bir çentik darbe makinesi yanında şekilleri EN ISO 148-1’de verilen özel hazırlanmış numuneler gereklidir. Normalde her deney için en az üç numune gerekir ve çıkan değerlerin ortalaması alınır ve bu değerler tam sayılara yuvarlanır. Charpy çentik darbe makinelerinin ana parçası pandüllü bir çekiçtir. Serbest salınabilen pandülün ucuna kalınlığı 10–18 mm arasında olan bir çekiç yerleştirilmiştir, **Şekil 2.3**.



Şekil 2.3: Charpy çentik darbe deneyinde çekiç ve numunenin makine üzerindeki yerleşimi

Pandüle bağlı olan çekiç, deney başlamadan önceki ilk yerine asıldıktan sonra numune makinedeki yerine, çentik çekicinin vuracağı yerin tam arkasında kalacak şekilde yerleştirilir. Sonra pandül, tutturulan kancasından serbest bırakılır ve ilk salınım başlar. İlk salınım da çekiç numunenin tam sırtına vuracak ve numuneyi kıracaktır. Çekiçin kütlesi numuneyi kırmaya yetmeyecek olursa, ilave kütle takılır. Pandülün ucundaki çekicinin yolunda numune olmamış olsaydı, çekiç hiç enerji kaybetmeden yine **H** yüksekliğine yükselecekti. Buradaki minimum derecede tutulan sürtünme ihmal edilebilir. Numuneyi kırma işinden dolayı çekicinin yükselebileceği yer, ancak **h** yüksekliği olacaktır. Buna göre çekicinin numuneyi kırması için harcanan iş V-çentikli numunede:

$$KV = m g (H - h)$$

Örnek: Çekicinin iş kapasitesi 150 J olan bir çentik darbe makinesinde $m = 9,5 \text{ kg}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $H = 1,60 \text{ m}$ olabilir. V-çentikli bir numuneyi kırdıktan sonra çekicinin çıkabildiği yükseklik 1,20 m olursa, o malzemenin çentik darbe işi KV:

$$KV_{150} = 9,5 \times 9,81 (1,60 - 1,20) = 37,278 \text{ J (yuvarlatılır !)} \Rightarrow 37 \text{ J}$$

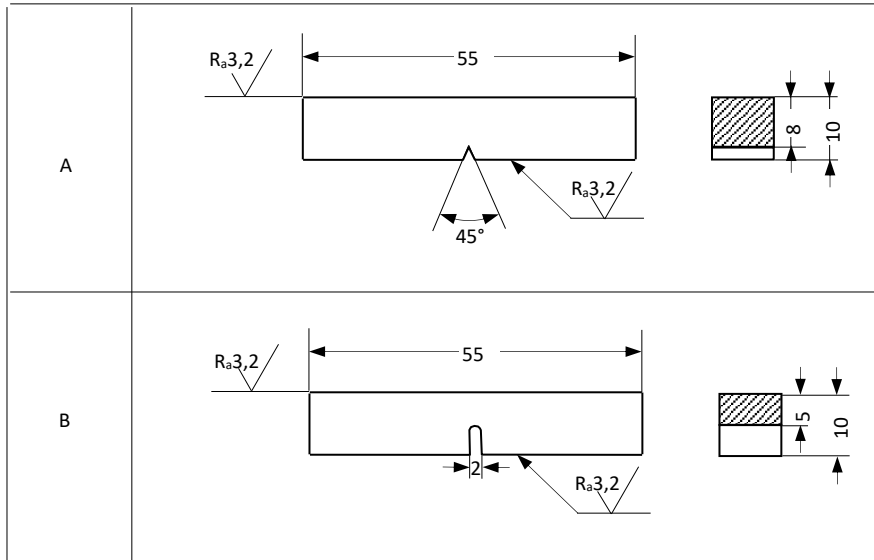
Numunelere ve çekiç iş kapasitelerine göre numunelerin çentik darbe işi sembolleri **Çizelge 2.1**'de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Numunelere ve çekiç iş kapasitelerine göre numunelerin çentik darbe işi sembolleri

NUMUNELER	Çentik Darbe İş (J)		
	Çekiç İş Kapasiteleri		
	300J	150J	100J
V-çentikli normal numune	KV	KV150	KV100
V-çentikli 7,5 mm ince numune	KV300/7,5	KV150/7,5	KV100/7,5
V-çentikli 5 mm ince numune	KV300/5	KV150/5	KV100/5
U-çentikli numune	KU	KU150	KU100

2.4 Çentik Darbe Numuneleri

Numuneler talaşlı olarak üretilirken, iç yapıda herhangi bir değişim olmaması için, ısınmanın en alt düzeyde tutulması gereklidir. U ve V tipi olmak üzere iki farklı Charpy çentik darbe deneyi numunesi bulunmaktadır, **Şekil 2.4** ve **Çizelge 2.2**.



Şekil 2.4: Çentik darbe numuneleri. **A:** V - çentikli normal numune, **B:** U - çentikli normal numune

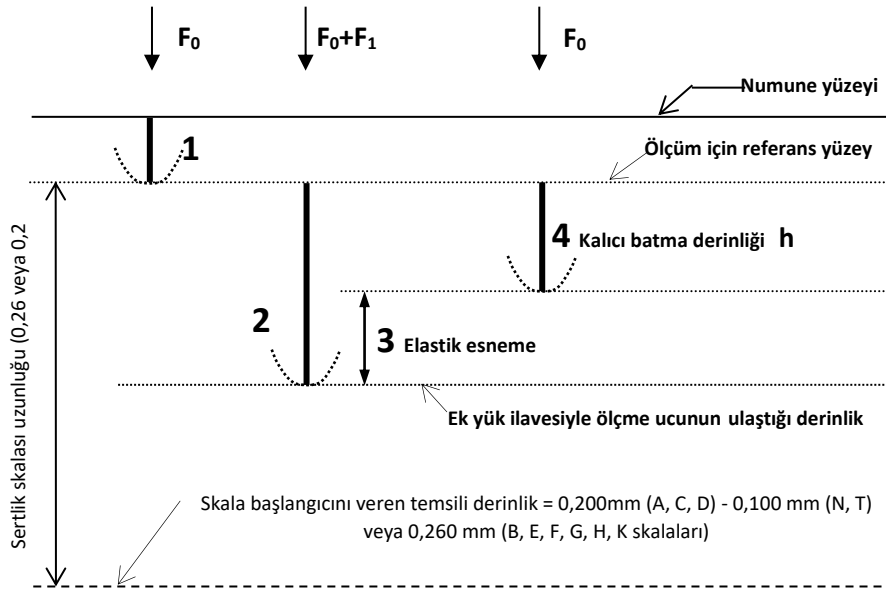
Çizelge 2.2: Charpy çentik darbe numunelerinin boyutları

Adlandırma	U-Çentikli Numune Nominal ölçüler	V-Çentikli Numune Nominal ölçüler
Numune boyu	55 mm	55 mm
Numune yüksekliği	10 mm	10 mm
Numune genişliği	Normal numune	10 mm
	İnce numune-1	7,5 mm
	İnce numune-2	5 mm
Çentik açısı	--	45 ° ± 2 °
Çentik dibi numune kalınlığı	5 mm	8 mm
Çentik yarıçapı	1 mm	0,25 mm
Çentiğin alından uzaklığı	27,5 mm	27,5 mm

3. METAL MALZEMELERİN SERTLİK ÖLÇME DENEYİ

3.1 Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemleri

İlgili standart: EN ISO 6508 (2005): Metal malzemelerin sertlik ölçümü – Kısım 1: Rockwell yöntemi (A, B, C, D, E, F, G, H, K, 15N, 30N, 45N, 15T, 30T, 45T) – Kısım 2: Rockwell sertlik ölçme makinelerinin testi – Kısım 3: Rockwell sertlik ölçme makinelerinin testi için gerekli test numunelerinin kalibrasyonu. **Rockwell sertlik ölçme yöntemleri** prensipte, malzemeye batırılan ucun batma derinliğini esas alır. Uç çok batmışsa, malzeme yumuşaktır; az batmışsa serttir. Brinell ve Vickers yöntemlerinde ise prensip, ölçüm ucunu batırmak için kullanılan yükün, ucun bıraktığı iz alanına bölünmesi şeklindedir. Her sertlik ölçme yönteminde ucun şekli ve malzemesi son derece önemlidir. Rockwell yöntemlerinde bir ön yükleme F_0 kullanılır. Bu ön yükleme diğerlerinde yoktur. Rockwell yönteminde ayrıca iki farklı malzemeden (elmas ve çelik) iki farklı uç mevcuttur. Ucun şekline, malzemesine, ön, ek ve toplam yüklere bağlı olarak en az 15 çeşit ayrı Rockwell yöntemi mevcuttur. Fakat her Rockwell yöntemi sertlik ölçmede aynı prensibi kullanır: Ön yük F_0 ve ölçmede esas: batma derinliği, **Şekil 3.1**.



Şekil 3.1: Şematik olarak Rockwell sertlik ölçme prensibi

Rockwell yöntemlerinde geçen sembol ve birimler **Çizelge 3.1**'de, Rockwell sertlik ölçme yöntemleri ve ilgili özellikleri, **Çizelge 3.2**'de, Rockwell sertlik ölçme yöntemlerinde kullanılan uçlar ise **Çizelge 3.3**'de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Rockwell yöntemlerinde geçen sembol ve birimler

Sembol	Adlandırma	Birim
F_0	Ön yük: 98,07 N (=10 kp) veya 29,42 N (= 3kp)	N
F_1	Ek yük	N
F	Toplam yük: $F = F_0 + F_1$	N
S	Skalada çizgi aralığı: 0,002 (A, B, C, D, E, F, G, H,K) veya 0,001 (HR15N, HR30N, HR45N, HR15T, HR30T, HR45T)	mm
N	Skalaya göre sayısal değer: 100 veya 130; (Sertlik değeri = $N - h / S$)	
h	Ek yükü kaldırdıktan sonraki kalıcı batma derinliği	mm
	Rockwell sertlik değeri = $100 - h / 0,002$	HRA, HRC, HRD
	Rockwell sertlik değeri = $130 - h / 0,002$	HRB, HRE, HRF, HRG, HRH, HRK
	Rockwell sertlik değeri = $100 - h / 0,001$	HRN, HRT

3.2 Rockwell Sertlik Ölçme Makineleri

Rockwell sertlik ölçme yöntemi, sertliğin ucun batma derinliği ile ters orantılı olduğu prensibine dayandığı için ilgili makinede de uygun uç ve yükleme aygıtları yanında, derinlik ölçme düzeneğinin de bulunması gerekir. Makinenin şekli dıştan Brinell veya Vickers makinesine benzer. Fakat burada iz çapı ölçümünde kullanılacak mikroskop ekranı yoktur.

Sertlik ölçme makinesi, hangi Rockwell sisteminde çalışıyorsa ona ait ön yük F_0 ve ek yük F_1 değerlerine, EN ISO 6508-2 standardındaki koşullara sahip olması gerekir.

Elmas ucun şekli: Tepe açısı 120° olan ve ucu 0,200 mm'lik yarıçapla yuvarlatılmış koni.

Çelik ucun şekli: Çapı 1,5875 mm veya 3,175 mm küre (bilye).

Çizelge 3.2: Rockwell sertlik ölçme yöntemleri ve ilgili özellikleri, EN ISO 6508

Sertlik	Birim	Batırılan Uç	F_0 (N)	F_1 (N)	F (N)	Geçerli Sertlik Aralığı
A	HRA	Elmas Koni (120°)	98,07	490,3	588,4	20 - 88 HRA
B	HRB	Çelik Bilye: $\phi 1,5875\text{mm}$	98,07	882,6	980,7	20 - 100 HRB
C	HRC	Elmas Koni (120°)	98,07	1 343	1 471	20 - 70 HRC
D	HRD	Elmas Koni (120°)	98,07	882,6	980,7	40 - 77 HRD
E	HRE	Çelik Bilye: $\phi 3,175\text{ mm}$	98,07	882,6	980,7	70 - 100 HRE
F	HRF	Çelik Bilye: $\phi 1,5875\text{mm}$	98,07	490,3	588,4	60 - 100 HRF
G	HRG	Çelik Bilye: $\phi 1,5875\text{mm}$	98,07	1 373	1 471	30 - 94 HRG
H	HRH	Çelik Bilye: $\phi 3,175\text{ mm}$	98,07	490,3	588,4	80 - 100 HRH
K	HRK	Çelik Bilye: $\phi 3,175\text{ mm}$	98,07	1 373	1 471	40 - 100 HRK
15N	HR15N	Elmas Koni (120°)	29,42	117,7	147,1	70 - 94 HR15N
30N	HR30N	Elmas Koni (120°)	29,42	264,8	294,2	42 - 86 HR30N
45N	HR45N	Elmas Koni (120°)	29,42	411,9	441,3	20 - 77 HR45N
15T	HR15T	Çelik Bilye: $\phi 1,5875\text{mm}$	29,42	117,7	147,1	67 - 93 HR15T
30T	HR30T	Çelik Bilye: $\phi 1,5875\text{mm}$	29,42	264,8	294,2	29 - 82 HR30T
45T	HR45T	Çelik Bilye: $\phi 1,5875\text{mm}$	29,42	411,9	441,3	1 - 72 HR45T

Çizelge 3.3: Rockwell sertlik ölçme yöntemlerinde kullanılan uçlar

Ölçü uçları	Yöntemler ve sertlik değeri birimleri
Elmas Koni (tepe açısı = 120°)	HRA, HRC, HRD, HR15N, HR30N, HR45N
Çelik Bilye (çap = $1,5875\text{ mm} \equiv 1/16''$)	HRB, HRF, HRG, HR15T, HR30T, HR45T
Çelik Bilye (çap = $3,175\text{ mm} \equiv 1/8''$)	HRE, HRH, HRK

3.3 Sertlik Numuneleri

Numunelerin, sertliği ölçülecek yüzeyi düz ve temiz olmalı, sertlik ölçme makinesinin sehпасına konduğunda tamamen yatay bir ölçüm yüzeyi vermelidir. Yani sehpaye oturduğu yüzeyle sertliği ölçülecek karşı yüzeyi birbirlerine paralel olmalıdır.

Sertliği ölçülen numunenin yüzeyi mümkün olduğunca homojen olmalı, farklı yerleri ısıtılmış, deforme olmuş olmamalıdır. Ayrıca farklı sertlikler kazanmış yüzey kesimleriyle o malzemeyi temsil edecek sertliklerden uzak olmamalıdır.

Sertlik ölçümü yapıldıktan sonra karşı yüzeyde sertlik ölçüm izi çıkmamalı, ölçüm ucunun batmasından dolayı karşı yüzeyde bir şekillenme bulunacak kadar ince numune olmamalıdır. Elmas koni uç kullanan yöntemlerde numune kalınlığı kalıcı batma derinliğinin en az on katı; bilye uç kullanan yöntemlerde ise numune kalınlığı kalıcı batma derinliğinin en az on beş katı kadar olmalıdır.

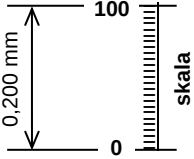
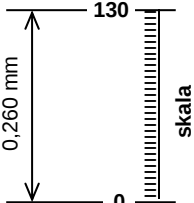
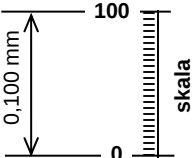
3.4 Sertlik Ölçümü

Sertlik ölçümleri normalde oda sıcaklığında (10 - 35 °C), özel durumlarda daha dar sıcaklık sınırları içinde (23 ± 5 °C gibi) yapılır.

Numune, sertlik ölçme makinesinin sehpasına, sertliği ölçülecek yüzey yukarda kalacak şekilde yerleştirilir. Sehpanın malzemesi en az 60 HRC sertliğine sahip bir çelikten olmalıdır. Batırılacak uç, numune yüzeyine basacak şekilde temas ettirilir ve F_0 ön yükü sarsıntısız olarak yüklenir. Ölçüm ucu referans yüzeyine ulaşmıştır. Ölçüm saati sıfıra getirilir ve böylece sertlik ölçümü için referans yüzeyi belirlenmiş olur. 2 s ile 8 s arasında yük F_0 'dan F_1 ilavesiyle $F = F_0 + F_1$ 'e yine sarsıntısız olarak çıkarılır. Ölçüm sırasında da sarsıntı olmaması gerekir. Ve F_1 yükü tekrar kaldırılır. Fakat F_0 ön yük durmaktadır ve deney tamamen bitene kadar da kaldırılmaz. Ek yük kalktıktan sonra esneme payının ne olduğu da ortaya çıkmış ve esneme payı olan elastik şekillenme geri gitmiştir, toplam yük olan F etkisiyle uç ne kadar (kalıcı olarak) batmış ise o ölçülür. Şekilde söz konusu kalıcı batma derinliği h olarak gösterilmiştir. Bu h değeri sertlik ölçümüne esas alınır. Rockwell yöntemlerinin çeşitli skalaları **Çizelge 3.4'**de verilmiştir.

$$\text{Rockwell Sertlik Değeri} = N - h / S$$

Çizelge 3.4: Rockwell yöntemlerinin çeşitli skalaları

SERTLİK SKALALARI	AÇIKLAMALAR
	<u>A, C, D skalaları, elmas koni uç (120° ve R0,200)</u> A-skala: $F_0 = 98,07$ N; $F_1 = 490,3$ N; $F = 588,4$ N C-skala: $F_0 = 98,07$ N; $F_1 = 1\,373$ N; $F = 1\,471$ N D-skala: $F_0 = 98,07$ N; $F_1 = 882,6$ N; $F = 980,7$ N
	<u>B, E, F, G, H, K skalaları, çelik bilye uç, farklı çaplarda</u> B: $F_0 = 98,07$ N; $F_1 = 882,6$ N; $F = 980,7$ N, ϕ 1,5875 mm E: $F_0 = 98,07$ N; $F_1 = 882,6$ N; $F = 980,7$ N, ϕ 3,175 mm F: $F_0 = 98,07$ N; $F_1 = 490,3$ N; $F = 588,4$ N, ϕ 1,5875 mm
	<u>N skalası, elmas koni uç (120° ve R0,200)</u> 15N: $F_0 = 29,42$ N; $F_1 = 117,7$ N; $F = 147,1$ N 30N: $F_0 = 29,42$ N; $F_1 = 264,8$ N; $F = 294,2$ N 45N: $F_0 = 29,42$ N; $F_1 = 411,9$ N; $F = 441,3$ N

Not: Malzeme muayeneleri hakkında daha detaylı bilgileri Yüksel, M., Meran C., Malzeme Bilgisi, MMO Yayınları, Yayın No: MMO/545/3, Mart 2018, Ankara, 569 sayfa künyesine sahip kitabımızdan temin edebilirsiniz.