

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

LABORATUVAR FÖYÜ I

2025-2026 Bahar Yarıyılı

3. Sınıf

**© Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanlığı
Şubat 2026, Kırıkkale**

ÖNSÖZ

Metalurji ve Malzeme Laboratuvarı Dersi, mühendislik fakülteleri öğrencileri için, lisans öğrenimleri süresince görmüş oldukları derslerin bir uygulaması olduğundan büyük bir öneme sahip olup bu yönüyle de diğer derslerden ayrılmaktadır. Bu nedenle, diğer derslerde öğrenilen konuların özümsebilmesi, laboratuvar derslerine verilen önemle mümkün olacaktır. Bütün deneylere girilmesi, deney raporlarının irdelenerek kapsamlı bir şekilde hazırlanması, daha önce teorik olarak incelenmiş olan birçok konunun daha iyi anlaşılmasına büyük katkı sağlayacaktır.

Öğrencilerimizin laboratuvar derslerine daha donanımlı bir şekilde katılımlarını sağlamak ve deney föylerini temin etmek için her deneyden önce zaman harcamalarının önüne geçmek, bu kitapçıkların hazırlanmasında temel hareket noktası olmuştur. Bununla birlikte, bütün deney föylerinin bir arada bulunması, öğrencilerimizin mesleki yaşamlarında başvurabilecekleri bir kaynak oluşturması açısından da önemlidir.

Hazırlanan bu kitapçığın tüm öğrencilerimize yararlı olmasını temenni ederken, kitapçıkların hazırlanmasında asıl katkı sahipleri olan bölümümüz öğretim elemanlarına teşekkürlerimi sunarım.

25 Şubat 2026, Kırıkkale

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı

1. GİRİŞ.....	4
1.1. Dersin Amacı ve Kapsamı	4
1.2. Deneysel Çalışmaların Temelleri / Önemi	4
1.2.1 Deneysel Hatalar ve Hata Analiz Yöntemleri	4
1.2.2 Belirsizlik Analizi Yöntemi.....	5
1.3. Ders ile İlgili Genel Düzenlemeler	6
1.3.1 Ders ile İlgili Genel Hususlar.....	6
1.3.2 Deney Raporu Hazırlanışı	6
1.4. Deney Grupları	7
1.5. Deney Listesi ve İlgili Öğretim Elemanları	9
1.6. Deney Grupları ve Deney Tarihleri	10
1.7. Döneme ait ilave notlar	11
2. DENEY FÖYLERİ	19
2.1 YOĞUNLUK ve POROZİTE ÖLÇÜMÜ DENEYİ.....	19
2.2 YORULMA DENEYİ	25
2.3 ÇEKME DENEYİ	36
2.4 ELEK ANALİZİ DENEYİ	47
2.5 SERTLİK ÖLÇME DENEYİ	54
2.6 SERAMİK ÇAMURUNUN DÖKÜM HIZI DENEYİ METALOGRAFİ DENEYİ	61
2.7 ÇENTİK DARBE DENEYİ	68
2.8 BASMA DENEYİ.....	74
2.9 METALOGRAFİ DENEYİ	80

1. GİRİŞ

Metalurji ve Malzeme Laboratuvarı dersi, mühendislik fakülteleri öğrencileri için, lisans öğrenimleri süresince görmüş oldukları derslerin bir uygulaması olduğundan büyük bir öneme sahip olup bu yönüyle de diğer derslerden ayrılmaktadır. Bu nedenle, diğer derslerde öğrenilen konuların daha iyi kavranabilmesi, laboratuvar derslerine verilen önemle mümkün olacaktır. Bütün deneylere girilmesi, deney raporlarının irdelenerek kapsamlı bir şekilde hazırlanması, daha önce teorik olarak incelenmiş birçok konunun daha iyi anlaşılmasına büyük katkı sağlayacaktır.

1.1 Dersin Amacı ve Kapsamı

Metalurji ve Malzeme Laboratuvarı dersi bir uygulama dersi olup, öğrencilerin lisans öğrenimi süresince derslerde teorik olarak gördükleri birçok kanunun geçerliliğinin deneylerle gösterilmesi amacına yöneliktir. Bu uygulama dersi kapsamında yapılacak deneylerle; Malzeme dersinden, Kaynak Teknolojisi dersine, Malzeme Muayenesi dersinden, Malzeme Karakterizasyonu dersine ve Döküm Teknolojisi dersine kadar birçok dersin temel prensiplerinin izahına çalışılacaktır. Bu yönüyle, bir anlamda lisans öğreniminin özetlendiği bir ders işlevi görmekte olup konuların pekiştirilebilmesi için bir fırsat sağlamaktadır.

1.2 DeneySEL Çalışmaların Temelleri / Önemi

DeneySEL çalışmaların, derslerde teorik olarak işlenen konuların özümsebilmesinde büyük bir etken olduğu hususu açıktır. Ancak bu amaca ulaşılabilmesi için; deneylerin büyük bir titizlikle ve sabırla yapılmış olması, deneylerde kullanılacak cihazların mutlaka kalibre edilmiş olmaları, deneylerin yeteri kadar sayıda tekrar edilmiş olması, deney tesisatı sürekli rejim şartlarına ulaştıktan sonra ölçümlerin alınmış olması gibi birçok şartın yerine getirilmesi gerekir. Ancak, bütün bu şartlar yerine getirilse bile, bütün deneySEL çalışmalar yine de hatalar içerir. DeneySEL çalışmalarda meydana gelen çeşitli hatalar ve bu hataların analizi aşağıda özetle açıklanmıştır.

1.2.1 DeneySEL Hatalar ve Hata Analiz Yöntemleri

DeneySEL çalışmaların tümü, çeşitli nedenlerden dolayı hata içerir. DeneySEL çalışmalarda yapılan bu hatalar genellikle üç grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi, deney yapan araştırmacının dikkatsizlik ve tecrübesizliğinden ileri gelen hatalardır. Deney tesisatlarında kullanılan ölçme cihazlarının yanlış seçiminden veya ölçme sistemlerinin yanlış tasarımıyla kaynaklanan hatalar bu grup içinde düşünülebilir. İkinci grup hatalar, sabit veya sistematik hatalar olarak adlandırılan hatalardır. Bunlar genellikle tekrar edilen okumalarda görülen ve nedenleri çoğunlukla tespit edilemeyen hatalardır. Üçüncü grup hatalar ise rastgele hatalardır. Bunlar ise; deneyi yapan kişilerin değişmesinden, deneyi yapanların dikkatlerinin zamanla azalmasından, elektrik geriliminin değişmesinden, ölçme aletlerindeki

histerizis olaylarından veya cihazların ısınması nedeniyle elektronik ölçme aletlerinde oluşan salınımlardan kaynaklanabilmektedir [1].

Deneyisel sonuçların geçerliliğinin belirlenmesi için mutlaka bir hata analizi yapmak gerekmektedir. Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan parametrelere ait sabit hata miktarlarının (veya oranlarının) tespiti için pratikte bir kaç yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler içerisinde, belirsizlik analizi (uncertainty analysis) ve akılcı yaklaşım (commonsense basis) yöntemleri en çok kullanılanlarıdır [1].

1.2.2 Belirsizlik Analizi Yöntemi

Herhangi bir deney tesisatı aracılığı ile tespit edilmesi/hesaplanması gereken büyüklük R , bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olsun. Bu durumda;

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1)$$

yazılabilir. Deneylerde etkili olan her bir bağımsız değişkene ait sabit hata değerleri; $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ve R büyüklüğünün sabit hata değeri w_R ise, belirsizlik analizi yöntemine göre;

$$w_R = \pm \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

şeklinde verilmektedir.

1.3 Ders İle İlgili Genel Düzenlemeler

Mühendislik fakülteleri öğrencileri için, lisans öğrenimleri süresince görmüş oldukları derslerin bir uygulaması olan laboratuvar dersinin amacına ulaşabilmesi için, aşağıda yer alan genel hususlara uyulması ve deney raporu hazırlamaya gereken önemin verilmesi kaçınılmazdır. Buna göre aşağıdaki düzenlemelere uyulması gerekmektedir.

1.3.1 Ders İle İlgili Genel Hususlar

Dersin daha etkin olabilmesi için aşağıdaki kurallara uyulması gerekmektedir. Buna göre;

- 1) Deneylere gelmeden önce ilgili deney föyü detaylı olarak incelenecektir.
- 2) Deney föyü yanında olmayan öğrenci kesinlikle deneye alınmayacaktır.
- 3) Her öğrenci kendi grubu ile beraber deneylere girecektir.
- 4) Öğrenci, deneylerin % 80'ine katılmak ve **bu deneylere ait raporların tamamını teslim etmek zorundadır**. Ancak; deney raporlarına ilişkin not ortalaması, toplam deney sayısı dikkate alınarak hesaplanacaktır.
- 5) Deney raporlarında, bu kitapçıkta gösterilen kapak sayfası kullanılacaktır.
- 6) Deney raporları, ilgili deneyde yapılan ölçümlerin yer aldığı tabloyu da içerecektir.
- 7) Deney raporları, el yazısı ile yazılacaktır.
- 8) Deney raporları, deneyin yapıldığı tarihten itibaren en geç 1 hafta içinde teslim edilecektir. Geç rapor teslimi kesinlikle bir seçenek değildir. Geç teslim edilen raporlar değerlendirilmeye alınmayacaktır.
- 9) Deney raporları, bizzat öğrenci tarafından ilgili uygulama sorumlusuna teslim edilecektir. Kendisine yöneltilecek olan sorulara vereceği cevaplar, ilgili deney raporundan alacağı nota büyük oranda etki edecektir.
- 10) Dönem sonlarında “Telafi Deneyi” yapılmayacaktır.

1.3.2 Deney Raporu Hazırlanışı

- 1) Deney raporlarında, bu kitapçıkta gösterilen kapak sayfası kullanılacaktır.
- 2) Deney raporunda; kapak sayfası, deneyin amacı, deney cihazının şematik gösterimi, deney cihazının ana elemanları ve bu elemanların tanıtımı ile görevleri yer alacaktır.
- 3) Yine deney raporunda; ilgili deneyde yapılan ölçümlerin yer aldığı tablo, hesaplamalar, sonuçların yer aldığı tablo, sonuçlardan hareketle çizilecek grafikler ile sonuç ve yorum bölümleri yer alacaktır.

Deney Grupları

Tablo 1. Öğrenci Numarasına Göre Deney Grupları

1. GRUP
-

Tablo 2 Deney Haftaları ve Kapsadığı Tarih Aralığı

Yarıyıldaki Hafta	Tarih Aralığı
1. Hafta	16 – 22 Şubat 2026
2. Hafta	23 Şubat – 01 Mart 2026
3. Hafta	02 – 08 Mart 2026
4. Hafta	09 – 15 Mart 2026
5. Hafta	16 – 22 Mart 2026
6. Hafta	23 – 29 Nisan 2026
7. Hafta	30 Mart – 5 Nisan 2026
8. Hafta	6 – 12 Nisan 2026 VİZE HAFTASI
9. Hafta	13 – 19 Nisan 2026
10. Hafta	20 – 26 Nisan 2026
11. Hafta	27 Nisan – 03 Mayıs 2026
12. Hafta	04 – 10 Mayıs 2026
13. Hafta	11 – 17 Mayıs 2026
14. Hafta	18 – 24 Mayıs 2026
15. Hafta	25 – 31 Haziran 2026
16. Hafta	01 – 07 Haziran 2026
17. Hafta	08 – 10 Haziran 2026

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
2025-2026 BAHAR YARIYILI

3. SINIF, METALURJİ VE MALZEME LABORATUVARI -I- DERSİ DENEY PROGRAMI				
Sıra No	DENEYİN ADI	UYGULAMA SORUMLUSU	DENEY SAATİ	YER
1	Yoğunluk ve Porozite Ölçüm Deneyi	Arş. Gör. Emir OLÇAY	PERŞEMBE 12.00	Döküm Lab.
2	Yorulma Deneyi	Dr. Öğr. Üy. Sevdâ ALBAYRAK	PERŞEMBE 12.00	Bölüm Toplantı Salonu
3	Çekme Deneyi	Arş. Gör. Emir OLÇAY	PERŞEMBE 12.00	D-002
4	Elek Analizi Deneyi	Arş. Gör. Sefa Kazanç	PERŞEMBE 12.00	Seramik Süreçler Lab.
5	Sertlik Deneyi	Arş. Gör. Sefa Kazanç	PERŞEMBE 12.00	Metalografi Lab.
6	Seramik Çamurunun Döküm Hızı Deneyi	Arş. Gör. Sefa Kazanç	PERŞEMBE 12.00	Seramik Süreçler Lab.
7	Çentik-Darbe Deneyi	Dr. Öğr. Üy. Fikri Erdem ŞEŞEN	PERŞEMBE 12.00	D-002
8	Basma Deneyi	Arş. Gör. Emir OLÇAY	PERŞEMBE 12.00	D-002
9	Metalografi Deneyi	Dr. Öğr. Üy. N. Arda TANIŞ	PERŞEMBE 12.00	Metalografi Lab.

Tablo 3. Deney Grupları ve Deney Tarihleri

NORMAL ÖĞRETİM									
Grup No	1. Deney Emir OLÇAY	2. Deney Sevda ALBAYRAK	3. Deney Emir OLÇAY	4. Deney Sefa KAZANÇ	5. Deney Sefa KAZANÇ	6. Deney Sefa KAZANÇ	7. Deney Fikri Erdem ŞEŞEN	8. Deney Emir OLÇAY	9. Deney N. Arda TANIŞ
1.Grup	4.hafta	6.hafta	7.hafta	9.hafta	11.hafta	12.hafta	13.hafta	14.hafta	16.hafta

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
LABORATUVAR RAPORU YAZIM KILAVUZU

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde deneylerden sonra hazırlanacak olan laboratuvar raporları bu kılavuzda belirtilen esaslara göre hazırlanır. Laboratuvar raporu dış kapak dışında aşağıdaki bölümlerden oluşur :

1. Deneyin Amacı

Bu bölüme deneyin gerçekleştirilmesindeki amaç veya amaçlar yazılır. (Örn : Metalografik numune hazırlama ve çeliklerle dökme demirin metalografik yapılarının incelenmesi veya Brinell, Rockwell ve Vickers sertlik ölçüm yöntemlerinin incelenmesi v.b.)

2. Teorik Bilgiler

Bu bölüme deneyle ilgili olarak derslerde verilen ve/veya ilgili kaynaklardan derlenen bilgiler yazılır. Bu bölümde deney föyünden de yararlanılabilir. Ancak tamamını yazmak yerine önemli konular özet olarak alınmalıdır.

3. Deneyde Kullanılan Alet ve Malzemeler

Bu bölümde deneylerde kullanılan aletler ve cihazlarının özellikleri (Markası, ölçüm hassasiyeti v.b.) ile deneylerde kullanılan malzemelerin özellikleri (standartları da verilerek) yazılır.

4. Deneyler ve Deney Sonuçları

Bu bölüme deney veya deneylerin nasıl uygulandığı anlatımda üçüncü şahıs kullanmaya dikkat edilerek (örn: Yapıldı, bulundu, hesaplandı, incelendi, okundu, v.b.) açıklama yapılır ve bulunan sonuçlar verilir. Hesaplamalar birimleri ile birlikte gösterilir ve bulunan sonuçlar tablo halinde düzenlenerek verilir.

5. İrdeleme

Bu bölümde deneyde bulunan sonuçların irdelemesi (tartışılması) yapılır. (örn: Çeliklerde artan karbon miktarı ile perlit oranının arttığı gözlenmiştir, Çekme dayanımını artan karbon miktarı ile arttığı ... , Su verilmiş çeliğin sertliğinin arttığı ... , Bulunan sonuçların beklentilere uyduğu ... veya uymadığı, bunun nedeninin ...olabileceği ... , v.b.)

6. Kaynaklar

Bu bölümde raporun hazırlanmasında ve deneylerin yapılışında yararlanılan kaynaklar ařağıda belirtildiğı řekilde verilir.

1.) Rapor Yazım Kuralları

Deney raporunun yazısı, deneyde geen tablolar, řekiller ve formüller öğrencinin kendi el yazısıyla yazılmış olacaktır. Yazılar okunaklı olacak řekilde düzgün ve gerektiğinde teknik resim ilkelerine göre çizilecektir.

1.1.Kullanılacak Kağıtlar

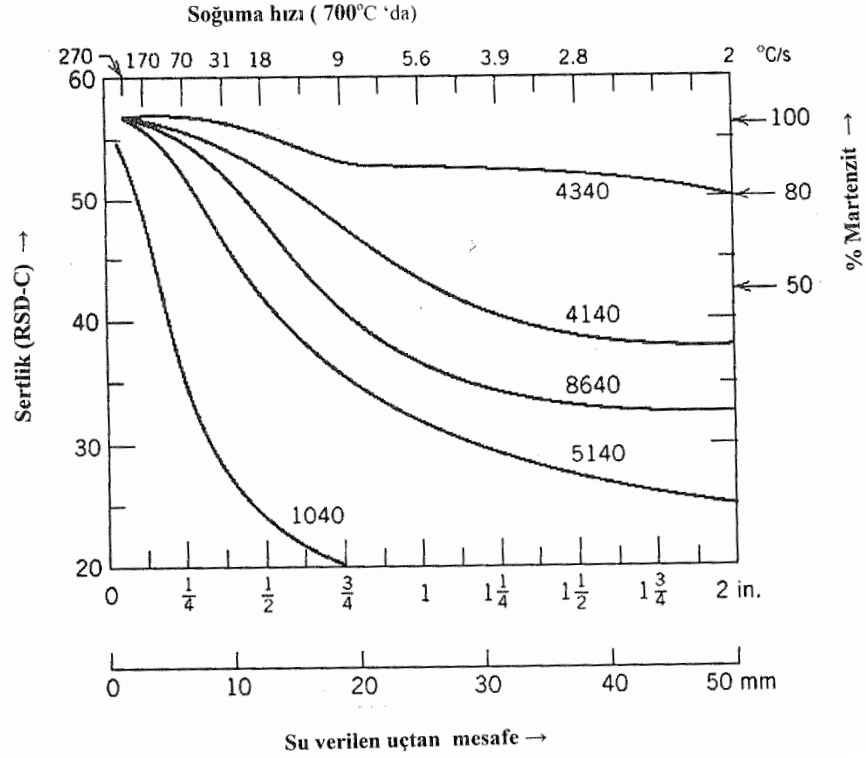
Raporlar DIN-A4 normuna uygun (210×297) birinci hamur beyaz kağıtların sadece bir yüzüne yazılır. Yazılar siyah ve mavi renkte tükenmez veya mürekkepli kalemle yazılmalıdır.

Kağıdın üst kenarında 3 cm ve sol kenarında 3 cm alt ve sağ kenarında ise 2.5 cm boşluk bırakılmalıdır. Sayfanın son satırının son kelimesi ikiye bölünmez. Alt bölüm başlıkları, alt kenar boşluk sınırından en az iki satır daha üste yada sonraki sayfaya yazılmalıdır. Bütün metin 1.5 satır aralıkla yazılır. (Bir sayfada 33-37 satır). Tablo ve Şekil başlıkları ile Dipnotlar, Kaynaklar tek satır aralıkla yazılmalıdır. İki kaynak arasında bir satır boşluk bırakılmalıdır. Tablo ve Şekil başlıkları ile tablo ve Şekiller arasında bir satır boşluk bırakılmalıdır.

Dış kapak dışında raporun bütün sayfaları numaralandırılır. Sayfa numaraları sayfanın üst orta kısmında yer alacak řekilde Arap rakamları (1,2,3,...) ile numaralandırılır.

1.2.Şekiller

Şekilleri, grafik, diyagram, fotoğraf, resim v.b. kapsar. Şekil ve grafikler gerektiğinde raporun yazıldığı kağıda yapıştırılmış milimetrik veya logaritmik ölçekli kağıda çizilmelidir. Şekille metin arasında üstten ve alttan tek satır aralıklı iki satır boşluk bulunmalıdır. Şekil üzerinde x ve y eksenlerinin neyi gösterdikleri ve varsa birimleri (Örnek1) şekil altlıkları yazılmalıdır.



Şekil 1. Aynı oranda karbon içeren alaşımsız ve alaşımlı çeliklerin deneyi eğrileri

Şekillerde çizgisel ölçek kullanılır. Şekiller metin içerisinde ilk sözü edildikleri yerlere mümkün olduğu kadar yakın olmalıdır. Bütün şekillere birbirini izleyen veya bulundukları bölüm numaralarına göre numaralar verilir.

Şekiller ; Şekil 1, Şekil 2, ... , veya bulundukları bölüm numaralarına göre Şekil 1.1. , Şekil 1.2. ..., şeklinde numaralanır. Her şeklin numarası ve adı şeklin altına zorunlu olmadığı sürece şeklin sol kenarıyla hizalanacak şekilde yazılmalı, şekil başlığını oluşturan kelimelerin (ilk kelimeleri hariç) ilk harfleri küçük olmalıdır. Şekil adının sonuna (.) konulmaz, ancak kaynak numarası yahut kaynak adı kullanılırsa (.) konulur.

1.3.Tablolar (Çizelgeler)

Metin içerisinde tablolar ilk sözü edildikleri yerlere mümkün olduğu kadar yakın olmalıdır. Tablo1, Tablo2, ... şeklinde numaralandırılmalıdır. Tablonun no'su ve adı tablonun üstüne zorunlu olmadığı sürece tablo sol kenarı ile hizalanacak şekilde yazılır.

Tablo adı ile metin yazısı arasında 1.5 satır aralıklı 2 satır boşluk, Tablo üst kenarı ile tablo adı arasında bir satır aralık bırakılmalıdır. Bir satırdan uzun tablo isimleri bir aralıkla, tablo numarası arap rakamlarıyla ve tablo kelimesinin yalnız baş harfi büyük olacak şekilde yazılır. Bir boşluk bırakılıp, rakam yazılıp nokta konduktan sonra bir boşluk bırakılarak tablo adı yazılır. Tablo adını oluşturan bütün kelimelerin ilk kelime hariç, ilk harfi küçük olarak yazılmalıdır.

Tablo içeriğinde yer alan, rakamlar, kelimeler, semboller, kısaltmalar v.b. açık, görülebilir ve anlaşılabilir şekilde düzenlenip gösterilmelidir. Tablo içindeki karakterler 10 punto'dan küçük olamaz. Uluslararası kısaltmalar dışındaki diğer bütün kısaltmalar tanımlanmalıdır.

1.4. Formüller

Metin içerisindeki bütün formüller veya denklemler baştan itibaren (1),(2),(3), ... veya bulundukları bölüm numaralarına göre (1.1), (1.2), (1.3), ... şeklinde numaralandırılarak yazılır. Formül numarası formülün hizasına sağ satır sonuna yazılır.

1.5. Genel Yazım Kuralları

Noktalama ve imla için Türk Dil Kurumu İmla Klavuzu ve Türkçe sözlüğüne uyulmalıdır. Tezde SI birim sistemi kullanılmalıdır. Zorunlu durumlarda MKS birim sistemide kullanılabilir. Anlatımda üçüncü şahıs kullanılmaya (Örn: ölçüldü, bulundu, hesaplandı, görüldü, v.b.) özen gösterilmelidir. Her sembol, metinde ilk geçtiği yerde tanımlanmalıdır.

1.6. Metin Kısmı

Metin kısmı yukarıda verilen bölümlerden oluşur.

1.7. Kaynaklar

Metin içinde verilen tüm kaynaklar, kaynaklar sayfasında yazılır. Kaynaklar sayfasının düzeni, aşağıda gösterildiği şekilde oluşturulmalıdır.

Yazar soyadı, Adının baş harfi " Çalışmanın başlığı ", çalışmanın yayınlandığı yer, cilt no, sayı no, sayfa, yıl, ... v.b.

KAYNAKLAR

- (1) Durmuş A. , "Betonarme Yapıların Taşıma Gücüne Göre Hesabı ", Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 305, 3-12, 1983.
- (2) Yaman, N., Erdöl, R., Çakıroğlu, A. O., "Çözümlü Mukavemet Problemleri", 120-122, KTÜ Yayınları, 1996.
- (3) Çavuşoğlu, E.N. " Döküm Teknolojisi" İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı : 1177. 1981

- (4) Beeley, P.R. " Foundry Technology" Newnes-Butterwortus, 1979
- (5) Kalpakjian, S. "Manufacturing Engineering Technology" Addison-Wesley Aub. Co. Reading Massachussets, 1989
- (6) Arslan, F. " Malzemelerin Karakterizasyonu " Ders Notları KTÜ, Met. Ve Malz. Müh. Bölümü, 2008
- (7) Çuvalcı, H. " Çekme Deneyi Deney Föyü " KTÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 2009

(DIŞ KAPAK)

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUVAR RAPORU

(DENEYİN ADI)

(DENEYİN SORUMLUSU)

AD VE SOYAD

ÖĞRENCİ NO

DÖNEM YIL

DEĞERLENDİRME

1. Raporlar (eğer deneyi yaptıran öğretim elemanı farklı bir yöntem önermediyse) deneyi izleyen hafta aynı gün ve saate deneyi yaptıran öğretim elemanına teslim edilir. Zamanında teslim edilmeyen raporlar kabul edilmez.
2. Rapor tesliminde deneyi yaptıran öğretim elemanı sözlü veya yazılı kısa sınav yapar.
Girmiş olduğu deneylerin raporlarını teslim etmeyen öğrenci sınava giremez.
3. Bir deneyin başarı notu yukarıda açıklanan sınav ve rapora verilen notun ortalamasıdır. Rapor değerlendirilirken raporun kurallara uygun olarak hazırlanıp hazırlanmadığı, düzeni, hazırlanmasında gösterilen özen esas alınır.
4. Yarıyıl sonu başarı notu tüm deneylerden alınan notların toplamının (girmedığı deney varsa 0 alınır.) 9'a bölünmesiyle hesaplanır.
5. **İlgili yönetmeliğe göre deneylere devam zorunluluğu %80 olup, iki deneyden fazla devamsız olan bu dersten " DEVAMSIZ" olarak değerlendirilir.**

(DIŞ KAPAK)

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUVAR RAPORU

(DENEYİN ADI)

(DENEYİN SORUMLUSU)

AD VE SOYAD

ÖĞRENCİ NO

DÖNEM YIL

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
LABORATUVAR FÖYÜ

YOĞUNLUK VE PROZİTE ÖLÇÜMÜ DENEYİ

BAHAR, 2026

1. YOĞUNLUK ve POROZİTE ÖLÇÜMÜ

Maddenin birim hacminin ağırlığının hacmine oranına yoğunluk denir ve “ ρ ” ile gösterilir. Yoğunluk maddelerin en ayırt edici özelliğidir. Her maddenin yoğunluğu birbirinden farklıdır.

$$\rho = \frac{m}{v} \text{ (gr/cm}^3 \text{)}$$

Yoğunluk ölçümü; hassas terazi ve yoğunluk ölçüm kiti ile yapılır. Hassas teraziye öncelikle yoğunluk ölçüm kiti takılır ve terazi sıfırlanır. Daha sonra yoğunluğu ölçülecek olan numune kefenin üst tarafına konulur ve numunenin havadaki ağırlığı $G(\text{havada})$ tartılarak kaydedilir. Numune kefenin üst tarafındayken terazi tekrar sıfırlanır. Daha sonra numune kefenin alt gözüne konularak içerisinde distile su bulunan kaba daldırılarak numunenin sudaki ağırlığı $G(\text{suda})$ ölçülür. Bu ölçüm değeri de kaydedilir. Bu esnada kapta bulunan distile suyun sıcaklığı ölçülerek kaydedilir. Suyun sıcaklığına bağlı olarak tabloda verilmiş olan yoğunluk değeri (f) tablodan okunur. Daha sonra aşağıdaki formülle “gerçek yoğunluk” hesaplanır.

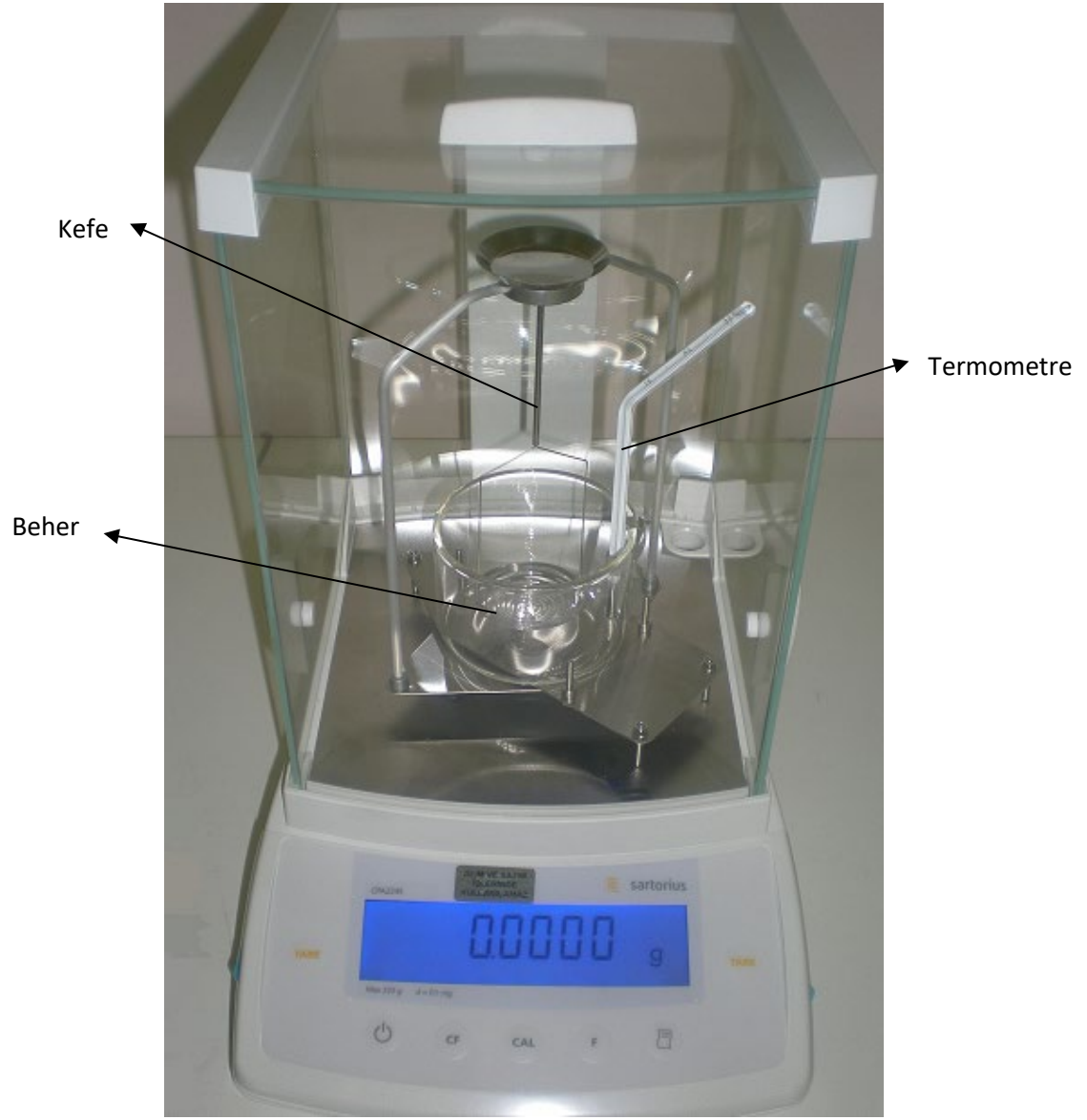
$$\rho_{\text{deneysel}} = \frac{G(\text{havada})}{G(\text{havada}) - G(\text{suda})} f \text{ (gr/cm}^3 \text{)}$$

Porozite; malzeme içerisindeki gözenek miktarıdır ve ölçümü için teorik yoğunluğun hesaplanması gerekir. Bunun için numune hassas terazide tartılır ve numunenin hacmi hesaplanır. Daha sonra numunenin ağırlığı hacmine bölünerek teorik yoğunluk hesaplanmış olur.

$$\rho_{\text{teorik}} = \frac{m}{v}$$

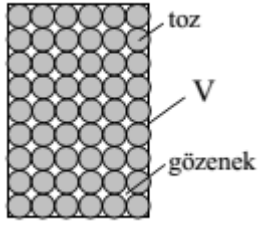
Daha sonra numunenin porozite yani gözenek miktarı aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\text{Porozite} = \frac{\rho_{\text{teorik}} - \rho_{\text{deneysel}}}{\rho_{\text{teorik}}} \times 100$$



Şekil 1.Hassas Terazi ve Yoğunluk Ölçüm Kiti

1. YOL



$$V = V_{gerçek} + V_{gözenek}$$

$$V_{gerçek} = \frac{m}{\rho} \quad (m = \text{ağırlık}, \rho = \text{tozun özgül ağırlığı})$$

$$\frac{V_{gerçek}}{V} = \dots\dots\dots \% \text{ takviye-hacim oranı}$$

2. YOL

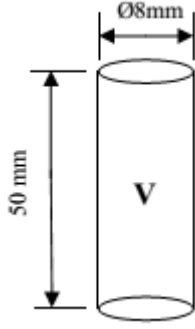
Bu hacim boşluksuz toz olsaydı;

$$m_{teorik} = \rho \cdot V$$

$$\frac{m_{gerçek}}{m_{teorik}} = \dots\dots\dots \% \text{ takviye-hacim oranı}$$

ÖRNEK HESAP TOZ MİKTARLARININ HESAPLANMASI

Takviye elemanı MgO ve matris malzemesi Al olan ve %10-20-30-40-52 takviyehacim oranlarına sahip kompozitlerin MgO ve Al tozlarından hazırlanması;



Şekildeki hacme;

(50mm) 105µm MgO tozu doldurulduğunda m=4.40gr olarak ve

(41mm) 105µm Al tozu doldurulduğunda m=2.468gr olarak ölçülüyor.

MgO tozunun yoğunluğu 3.36 olduğuna göre:

$$V_{takviye} = \frac{m}{\rho} = \frac{4.40}{3.36} = 1.30952$$

$$\frac{V_{takviye}}{V} = \frac{1.30952}{2.51} \times 100 = \%52 \text{ (T-H oranı)}$$

$$\rho_{Al} = 2.7 \text{ kg/dm}^3 \quad \text{ve} \quad \rho_{Mg} = 1.7 \text{ kg/dm}^3$$

Al matris %97 Al ve %3 Mg'dan oluştuğuna göre; Matrisin yoğunluğu:

$$\rho_{matris} = (0.97 \times 2.7) + (0.03 \times 1.7)$$

$$\rho_{matris} = 2.67 \text{ kg/dm}^3$$

T-H oranı (%)	(m) MgO (gr)	(h) MgO (mm)	(h) Al (mm) geriye kalan yükseklik	(m) Al (gr)
52	4.40 (ölçüldü)	50	-----	-----
40	3.3846	37	50-37= 13	1.117
30	2.5384	26	50-26= 24	1.575
20	1.6923	18	50-18= 32	1.973
10	0.8461	9	50-9= 41	2.468 (ölçüldü)

YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ DENEYİ RAPORUNDA İSTENENLER

1. %10, %20, %30, %40, %52 takviye-hacim oranlarında SiO₂ ve Al₇₀₇₅ tozlarla kompozit malzemeler üretilecektir. Her bir takviye oranı için 105 µm SiO₂ ve Al₇₀₇₅ tozlarının miktarlarını belirleyiniz. (65.22 = rSiO₂ kg/dm³ , rAl₇₀₇₅ = 81.2 kg/dm³)
2. %20-30-40 takviye-hacim oranındaki kompozitin gözenek miktarını bulunuz.
3. Mikroskopta incelediğiniz ve gözenek miktarını belirlediğiniz kompozitin mikroyapısı (tane dağılımı, porozite miktarı) hakkında yorumunuz nedir?

Density of Water (g/mL) vs. Temperature (°C)

(from Handbook of Chemistry and Physics, 53rd Edition, p. F4)

Whole degrees are listed down the left hand side of the table, while *tenths of a degree* are listed across the top.

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
15	0.999099	0.999084	0.999069	0.999054	0.999038	0.999023	0.999007	0.998991	0.998975	0.998959
16	0.998943	0.998926	0.998910	0.998893	0.998877	0.998860	0.998843	0.998826	0.998809	0.998792
17	0.998774	0.998757	0.998739	0.998722	0.998704	0.998686	0.998668	0.998650	0.998632	0.998613
18	0.998595	0.998576	0.998558	0.998539	0.998520	0.998501	0.998482	0.998463	0.998444	0.998424
19	0.998405	0.998385	0.998365	0.998345	0.998325	0.998305	0.998285	0.998265	0.998244	0.998224
20	0.998203	0.998183	0.998162	0.998141	0.998120	0.998099	0.998078	0.998056	0.998035	0.998013
21	0.997992	0.997970	0.997948	0.997926	0.997904	0.997882	0.997860	0.997837	0.997815	0.997792
22	0.997770	0.997747	0.997724	0.997701	0.997678	0.997655	0.997632	0.997608	0.997585	0.997561
23	0.997538	0.997514	0.997490	0.997466	0.997442	0.997418	0.997394	0.997369	0.997345	0.997320
24	0.997296	0.997271	0.997246	0.997221	0.997196	0.997171	0.997146	0.997120	0.997095	0.997069
25	0.997044	0.997018	0.996992	0.996967	0.996941	0.996914	0.996888	0.996862	0.996836	0.996809
26	0.996783	0.996756	0.996729	0.996703	0.996676	0.996649	0.996621	0.996594	0.996567	0.996540
27	0.996512	0.996485	0.996457	0.996429	0.996401	0.996373	0.996345	0.996317	0.996289	0.996261
28	0.996232	0.996204	0.996175	0.996147	0.996118	0.996089	0.996060	0.996031	0.996002	0.995973
29	0.995944	0.995914	0.995885	0.995855	0.995826	0.995796	0.995766	0.995736	0.995706	0.995676
30	0.995646	0.995616	0.995586	0.995555	0.995525	0.995494	0.995464	0.995433	0.995402	0.995371

Example: to find the density of water at 16.1 °C, you would first find the whole degree by searching down the left hand column until you reach '16'. Then you would slide across that row until you reach the column labeled '0.1'. The density of water at 16.1°C is 0.998926 g/mL

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

METALURJİ VE MALZEME LABORATUVARI

YORULMA DENEY FÖYÜ

Bahar, 2026

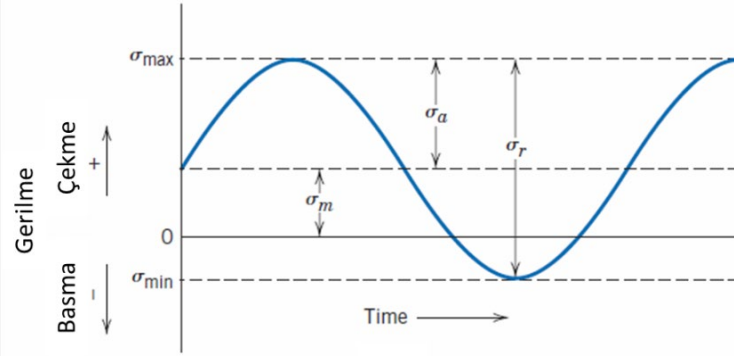
1. YORULMA DENEYİ

1. GİRİŞ

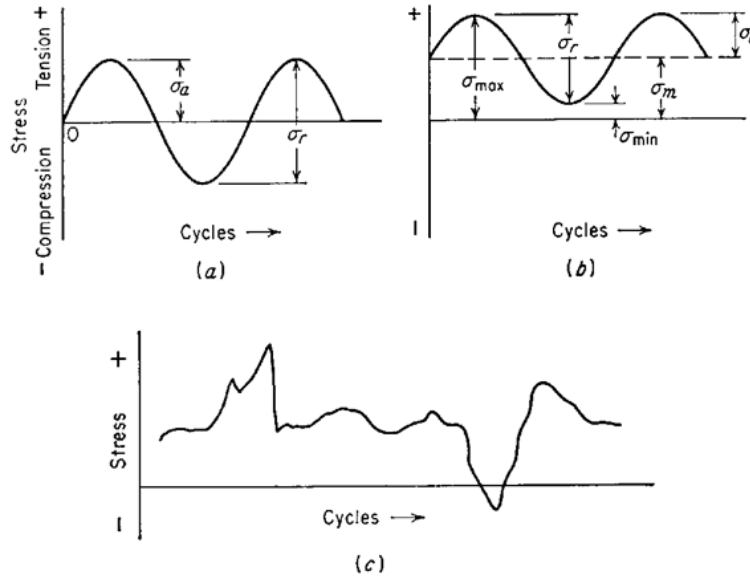
1.1. Amaç

Yorulma, malzemenin akma dayanımının altında değişken ya da dinamik yüklere maruz kaldığı durumda meydana gelen bir hasardır. Uygulanan gerilmeler parçanın akma dayanımından küçük olmasına rağmen belirli bir tekrar sayısı sonunda genellikle malzeme yüzeyinde bir çatlak oluşturur ve bunu takiben kopma olayı gerçekleşir. Yorulma deneyi ile malzemelerin yorulma davranışları belirlenmektedir.

1.2. Tanımlamalar ve Teorik Bilgi



Şekil 1. Maksimum ve minimum gerilmelerin sıfır gerilme seviyesine göre asimetrik olduğu çekme bölgesinde değişken gerilme çevrimi



Şekil 2. Tipik yorulma gerilim çevrimleri; a) ters gerilme (maksimum çekme ve maksimum basma gerilmeleri birbirine eşit), b) tekrarlı gerilme c) düzensiz veya gelişigüzel gerilme çevrimi

1.2.1. Ortalama gerilme

Çevrimdeki maksimum ve minimum gerilmelerin ortalaması, ortalama gerilmedir.

$$\sigma_{ort} = \frac{\sigma_{maks} + \sigma_{min}}{2}$$

1.2.2. Gerilme Aralığı

Maksimum gerilme ile minimum gerilme arasındaki farktır.

$$\sigma_{aralik} = \sigma_{maks} - \sigma_{min}$$

1.2.3. Gerilme genliđi

Gerilme aralıđının yarısıdır.

$$\sigma_{genlik} = \frac{\sigma_{maks} - \sigma_{min}}{2}$$

1.2.4. Gerilme oranı

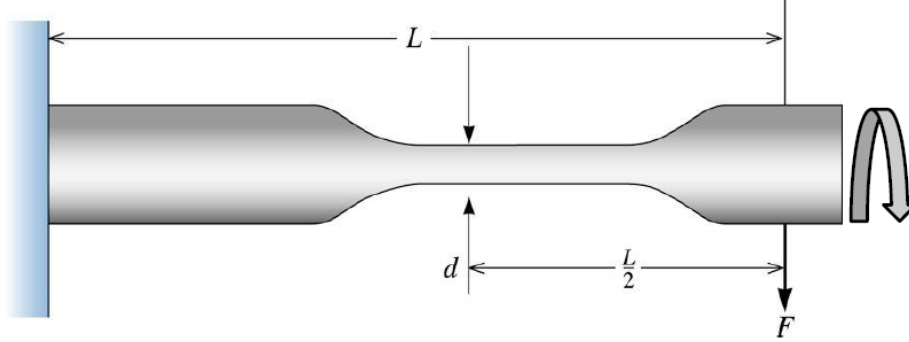
Minimum gerilmenin maksimum gerilmeye oranıdır.

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{maks}}$$

1.2.5. Genlik oranı

$$A = \frac{1 - R}{1 + R}$$

1.2.6. Dönmeli eğmeli yorulma testinde gerilmenin hesaplanması



Şekil 3. Dönmeli-eğmeli yorulma testinin şematik gösterimi

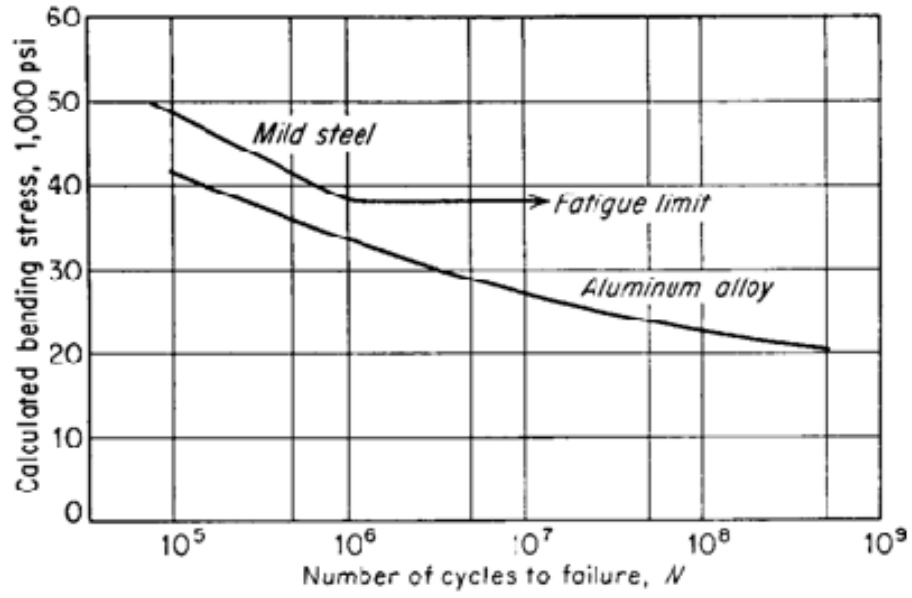
$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M \cdot c}{I} \\ &= \frac{\left(F \cdot \frac{L}{2}\right) \cdot d}{\frac{\pi \cdot d^4}{64}} = \frac{32}{\pi} \cdot \frac{F \cdot L}{d^3} \end{aligned}$$

$$\sigma = 10,18 \cdot \frac{F \cdot L}{d^3}$$

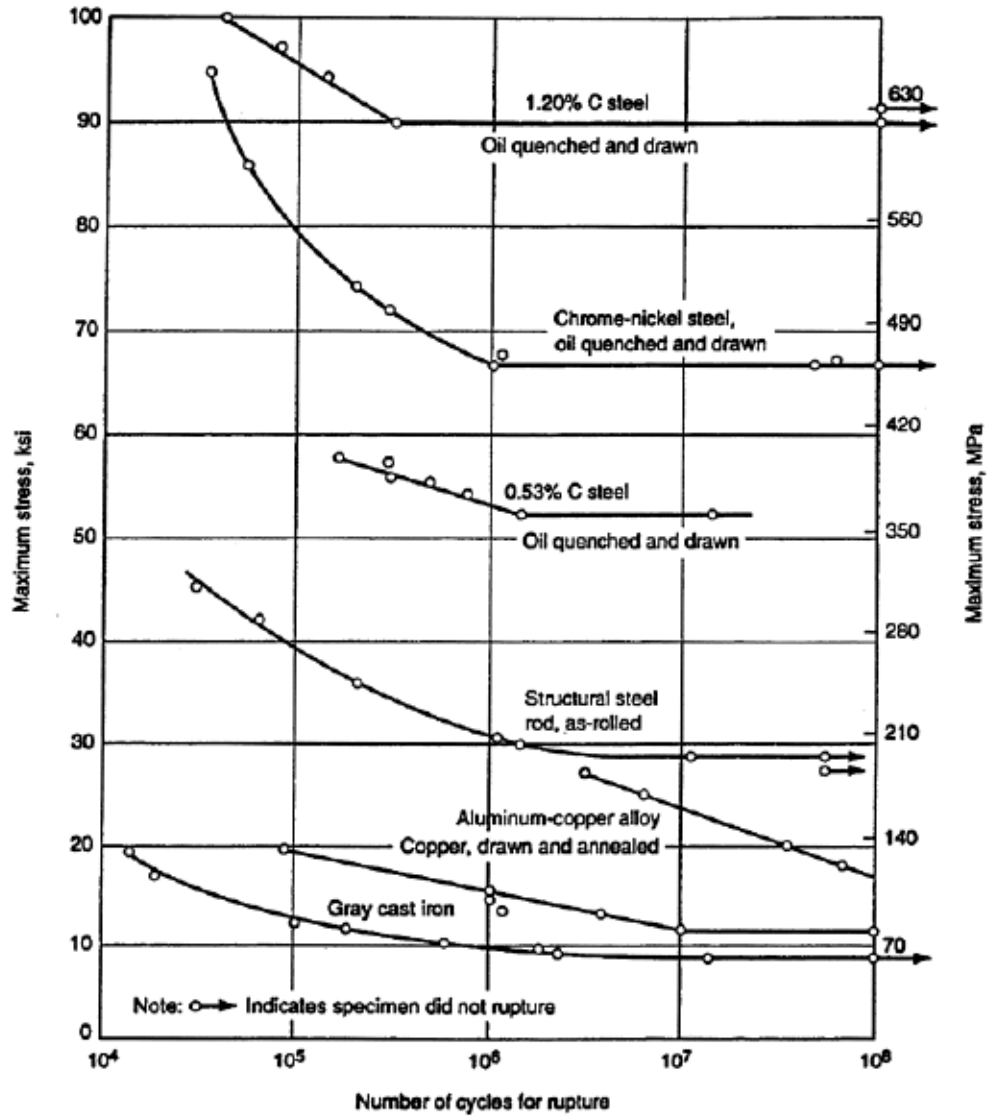
σ = Eğme Gerilmesi, M = Moment, C = Kesit, I = Atalet momenti(dairesel kesit için),
 L = Numunenin toplam boyu, d = Numuneni çapı

1.2.7. S-N Diyagramları

Malzemenin yorulma sınırını tespit etmek için birden fazla numune test edilmelidir. Uygulanan gerilmeye bađlı olarak numune kopuncaya kadar geçen gerilme devir sayısı (S-N) diyagramı (Wöhler Eğrisi) elde edilir. Normal olarak yorulma sınırı 10^7 veya 10^8 çevrim olarak tanımlanmıştır. Yorulma üzerine yıllarca birçok araştırma yapılmıştır. İlk olarak Alman August Wöhler 1850'lerde demiryolunun sistematik yorulma araştırmasını yapmış ve geliştirmiştir[1]. Wöhler demir yolu aksları üzerinde ve küçük oranlarda eğilme, burulma ve radyal olarak yinelenen yükler üzerinde çalışmış ve buradan elde ettiđi verileri S-N diyagramlarıyla yorumlamıştır[2, 3].



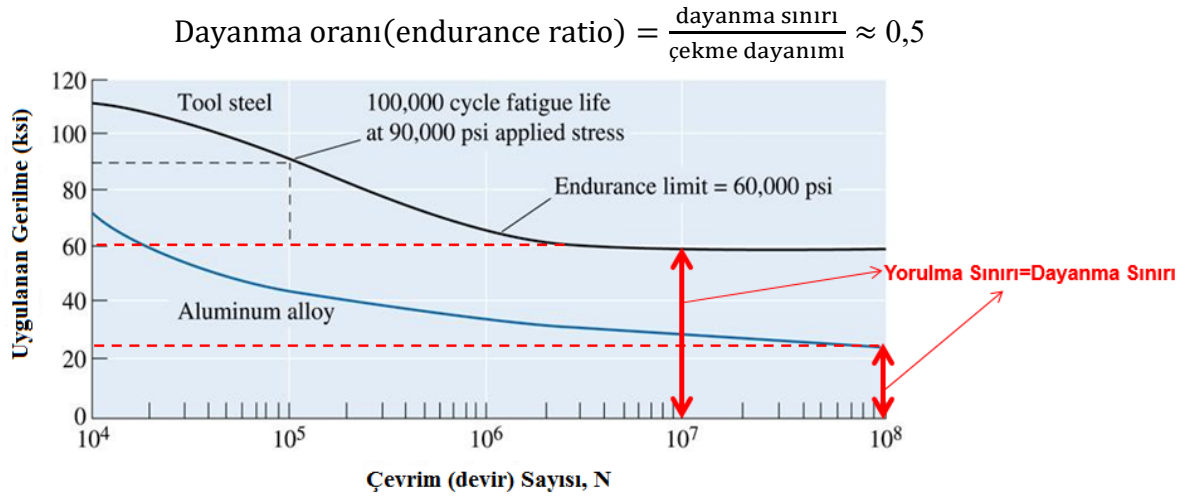
Şekil 4. Demir esaslı ve demir dışı metaller için tipik yorulma eğrileri



Şekil 5. Bazı alaşımlara için tipik S-N diyagramı (yorulma testi oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir)

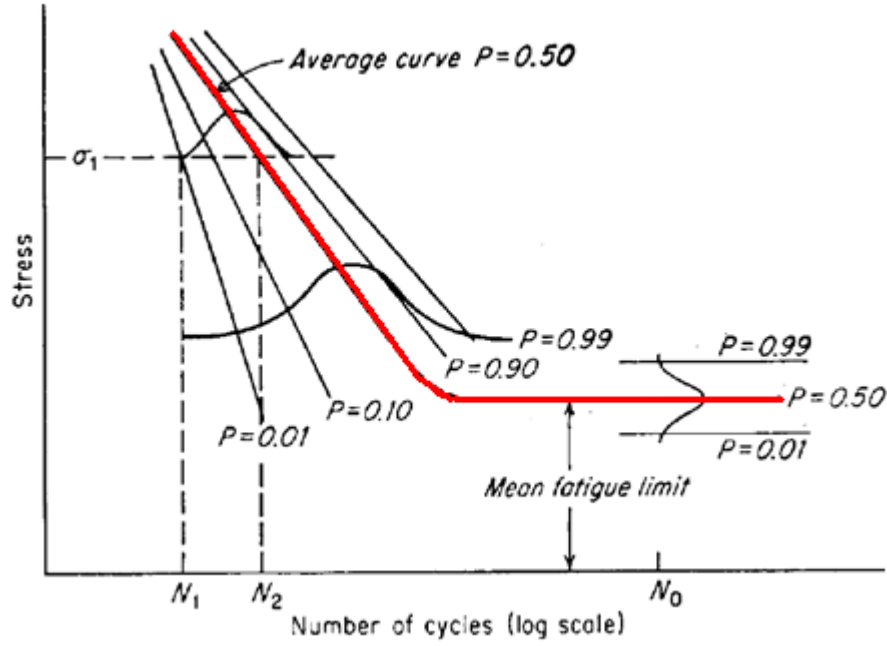
1.2.8. Yorulma Limiti (Dayanma Sınırı)

Demir esaslı malzemelerde normalde 10^7 devir olarak tanımlanır. Bu sınırın altında malzeme, muhtemelen kırılmadan sonsuz bir çevrim sayısı kadar dayanabilir. Al gibi demir dışı metaller belirgin yorulma sınırı sergilemezler. Yorulma dayanımı $\sim 10^8$ devir olarak tanımlanır. Şekil 6'da yorulma sınırı gösteren ve göstermeyen malzemelerin örnek S-N grafiği verilmiştir.



Şekil 6. Yorulma sınırının S-N grafiğinde gösterimi

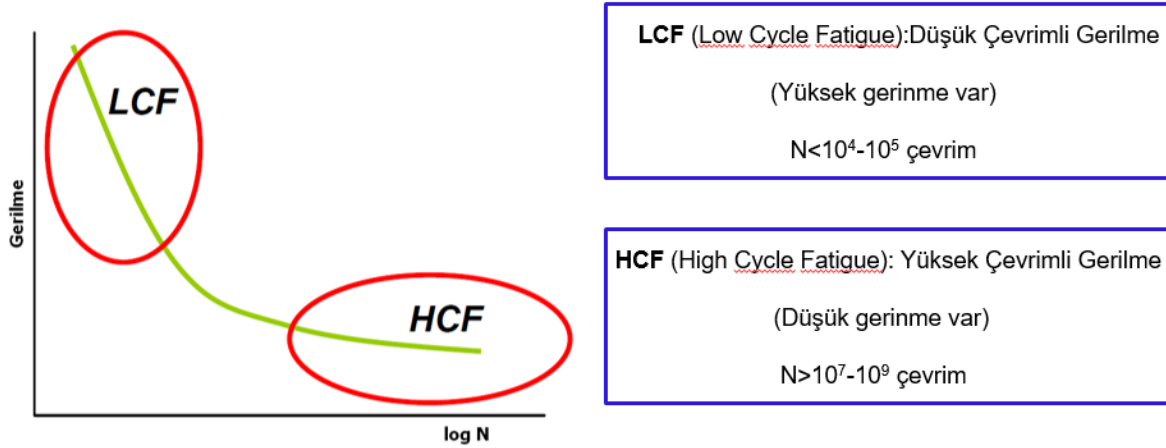
S-N diyagramının çizilebilmesi için normalde $\sim 15-20$ numune test edilmesi gerekir. İlk test malzemenin çekme dayanımının $\sim 2/3$ bir düzeyde gerilme uygulanarak gerçekleştirilir. Elde edilen veriler, çeşitli örnekler kullanılarak aynı gerilme seviyesinde istatistik olarak normal dağılmış durumdadır. Yorulma sınırını tanımlamak için istatistik bir yaklaşım gerektirir. S-N eğrisi yorulma verileri normalde dağınık olduğundan, bir olasılık (probability) olarak temsil edilmelidir. İstatistiksel parametreler elde etmek için çok sayıda numuneler kullanılır. σ_1 'de, numunelerin % 1'nin N_1 çevrimde kopması beklenmektedir. Numunelerin % 50'sinin N_2 çevrimde kopması beklenmektedir. Mühendislik amaçları için, kopma olasılığı bölgesinde $P=0.90, P=0.10$ alınarak yorulma ömrü logaritmik normal dağılım için yeterince doğru varsayılır.



Şekil 7. Yorulma verilerinin bir olasılık olarak gösterilmesi

S-N diyagramında (Wöhler Eğrisi) yüksek çevrimli bölgesi Basquin Eşitliği ile ifade edilir. Burada; σ_a gerilme genliği, p ve C deney sabitleridir. Çevrim sayısı N , azalan gerilme düzeyi ile artar.

$$C = N \sigma_a^p$$

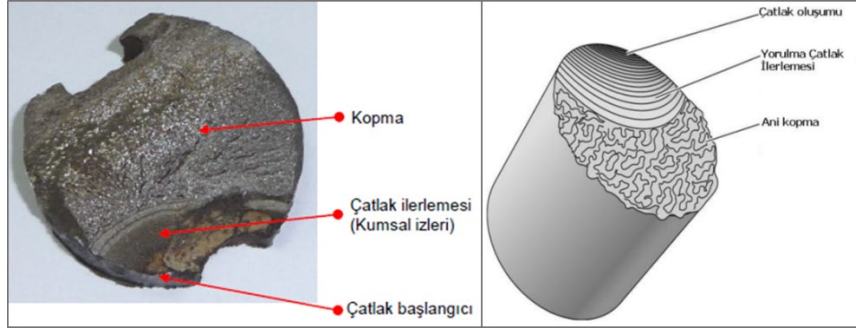


Şekil 8. Yüksek ve düşük gerilme gösteren gerilme – log N grafiği

1.6.9. Yorulma aşamaları

Yorulma olayı üç aşamada değerlendirilir: çatlak başlangıcı, çatlak ilerlemesi ve kırılma. Malzeme yorulma davranışı sergilerken ilk olarak yüksek gerilme yığılmalarının olduğu bölgelerde veya kristal yapıdaki hatalı noktalardan **çatlak başlar**. Çatlak genellikle yüzeyden başlayıp, kayma hatları ile orta kısımlara iletilir. Ayrıca, malzeme içinde mikro çatlaklar var ise ve çatlak ucunda oluşan gerilme yığılması çatlak ilerletebilecek seviyede ise **çatlak ilerler**. Uygulanan gerilme çatlakın ilerlemesi için yeterli değilse malzeme yorulmaz. Gerilme çatlakın ilerlemesini sağlayacak kadar büyük ise çatlak ilerler. Böylece yorulma çatlakı yavaş yavaş tüm kesite yayılır. Yorulma nedeniyle çatlak yeter derecede ilerledikten sonra kesitin geri kalan kısmı yükü taşıyamaz hale gelir ve malzeme aniden **kopar**. Yorulma, malzemede önemli bir plastik şekil değişimi yapmadığından ve herhangi bir uyarı vermeden elastik limitin altındaki gerilmelerde malzemenin ani olarak kırılması nedeniyle tehlikelidir. Bu tip kırılma olaylarına dönen millerde, hareketli makine parçalarında ve uçak kanatlarında rastlanabilir. Yorulma

sonucu kırılan bir malzemeye ait kırılma yüzeyi ve yüzeyin şematik gösterimi Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Yorulma sonucu kırılan bir malzemeye ait kırılma yüzeyi ve yüzeyin şematik gösterimi

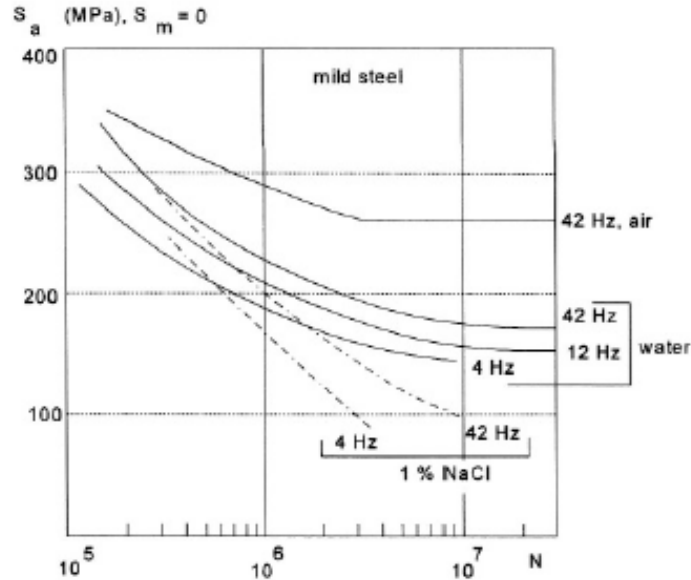
1.6.10. Yorulmaya etki eden faktörler

1. Sıcaklık

Artan sıcaklıkla birlikte akma dayanımı azalır. Buna bağlı olarak yorulma dayanımı da azalır.

2. Korozyon

Korozif ortamlar ve korozif saldırılar (attacks) malzemenin yüzeyinde oyuk oluşumuna yol açarlar. Korozyon oyukları çentik gibi davranarak yorulma dayanımını düşürür. Kimyasal saldırılar çatlak ilerleme hızını çok artırır.



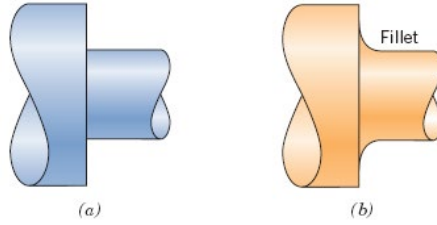
Şekil 10. Çevre şartlarının (korozyon) ve gerilme genliğinin çentiksiz yumuşak çeliğin S-N eğrisi üzerine etkisi

3. Gerilmenin türü (sinusoidal, dönmeli-eğmeli, vb.)

4. Gerilmenin genliği (frekansı)

5. Tasarım

Yüzeydeki herhangi bir zayıf veya kötü tasarım veya üretim hatası (keskin köşeler ve çentikler) gerilmeleri yoğunlaştırır ve yorulma sınırının azalmasına neden olur.

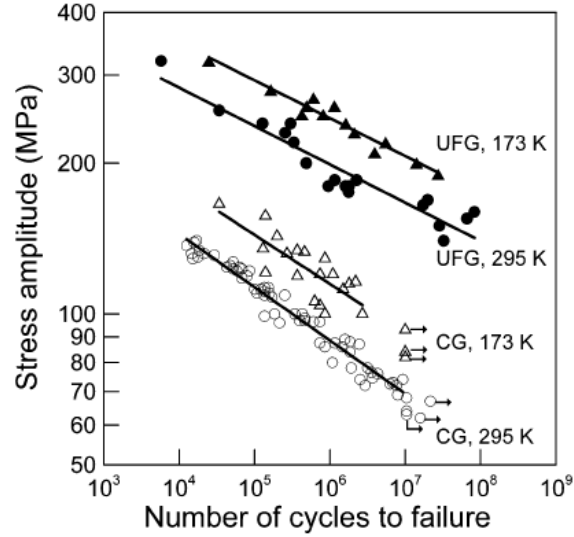


Şekil 11. a) keskin köşeli: zayıf tasarım, b) yuvarlatılmış köşeler nedeniyle iyileştirilmiş yorulma ömrü: iyi tasarım

6. Metalurjik etkiler

a. Kimyasal kompozisyon

b. Mikroyapı



Şekil 12. Çok ince taneli (UFG) ve normal tane boyutuna sahip saf Cu'da sıcaklığın S-N eğrisi üzerine etkisi

c. Isıl işlem

d. İnklüzyon

Çelikte metalik olmayan kalıntı inklüzyonların varlığı çatlak ilerleme hızını artırır ve yorulma sınırının azalmasına neden olur.

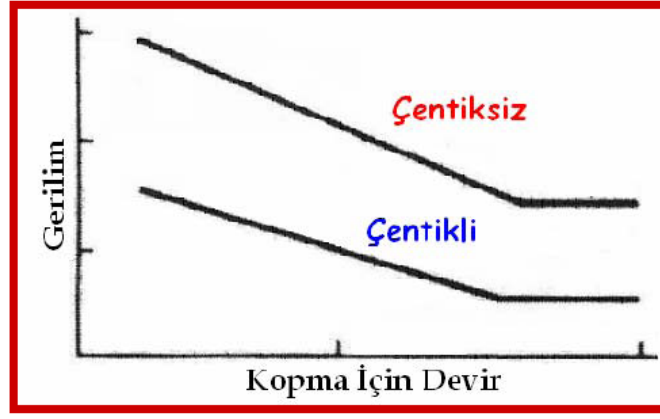
Tablo 1. SAE 4340 çeliğinde yüzey pürüzlülüğünün yorulma sınırına etkisi

	Elektrikli fırında Ergitilmiş	Vakumda Ergitilmiş
Boyuna Yorulma Sınırı (MPa)	800	958
Enine Yorulma Sınırı (MPa)	545	827
En / boy Oranı	0.68	0.86
Sertlik (HRc)	27	29

7. Yüzey etkileri

a. Çentik

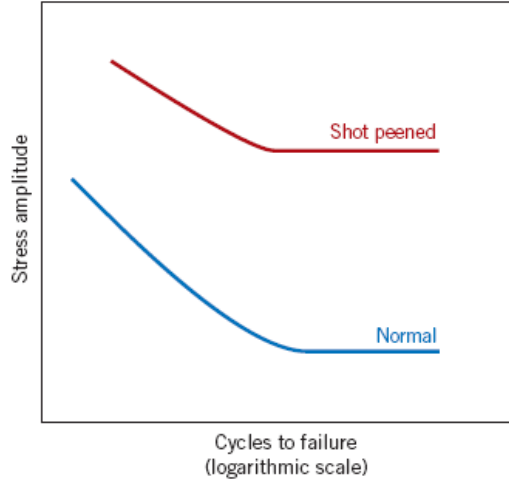
Gerilmeye maruz malzemede yorulma çatlakları, gerilmenin en yüksek olduğu yüzeyde başlar. Yüzeydeki herhangi bir tasarım veya üretim hatası (çentikler ve kötü yüzey pürüzlülüğü) gerilmeleri yoğunlaştırır ve yorulma çatlaklarının oluşmasını kolaylaştırır.



Şekil 13. Çentikli ve çentiksiz numunelere ait S-N eğrisi

b. Bilyalama (shotpeening)

Bilyalama işlemi yüzeyde kalıntı basma gerilmesi oluşturarak ve yorulma sınırını arttırır.



Şekil 14. Normal ve Bilyalama işlemi yapılmış çelik için şematik S-N yorulma eğrisi

c. Yüzey pürüzlülüğü

Tablo 2. 655 MPa gerilmeye test edilmiş SAE 3130 çeliğinde yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak yorulma ömürleri

Bitirme İşlemi Türü	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Ortalama Yorulma Ömrü (çevrim)
Tornada işlenmiş	2.67	24000
Kısmen elde parlatılmış	0.15	91000
Elle parlatılmış	0.13	137000
Taşlanmış	0.18	217000
Taşlanmış ve Parlatılmış	0.05	234000
Perdahlanmış (Superfinished)	0.18	212000

d. Dekarbürizasyon

e. Yüzey sertleştirme

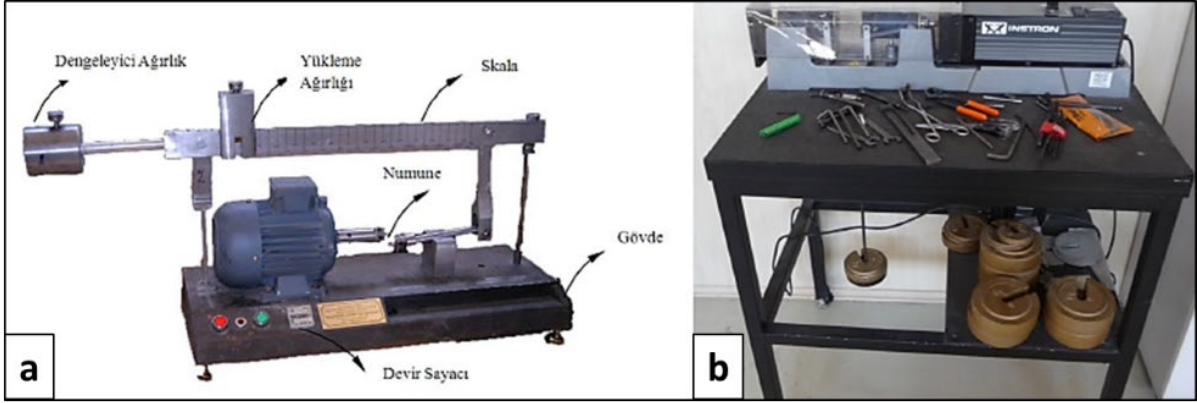
i. Karbürleme (Sementasyon)

- ii. Nitrürleme(Nitrasyon)
 - iii. İndüksiyonla yüzey sertleştirme
 - iv. Alevle yüzey sertleştirme
8. Kalıntı Gerilme (Yüzeydeki kalıntı gerilmeler)

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Deneyin yapılışı

Yorulma test cihazları, çalışma prensiplerine göre dönmeli-eğmeli, elektromekanik ve servo-hidrolik cihazlar olarak sınıflandırılabilirler. Şekil 17’de en yaygın yorulma deneyi olan dönmeli-eğmeli yorulma test düzenekleri verilmiştir. Burada standartlara göre hazırlanan deney numunesi sabit bir yükün etkisi altında, bir elektrik motoru tarafından tahrik edilen güç yardımı ile döndürülerek basma ve çekme kuvvetlerine maruz bırakılır. Uygulama sırasında meydana gelen yorulma etkisi ile deney sonunda numunenin kopması beklenir. Deneyin başlangıcında ve deney sonunda devir sayacındaki değerler not edilerek malzemenin yorulma ömrü hesaplanır.



Şekil 15. Dönmeli eğmeli yorulma test cihazları a) Wöhler tipi, b) R.R.Moore tipi

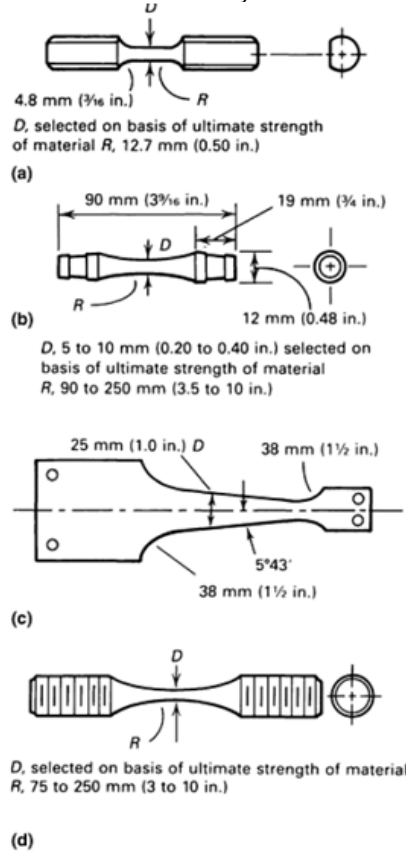
Şekil 18’de ise servo-hidrolik türde yorulma test cihazı gösterilmiştir. Burada silindir haldeki iki destek üzerine yerleştirilen numuneye, destekler ile aynı çaptaki fıkstür ile belirli bir frekansta malzeme kırılana ya da eğilene kadar eğme kuvveti uygulanır. Deney sonucunda bilgisayar kontrollü yazılım yardımıyla malzemenin yorulma dayanımı tespit edilir.



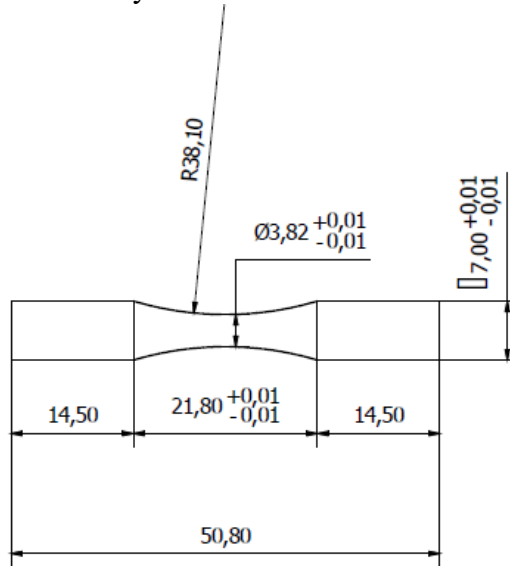
Şekil 16. Intron 8511.20 model servohidrolik yorulma test cihazı

2.2. Numune Boyutu

Farklı türde yorulma test numunelerinin teknik çizimleri Şekil 19’da, laboratuvar dersi kapsamında test edilen numunenin teknik resmi ise Şekil 20’de verilmiştir.



Şekil 19. Farklı türde yorulma test numunelerinin teknik çizimleri



Şekil 17. Yorulma test numunesi teknik resmi

3. KAYNAKLAR

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
LABORATUVAR FÖYÜ

ÇEKME DENEYİ

BAHAR, 2026

1. ÇEKME DENEYİ

1.1 Giriş ve Deneyin Amacı

Mühendislik malzemelerinin çoğu, uygulanan gerilmeler altında biçimlerini kalıcı olarak değiştirirler, yani plastik şekil değişimine uğrarlar. Bu malzemelerin hangi koşullar altında ve ne zaman kalıcı şekil değişimine uğrayacaklarını bilmek çok önemlidir. Çeşitli yapı elemanlarının veya makina parçalarının etkisinde bulundukları yükler altında biçimlerini değiştirmesi istenilmeyen bir olaydır. Çekme deneyi malzemelerin mukavemeti hakkında esas dizayn bilgilerini saptamak ve malzemelerin özelliklere sınıflandırılmasını sağlamak amacı ile geniş çapta kullanılır. En çok uygulanan tahribatlı malzeme muayenesi yöntemlerinden biri olan çekme deneyi sonucunda elde edilen veriler, doğrudan mühendislik hesaplarında kullanılmaktadır.

1.2 Deneyin Yapılışı

Çekme deneyi, standartlara göre hazırlanan deney numunesinin (ömek), sabit sıcaklıkta ve tek ekseninde, belirli bir hızla koparıncaya kadar çekilmesi işlemidir. Deney sırasında, numuneye sürekli olarak değişen çekme kuvveti uygulanarak, meydana gelen uzama kaydedilir. Çekme deneyi sonucunda numunenin temsil ettiği malzemeye ait aşağıdaki mekanik özellikler bulunabilir:

Elastisite (Katılık) modülü,

Elastiklik sınırı,

Rezilyans modülü,

Akma gerilmesi,

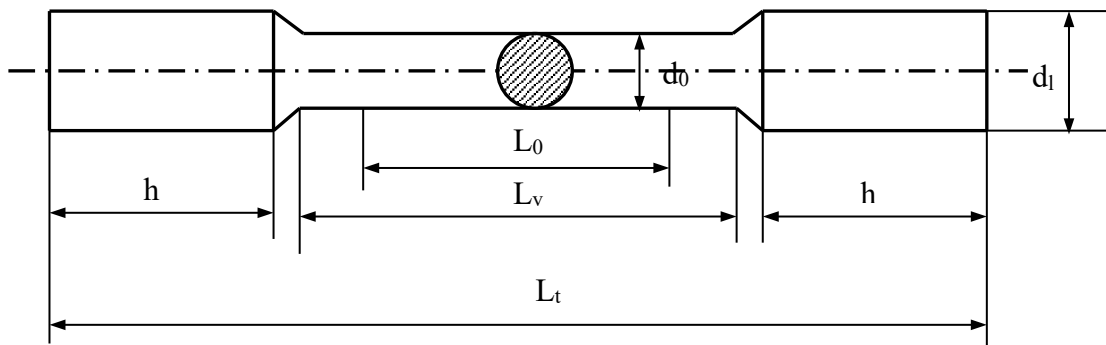
Çekme dayanımı,

Tokluk,

% Uzama (ve kopma uzaması),

% Kesit daralması (ve kopma büzülmesi).

Şekil 1a'da yuvarlak kesitli ve silindirik başlı, Şekil 1b'de ise levha şeklinde kalın yassı bir malzeme için çekme numunesi örnekleri verilmiştir.



Şekil 1a. Yuvarlak kesitli silindirik başlı çekme numunesi örneği

Burada;

d_0 = Örneğin çapı

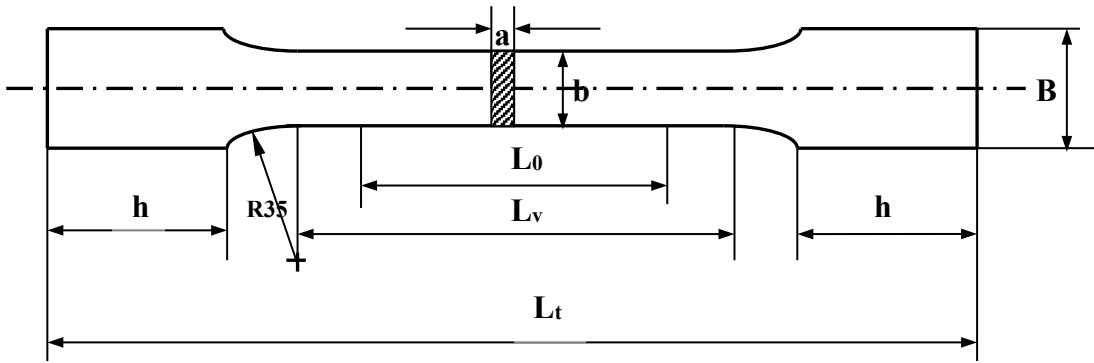
d_1 = Baş kısmının çapı $\cong 1.2d_0$

l_v = İnceltmiş kısmın uzunluğu = $l_0 + d_0$

l_0 = Ölçü (geyç) uzunluğu $\cong 5d_0$

l_t = Toplam uzunluk

h = Baş kısmının uzunluğu anlamındadır.



Şekil 1b. Levha şeklinde kalın yassı çekme numunesi örneği

Burada;

a = Numunenin Kalınlığı

b = Ölçü uzunluğu içinde numune genişliği

B = Baş kısmın genişliği $\approx 1.2b+3$ anlamındadır.

Bu tip örneklerin kısa gösterilişi:

Çapı (d_0)= 12 mm ve ölçü uzunluğu (l_0)= 60 mm olan çekme örneği; 12x60 TS 138 A şeklinde gösterilebilir.

1.3. Çekme Deneyinden Elde Edilen Veriler

Çekme deneyi sırasında elde edilen gerilme ve uzama değerleri aşağıdaki bağıntılar yardımıyla bulunur:

$$\text{Çekme gerilmesi } (\sigma) = F/A_0$$

F = Çekme kuvveti

$$\text{Birim uzama (} \epsilon \text{ veya } \epsilon) = \Delta l/l_0$$

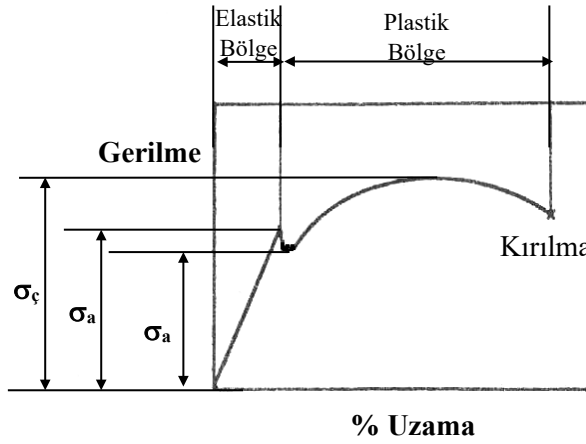
A_0 = Deney numunesinin ilk kesit alanı

$$\text{Yüzde uzama } (\% \epsilon) = \Delta l/l_0 \times 100$$

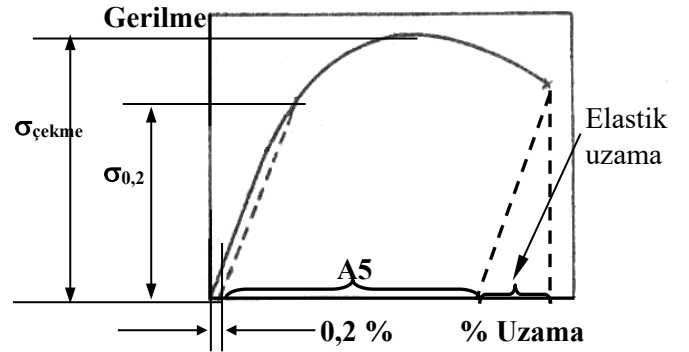
l_0 = Deney numunesinin ilk ölçü boyu

Δl = Uzama miktarı

Çekme diyagramı, gerilme-birim uzama (σ - ϵ) veya gerilme-yüzde uzama (σ - $\% \epsilon$) eğrisini gösterir. A_0 ile l_0 sabit olduğuna göre σ - ϵ eğrisi, çekme makinasının kaydettiği F- Δl diyagramına benzer şekle sahiptir. Düşük karbonlu yumuşak çelik ve sertleştirilmiş çeliğe ait çekme diyagramları Şekil 2' de verilmiştir.



a) Düşük karbonlu yumuşak çeliğin



b) Belirgin akma göstermeyen sertleştirilmiş çeliğin

Şekil 2. Çekme diyagramları

Çekme deneyi sonucunda numunelenin temsil ettiği malzemeye ait aşağıda verilen mekanik özellikler belirlenebilir.

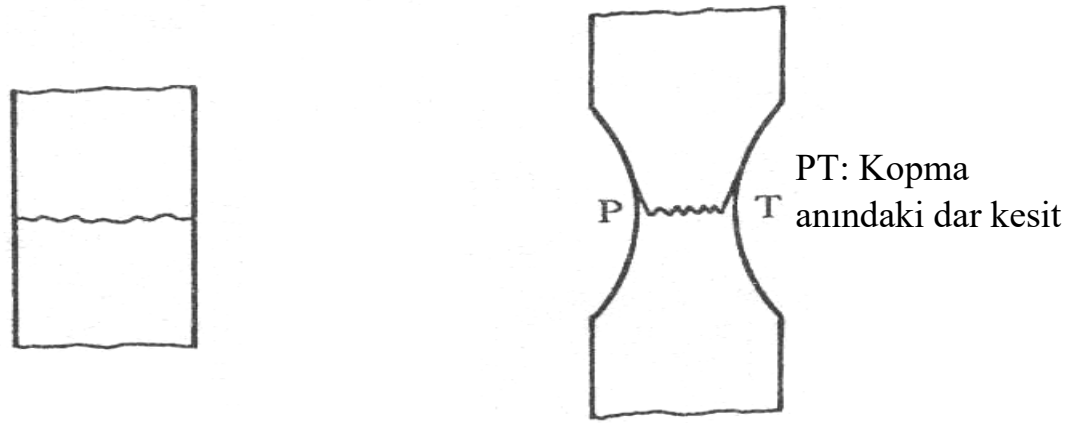
a) *Orantı Sınırı* (σ_0): Gerilme ile birim uzama arasında $\sigma = E \epsilon$ bağıntısının (Hooke kanunu) geçerli olduğu doğrusal kısmı sınırlar. Bu bağıntıdaki orantı katsayısı E, elastiklik (esneklik) modülü adını alır ve doğrunun eğimini gösterir. Ahşap, kauçuk ve deri gibi bazı malzemelerin $\sigma - \epsilon$ diyagramında böyle bir doğrusal bölge bulunmadığı için, sabit bir E değeri yerine ancak, belirli bir noktadaki teğetin eğimi söz konusu olur. Bir malzemenin elastiklik modülü ne kadar büyükse, rijitliği yani elastik şekil değiştirmeye karşı direnci de o oranda büyüktür. Bir malzemeye ait elastiklik modülü herhangi bir ısı veya mekanik işlem yardımıyla değiştirilemez.

b) *Elastiklik Sınırı* (σ_E): Kuvvet kaldırıldığı zaman plastik (kalıcı) uzamanın görülmediği veya yalnız elastik şekil değiştirmenin olduğu en yüksek gerilmedir. Genellikle, aralarındaki farkın çok az olması nedeniyle orantı sınırına eşit kabul edilebilir. Pratik olarak yerine, % 0.01 veya %0.005'lik plastik uzamaya karşılık gelen veya değerleri alınır.

c) *Akma dayanımı* (σ_a): Gerilmenin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşılık, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği gerilme değeridir. Bu belirgin akma sınırı ancak bazı malzemelerde, örneğin düşük karbonlu yumuşak çelikte, deney şartlarına bağlı olarak görülebilir. Akmanın başladığı gerilme değeri üst akma sınırı $\sigma_{a,u}$ ve akmanın devam ettiği ortalama gerilme de alt akma sınırı $\sigma_{a,a}$ olarak adlandırılır (Şekil 2.b.). Akma sınırının belirgin olmaması halinde bunun yerine, genellikle %0.2'lik plastik uzamaya ($\% \epsilon_{plastik} = 0.2$ veya $\epsilon_{plastik} = 0.002$) karşılık gelen gerilme $\sigma_{0,2}$ sınırı alınır.

d) *Çekme dayanımı* (σ_c): Bir malzemenin kopmadan veya kırılmadan dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme olup, $\sigma_c = F_{max}/A_0$ formülü ile bulunur. Bu gerilmeye kadar deney parçasının kesiti her tarafta aynı oranda azaldığı halde, bu noktadan sonra deney parçası bir bölgede yerel olarak büzölmeye başlar (boyun verme) ve daha küçük bir gerilmeye kopar. Maksimum gerilmenin (σ_c) uygulanması sonuta kopmaya yol atığınan ve kırılma noktasındaki gerilmenin pratik bir anlamı bulunmadığından, σ_c yerine kopma noktasındaki gerilmeyi gösteren σ_k simgesi kullanılabilir.

e) *Kopma Uzaması* (K.U.): Çekme örneğinin kopuncaya veya kırılıncaya kadar gösterdiği yüzde uzama miktarı olarak tanımlanır. Deney parçasının kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile ölçölen l_k ve $\Delta l_k = l_k - l_0$ yardımıyla $K.U. = \% \Delta l_k / l_0 \times 100$ bağıntısı yardımıyla bulunur. Bu değeri ne kadar büyükse malzeme o derece sünektir anlamına gelir. Bir malzemede σ_k ve σ_c değeriğini yükselten etkenler çoğunlukla sünekliliğı azaltırlar.



a) Gevrek malzemenin kopması (büzülmeye yok) b) Sünek malzemenin kopması (büzülmeye var)

Şekil 3. Gevrek ve sünek malzemenin kopması

Plastik şekil değışimine elverişli olmayan malzemeye gevrek malzeme denir. Bu nedenle, gevrek malzemeler teorik olarak kopma uzaması ve kopma büzülmesi (boyun verme) göstermezler. Ancak, uygulamada % 1-2 gibi düşük oranlarda kopma uzaması gösteren malzemeler de gevrek kabul edilir. Şekil 3’de gevrek ve sünek malzemelerin kopma davranışı şematik olarak gösterilmiştir.

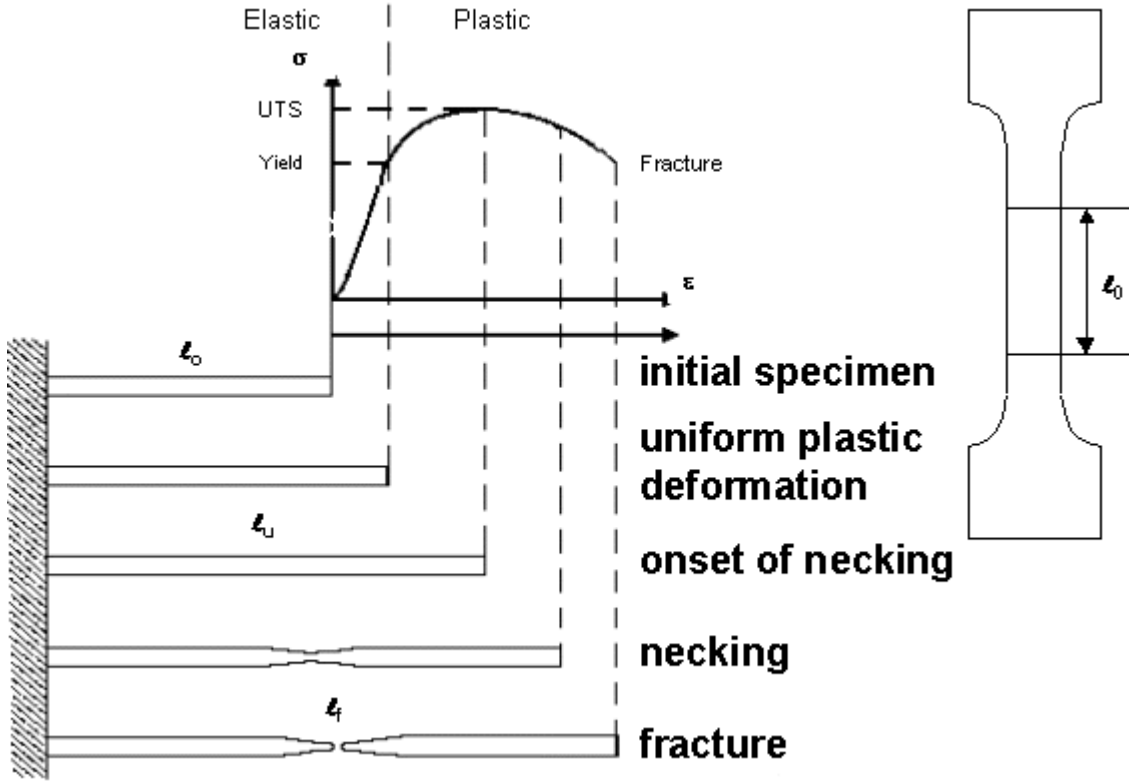
Büzölme gösteren malzemelerde Δl_k değeri, ölçü uzunluğundan (l_0) başka, numune çapı (d_0) ile orantılı olduğundan, bir malzeme için daima aynı kopma uzaması değeriğini elde edebilmek amacıyla, $l_0 = a \cdot d_0$ alınır. Buradaki a sabiti genellikle 5 veya 10 olarak seçilir. Dairesel kesitli olmayan deney paralarında ise;

$$l_0 = a \sqrt{\frac{4A_0}{\pi}}$$

olarak alınır.

Süneklekle karıştırlmaması gereken başka bir kavram da elastiklikdir. Bütün malzemelerde bir elastiklik bölgesi bulunmakla birlikte, metalik malzemelerin çoğı %1’den daha düşük elastik uzama gösterirler. Bir plastik malzeme türü olan elastomerler ise, yüzde bir kaç yüz mertebesine varan oranlarda elastik uzama gösterebilirler.

f) *Kopma büzülmesi* (K.B.): Çekme numunesinin kesit alanında meydana gelen en A_0 - A_k büyük yüzde daralma veya büzülme miktarı olup, $K. B. = (A_0 - A_k) / A_0 \times 100$ bağıntısı ile hesaplanır ve bulunan değerler kopma uzaması gibi, süneklik için bir göstergedir. Burada, A_0 deney numunesinin ilk kesit alanı, A_k ise, kırılma anındaki en küçük kesit alanı veya kırılma yüzeyinin alanıdır.



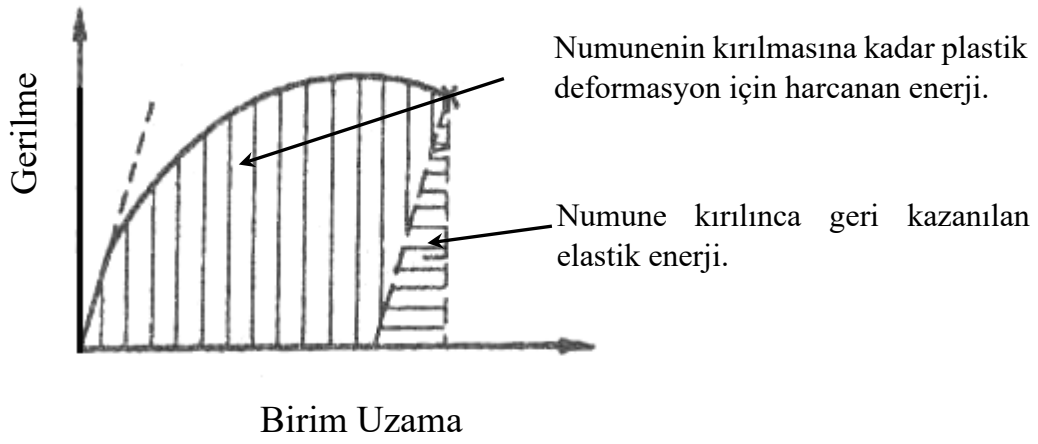
Şekil 4. Yuvarlak kesitli silindirik başlı çekme numunesinin çekme deneyi sırasında boyunda ve kesit alanında oluşan deformasyonlar

g) *Rezilyans Modülü*: Malzemenin yalnız elastik şekil değiştirme sırasında enerji absorbe etme yeteneğine denir. Bu enerji, gerilme (σ) birim uzama (ϵ) eğrisinin elastik kısmının altında kalan alan ile belirlenir (Şekil 5). Birim hacimde absorbe edilen bu enerji,

$$u_e = \frac{\sigma_{akma}^2}{2E}$$

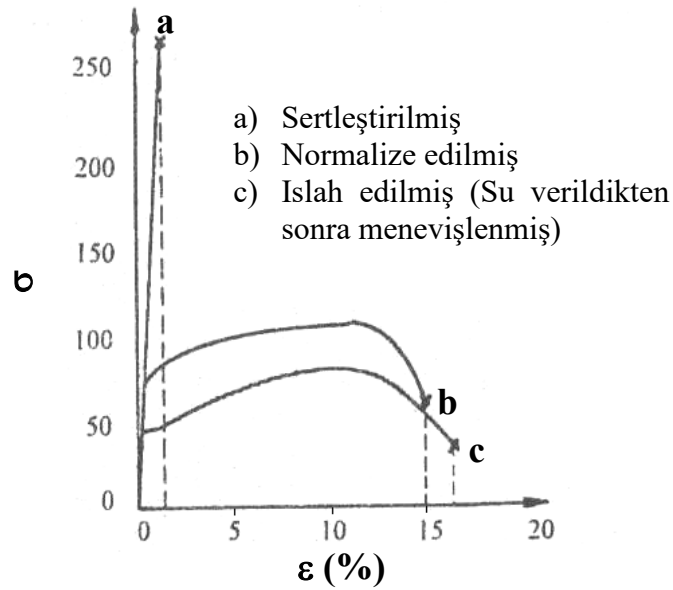
şeklinde hesaplanabilir.

h) *Tokluk*: Malzemenin kırılıncaya kadar enerji absorbe etme yeteneğine denir. Genellikle σ - ϵ eğrisinin altında kalan alanın $A = \int_0^{\epsilon_k} \sigma d\epsilon$ hesaplanması ile bulunur. Birim hacim başına düşen kırılma enerjisi olarak tanımlanan tokluk, kırılmaya karşı direnç için bir ölçü kabul edilir (Şekil 5). Bu değerle, örneğin, darbeli zorlama halinde bulunan dinamik tokluk arasında bir bağıntı yoktur. Sünekliğin olduğu gibi, tokluğun karşısı olarak da gevreklik deyimi kullanılır.

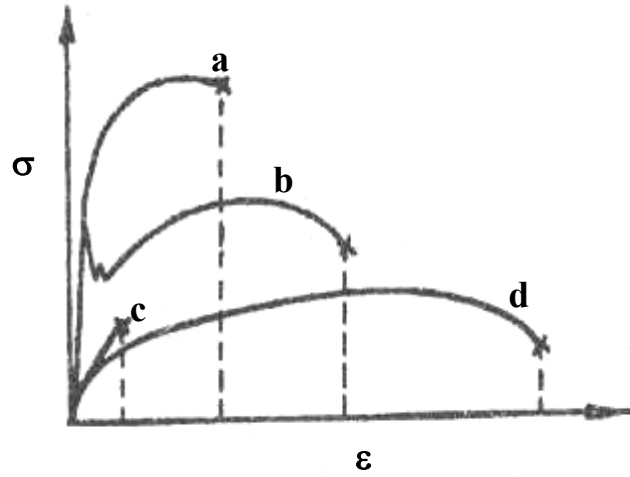


Şekil 5. Gerilme-birim uzama eğrisinin altındaki alan şekil değişimi için gerekli enerjiyi (tokluğu) vermektedir.

C60 çeliğinin çeşitli durumları için çekme diyagramları Şekil 6'da verilmiştir. Bu şekilden, söz konusu çeliğin (a) durumunda gevrek ancak, (b) ve (c)'ye göre rezilyansının daha fazla olduğu görülmektedir. Çoğunlukla sünek malzeme tok olur. Ancak, (b) ve (c) eğrilerinin karşılaştırılmasından, süneklik ve tokluğun daima aynı yönde değişmediği yani (c) durumunda süneklik biraz azaldığı halde, tokluğun arttığı görülmektedir. Şekil 7'de çeşitli malzemelere ait çekme diyagramları verilmiştir.



Şekil 6. C60 çeliğinin çeşitli durumları için çekme diyagramları



Şekil 7. Çeşitli malzemelerin çekme diyagramları

- a) Yüksek mukavemetli çelik (yarı sünek).
- b) Yumuşak çelik (sünek).
- c) Kır dökme demir (gevrek).
- d) Tavlanmış bakır (sünek).

1.4. Çekme Deneyinin Genel Değerlendirilmesi

Çekme deneyi sonucunda, çekme diyagramı, (σ - ϵ eğrisi) elde edilerek, malzemenin akma ve çekme dayanımı gibi mukavemet değerleri ile kopma uzaması ve kopma büzülmesi gibi süneklik değerleri belirlenmektedir. Söz konusu değerler, malzemenin cinsine, kimyasal bileşimine ve metalografik yapısına bağlıdır. Metalografik yapı ise malzemeye uygulanan ısıtma işlemine bağlıdır. Dolayısıyla, ısıtma işlemi bir malzemenin hem yapısını, hem de özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle, endüstride uygulanan ısıtma işlemlerin malzemelerin mekanik özelliklerine etkileri çekme deneyi ile incelenebilir.

Buraya kadar, çekme numunesinin son durumu ile ilk durumunun karşılaştırılması ile elde edilen mühendislik veya teknolojik gerilme (σ_m) uzama (ϵ) eğrileri incelendi. Ancak, ilk durum deney süresince devamlı değişime uğradığından özellikle plastik şekil değişimi için, Her noktadaki gerilme ve birim şekil değişiminin o andaki boyuta göre hesap edilmesi daha uygundur. Bu nedenle, mühendislik gerilmesi ve mühendislik birim şekil değişiminden farklı olarak gerçek gerilme (σ_g) ve gerçek birim şekil değiştirme (ϵ) tanımlanır. Bilindiği gibi, mühendislik gerilmesi (σ_m) = F_i / A_0 formülü ile hesaplanır. Buradaki F_i deformasyonun herhangi bir i anında numuneye etki eden kuvvet, A_0 ise numunenin ilk kesit alanıdır.

Mühendislik veya teknolojik birim şekil değiştirme ise;

$$e = \int_{l_0}^{l_i} \frac{dl}{l_0} = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada da, l_0 numunenin ilk uzunluğu, l_i ise herhangi bir i anındaki uzunluğudur.

Gerçek gerilme (σ_g), uygulanan kuvvetin deney parçasının o andaki en küçük kesit alanına bölünmesi ile elde edilir ve $\sigma_g = F_i / A_i$ bağıntısı ile hesaplanır.

Burada F_i deformasyonun herhangi bir i anında numuneye etki eden kuvvet, A_i ise kuvvetin uygulandığı andaki deney numunesinin kesit alanıdır. Gerçek birim uzama (ε), deney parçasının boyundaki küçük dl değişiminin o andaki l boyuna oranının integrali olarak tanımlanabilir ve

$$\varepsilon = \int_{l_0}^{l_i} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_i}{l_0}$$

bağıntısı ile belirlenir. Buradan hareketle ve plastik şekil değişimi sırasında numunenin hacminin (V) değişmediği, yani;

$A_0.l_0 = A_i.l_i = V$ olduğu düşünülerek; $A_i = A_0.l_0 / l_i$ olarak bulunur.

Mühendislik birim uzaması (e) = $\frac{l_i - l_0}{l_0} \Rightarrow \frac{l_i}{l_0} = 1 + e$ olur. Buradan,

Gerçek gerilme: (σ_g) = $\frac{F_i}{A_i} = \frac{F_i l_i}{l_0} = \frac{F_i}{A_0} \times \frac{l_i}{l_0} = \sigma_m (1 + e)$ olarak bulunur.

Gerçek uzama: (ε) = $\ln \frac{l_i}{l_0} = \ln(1 + e)$

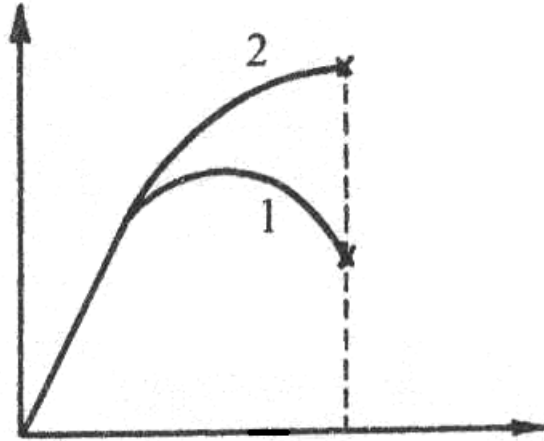
olarak yazılabilir. Sonuçta gerçek ve mühendislik değerler arasındaki ilişki;

$$\sigma = \sigma_m (1 + e), \varepsilon = \ln(1 + e)$$

şeklinde yazılabilir.

Herhangi bir malzemeye ait mühendislik ve gerçek gerilme-birim uzama eğrileri Şekil 8’de verilmiştir.

Şekil 8. Mühendislik ve gerçek gerilme-birim uzama eğrileri:



(1) $\sigma_m - e$ ve (2) $\sigma_g - \varepsilon$

Her iki eğri birim uzamanın küçük değerleri için aynı kabul edilir.

Yukarıdaki şekilden görüldüğü gibi, gerçek gerilme kopma noktasına kadar sürekli artmakta olduğu görülmekte, böylece malzemenin büzülmede de dahil olmak üzere, plastik şekil değiştirme sırasında sertleştiği anlaşılmaktadır. Bu tür sertleşmeye pekleşme veya deformasyon sertleşmesi adı verilir. Dikkati çeken başka bir özellik, söz konusu eğrinin eğiminin ($d\sigma_g/d\varepsilon$) gittikçe azalması yani pekleşme derecesinin küçülmesidir. Bu prensiplerin ışığı altında, 2 numaralı eğrinin ($\sigma_m - e$) oluşmasında rol oynayan iki etkenden söz edilebilir: Pekleşme ve kesit daralması. Yalnız pekleşme olsaydı, e arttıkça σ_m ’in artması gerekirdi. Buna karşılık yalnız kesit daralması olsaydı, e arttıkça σ_m ’in azalması gerekirdi. $\sigma_m - e$ eğrisinde, maksimum noktaya kadar pekleşme etkisi ağır basar. Ancak, pekleşme derecesi devamlı küçüldüğünden, maksimum noktada pekleşme etkisi kesit daralması etkisine eşit olur. Bu noktadan sonra ise; kesit daralması etkisi daha üstün duruma geçer, yani deney parçasının işleme veya malzeme hatasından dolayı zayıf bir kesiti bir an için daha fazla şekil değişimine uğrarsa bile, bu bölge derhal pekleşir ve dolayısıyla diğer bölgeler denge sağlayıncaya kadar şekil değiştirmeye devam eder (homojen şekil değiştirme veya pilastik denge). Oysa maksimum noktadan sonra pekleşmenin etkinliği azaldığından, herhangi bir noktadaki kesit daralması sürekli duruma geçer ve tüm şekil değiştirme bu bölgede yoğunlaşır (büzülme veya plastik dengesizlik).

Basit bir çekme deneyi sonucunda elde edilen gerçek gerilme (σ_g)-gerçek birim şekil değiştirme eğrisine genellikle "plastik akış" eğrisi adı verilir. Zira bu eğri, belirli bir deformasyon oranı için metalin plastik olarak akışını sağlayacak gerilmeleri vermektedir. $\sigma_g - \varepsilon$ eğrisinin, numunenin her bölgesindeki homojen plastik deformasyonunu karakterize eden kısmı, matematiksel olarak:

$$\sigma_g = K \cdot \varepsilon^n$$

Bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada n deformasyon sertleşmesi üssü, K ise mukavemet katsayısı olup, $\varepsilon = 1$ için elde edilen gerilmeye eşdeğerdir.

1.5 Raporda İstenenler

Rapor TS 88 A4 ebatlarında beyaz dosya kâğıdına mavi veya siyah mürekkepli kalemle yazılacaktır. Kağıdın sol ve üst kenarında 3 cm, sağ ve alt kenarda 2.5 cm boşluk bırakılacaktır.

Rapor; kapak, irdeleme, deneyin amacı, konu ile ilgili teorik bilgiler, deneysel çalışmalar, sonuçlar ve kaynaklar bölümlerini içerecektir. Her bölümde bölüm başlıkları büyük harfle yazılarak desimal sisteme göre numaralandırılacaktır.

Raporda ölçme sonuçları tablolar halinde verilmelidir. Anlatımda "ölçüldü, bulundu, hesaplandı" gibi ifadeler kullanılmalıdır.

Sonuçlar bölümünde incelenen numuneler için çekme diyagramlarının çizilmesi gerekir. Teorik bilgiler için elinizdeki föyden faydalanabilirsiniz.

1.6 Kaynaklar

[1] Savaşkan, T., Küçükömeroğlu, T., Turhal, Ş., "Tahribatlı Malzeme Muayenesi Labaratuvarı Çekme Deneyi Notları", K.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Trabzon, Mart 1996.

[2] Kayalı E. S. ve Çimenoglu, H., "Malzemelerin Yapısı ve Mekanik Davranışları" İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, 1986.

[3] Kayalı E. S., Ensari, C. ve Dikeç F., "Metalik Malzemelerin Mekanik deneyleri" İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, 1990.

[4] McClintock, F.A. and Argon, A.S., "Mechanical Behaviour of Materials", Addison Wesley Publishing Co. Inc., Reading-Massachusetts, USA, 1966.

[5] Dieter, G. E., "Mechanical Metallurgy" McGrawHill, Inc., New York, USA, 1976.

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
LABORATUVAR FÖYÜ

ELEK ANALİZİ DENEYİ

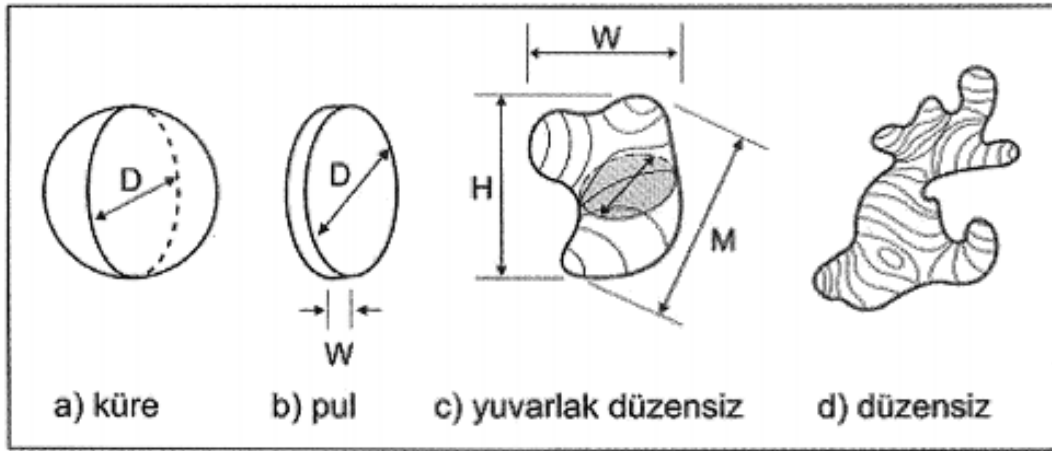
BAHAR, 2026

1. TEORİK BİLGİLER

Toz metalurjisi teknolojileri parçacıkların bir araya gelmesiyle oluşan tozlarla başlar. Parçacık, tozun bölünemeyen en küçük birimidir. Toz işleme teknolojileri genellikle dumandan daha büyük (0,01-1 mikrometre), fakat kumdan daha küçük (0,1-3 mm) parçacıklarla ilgilenir. Kullanılan tozların çoğu, insan saçı çapı ölçüsündedir (25-200 mikrometre). Toz metalurjisi ile imal edilen parçaların özelliklerini büyük oranda bu parçaların imalinde kullanılan tozların sahip olduğu özellikler belirlemektedir. Toz boyutu, toz şekli, görünür yoğunluk, akış hızı, sıkıştırılabilirlik, ham mukavemet ve sertlik tozların fiziksel özelliklerinden bazılarıdır.

1. 1. Parçacık Boyut Ölçümü

Parçacık boyutu toz metalurjisinin en önemli özelliklerinden birisidir. Parçacık boyut analizi çeşitli tekniklerle gerçekleştirilebilir. Ancak, ölçülen parametrelerdeki farklılıklar nedeniyle, çeşitli tekniklerinin aynı sonucu vermedikleri bilinmelidir. Parçacık boyutunu ölçen cihazların çoğu tek bir geometrik parametreyi ölçer ve parçacık şeklinin küresel olduğunu kabul eder. Şekil 1'de örnek boyut parametreleri verilmiştir. Küresel bir parçacık için boyut tek bir parametre olup, çap olarak verilir. Ancak, parçacık şekli daha karmaşık olduğunda, boyutu tek bir parametre ile belirlemek zordur. Yassı veya pul şeklinde parçacık göz önüne alındığında (Şekil 1-b) boyutu tanımlamak için çap ve genişliğin her ikisi de gereklidir. Şekil daha düzensiz olduğunda, olası boyut parametrelerinin sayısı artar.



Şekil 1. Tozlarda örnek boyut parametreleri

Toz boyutunu ölçmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Her bir yöntemin özelliği farklı olduğundan ölçüm sonuçları arasında farklılıklar bulunabilir. Toz boyut ölçüm yöntemleri şunlardır:

1. Elek analizi
2. Mikroskop ile inceleme
3. Sedimentasyon
4. Işık saçılımı ve kırınımı

5. Elektriksel alan algılaması

6. Işık engelleme

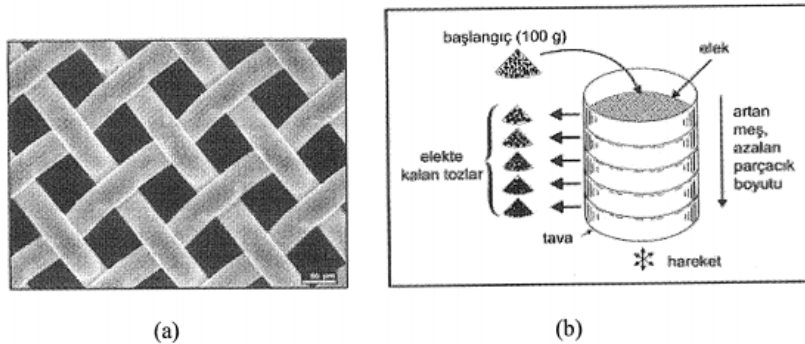
7. X-ışını teknikleri

1. 1. 1. Elek Analizi

Elek analizi yöntemi, büyük parçacıkların boyut dağılımının ölçümünde kullanılan bir tekniktir. Eşit aralıklı tellerden oluşan bir kare ızgara eleği oluşturur (Şekil 2-a). elek boyutu birim uzunluktaki tellerin sayısından belirlenir ve mesh olarak adlandırılır. Açıklık boyutu, elek boyutu ile ters orantılı olarak değişir. Büyük elek değeri (325 mesh gibi), küçük açıklık değerini (325 mikrometre) gösterir. Elek boyutunun belirlenmesinde en yaygın Kabul, bir inçteki tel sayısıdır. Örneğin 200 elek, doğrusal bir inçteki 200 teli ifade eder. Elek boyutları çok küçük açıklık boyutlarına gidemez. Parçacık topaklanması ve parçacıkların eleğe adhezyonu sebebiyle çok küçük açıklığa sahip elekler kullanılmaz. Sonuç olarak elek analizi genellikle 38 mikrometre'den daha büyük parçacıklara uygulanır.

Elek analizi, eleklerin azalan elek açıklıklarında istiflenmesiyle başlar (Şekil 2-b). en küçük açıklık boyutu en alttadır. Toz, en üstteki eleğe konur ve elek takımı 15 dakika süre ile sarsılır. Parçacık boyut analizi için 20 cm çapında elekler kullanıldığında, 100 g toz numunesi genellikle yeterlidir. Titreşimden sonra, her bir boyut aralığındaki toz miktarı tartılır ve aralıktaki yüzde, her bir bölüm için hesaplanır. Bir elekten geçen toz – işareti ile, eleğin üzerinde kalan ise + işareti ile belirtilir. Örneğin, -100/+200 eleklik toz, 100 boyutlu bir elekten geçmiş, fakat 200 boyutlu elekten geçmemiştir. Dolayısıyla parçacıklar 10 mikrometre ile 75 mikrometre boyut aralığındadır. 45 mikrometreden (-325 mesh) küçük tozlar genellikle elek altı toz olarak adlandırılır.

Çok kısa eleme süresi, küçük parçacıkların elek serisinin tamamından geçmesi için yetersiz olacaktır. Çok uzun eleme süresi ise parçacıkları aşındıracak, boyut dağılımını belirgin biçimde daha küçük boyutlara kaydıracaktır. Diğer taraftan, çok küçük elek açıklıklarında yapılan aşırı yükleme tozun elek açıklıklarından geçişine engel olacaktır. Bu durum ise, boyuta ait verileri daha büyük toz boyutu lehine büyütür. Bu zorluklar sebebiyle, standartlaştırılmış test yöntemi kullanılır. Testin tekrarlanabilirliği (aynı kişi aynı test) %1'lik değişim ile iyidir.



Şekil 2. A) Elek analizinde kullanılan 200 mesh eleğin tel örgüsü, b) Elek analizinde kullanılan elekler ve kullanım esasları

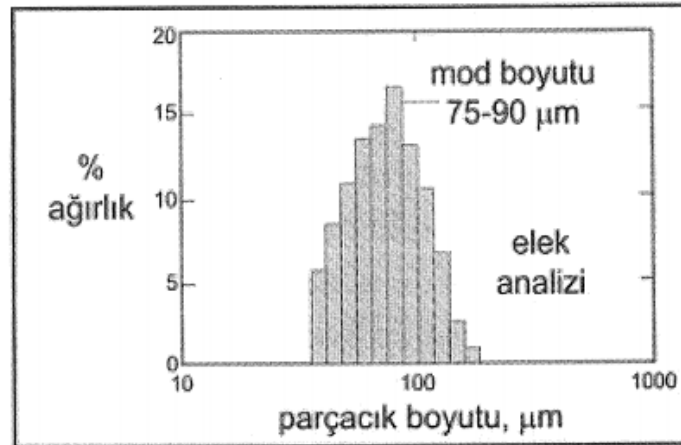
1. 1. 2. Parçacık Boyutu Verileri

Parçacık boyut verileri toplandıktan sonra dağılım analiz edilir. Parçacık boyut dağılımı, her bir boyut artışıdaki parçacıkların miktarını gösteren bir histogram veya frekans grafiği olarak verilir. Örnek bir eleme işleminden sonra her bir elekte kalan toz ağırlığını gösteren sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. Analizdeki ilk iş, her bir kademedeki ağırlığı toplam numune ağırlığına bölerek verileri kademeli yüzdelere çevirmektir. Bu veriler için histogram, elek açıklık boyutuna karşı kademeli yüzdelere çizilerek oluşturulur. Böyle bir çizim Şekil 3’te verilmiştir.

Tablo 1. Örnek parçacık boyut dağılım verileri

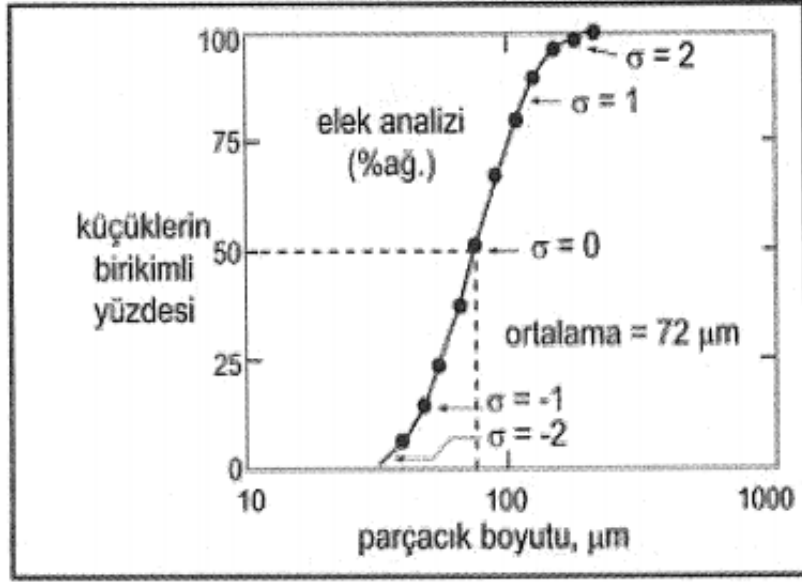
elek boyutu	açıklık μm	kalan ağırlık, g	aralık yüzdesi	birikimli yüzde
70	212	0,0	0,0	0,0
80	180	1,1	0,9	0,9
100	150	3,0	2,5	3,3
120	125	8,7	7,1	10,4
140	106	13,2	10,8	21,2
170	90	16,5	13,5	34,7
200	75	20,8	17,0	51,7
230	63	18,0	14,7	66,4
270	53	16,9	13,8	80,2
325	45	13,6	11,1	91,3
400	38	10,8	8,8	100,0
500	25	0,0	0,0	100,0

toplam ağırlık = 122,6 g



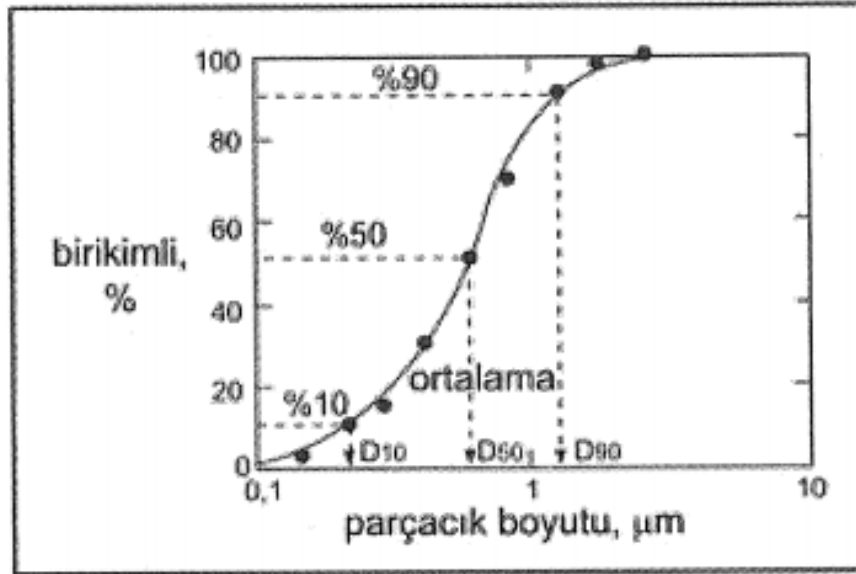
Şekil 3. Tablo 1’deki verilere göre çizilen logaritmik esaslı histogram

Kümülatif parçacık boyut dağılımı aralıktaki yüzdeleri toplayarak oluşturulur. Düzgün bir kümülatif parçacık boyut dağılımında, ortalama toz boyutu %50 değerine karşılık gelir. Histogram grafiğinde en yüksek tepe nokta olan parçacık boyutu modu en çok tekrar eden boyuta denk gelir. Şekil 4’de Tablo 1’deki veriler kullanılarak çizilen kümülatif parçacık boyut dağılımı grafiği verilmiştir.



Şekil 4. Tablo 1'deki verilere göre çizilen kümülatif parçacık boyut dağılımı

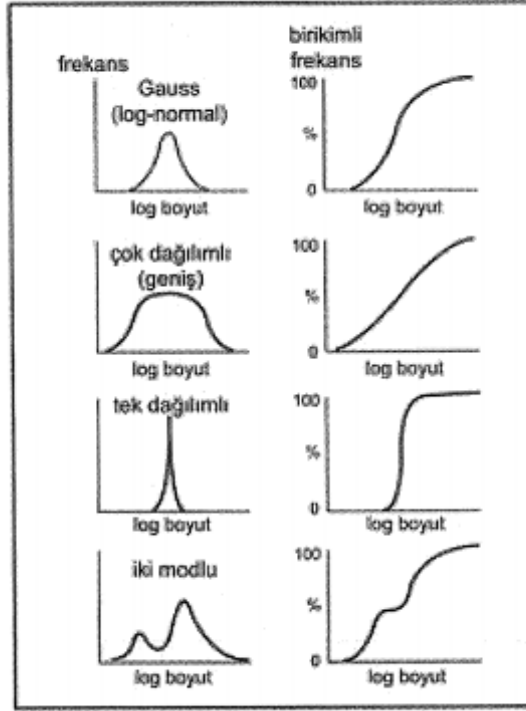
Kümülatif parçacık boyut dağılımı grafiğinde üç farklı boyutu belirlemek yaygın şekilde uygulana bir işlemdir. Bunlar %10, %50 ve %90 kümülatif yüzdeye karşılık gelen boyutlardır ve D10, D50 ve D90 olarak belirtilirler. Bu üç nokta Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Kümülatif boyut dağılımı eğrisinde %10, %50 ve %90'daki parçacık boyutlarına karşılık gelen D10, D50 ve D90 parçacık boyutları

1. 1. 3. Yaygın Dağılımlar

Parçacık boyut dağılımları, Şekil 3'te verilenin aksine, çok farklı şekillerde oluşabilir. Bununla ilgili bazı örnekler Şekil 6'da verilmiştir. Burada, normal dağılım yanında geniş aralıklı (çok dağılımlı), dar (tek boyutlu) dağılımlı ve iki tepe noktasına sahip iki modlu dağılımlar gösterilmiştir.



Şekil 6. Farklı şekillerde oluşan parçacık boyut dağılımının kümülatif ve frekans grafikleri

1. 2. Deneylerde Kullanılacak Alet ve Malzemeler

1. Elek serisi (ASTM E 11 standardında)
2. Sarsma aleti
3. Elektronik tartı (0,1 mg duyarlılıklı)
4. Elek analizi yapılacak toz numune

1. 3. Deneyin Yapılışı

1. Elekler en altta tava olacak şekilde elek açıklık boyutuna göre küçük elek boyutundan büyüğe doğru alttan yukarıya doğru sıralanır.
2. Elek analizi yapılacak toz numune tartılır.
3. Hazırlanan elek seti, elek sarsma makinesine yerleştirilir.
4. Elek setinin en üstündeki eleğe eklenecek toz numune dökülür.
5. Elek setinin kapağı kapatılarak vidaları sıkılır.
6. Elek sarsma makinesi 15 dakika süre ve uygun titreşimde çalıştırılır.
7. Eleme işlemi sonucunda elek seti sarsma makinesinden alınarak, her elek üstünde kalan toz miktarı tartılıp Tablo 2'ye kaydedilir.
8. Toplam elenmiş madde miktarını Tablo 2'ye kaydedilir.

9. Elde edilen veriler Şekil 3 ve Şekil 4 'de gösterilen frekans ve kümülatif dağılım grafiklerine aktarılarak parçacık boyut dağılımı ve ortalama parçacık boyutu bulunur.

KAYNAKLAR

1 German, R. M. “ Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri”, Türk Toz Metalurjisi Derneği, Temmuz, Ankara, 2007

2 German, R. M. “Powder Metallurgy Science”, 2nd edition, Metal Powder Industries Federation, USA, 1984

3 Metals Handbook, 9th ed., Vol. 7, Ohio, 1984, 14-20

Elek Boyutu		Elek üstü ağırlık (g)	Ağırlı yüzdesi (%)	Kümülatif Yüzde (%)
Mesh No	Açıklık (µm)			
35	500			
45	355			
60	250			
80	180			
120	125			
170	90			
230	63			
325	45			
Tava				

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
LABORATUVAR FÖYÜ

SERTLİK DENEYİ

BAHAR, 2026

1. SERTLİK ÖLÇME DENEYİ

1.1 Deneyin Amacı

Malzemelerin kullanımları için bilinmesi gereken sertlik değerlerinin ölçümü hakkında temel bilgileri vermektir.

2. Deneyle İlgili Genel Bilgiler

2.1 Giriş

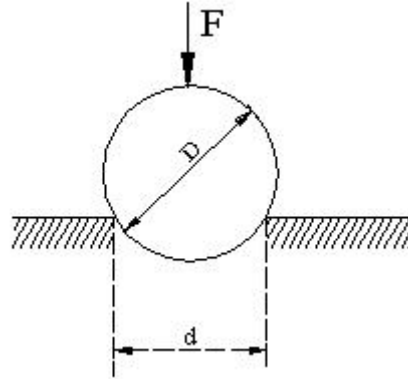
Bir malzemenin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence *sertlik* denir. Bilimsel anlamda ise, bir malzemenin dislokasyon hareketine veya plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç sertlik olarak ifade edilir. Sertlik deneyinde, bir malzemenin yüzeyine batırılan bir uca karşı gösterdiği direnç ölçülür. Batıcı uçlar bilya, piramit veya koni biçiminde olup, genellikle sertleştirilmiş çelik, sinterlenmiş tungsten karbür veya elmas gibi, sertliği deney malzemesinin sertliğinden çok daha yüksek olan malzemelerden yapılır. Standart deneylerin çoğunda yük, batıcı ucu malzeme yüzeyine dik doğrultuda ve yavaş yavaş bastırarak şekilde uygulanır. Sertlik ölçümünde dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Örneğin; sertlik numunelerinin ölçme ve oturma yüzeylerinin düzgün ve birbirine paralel olmaları gerekir. Sertlik numunelerinin kalınlığı, iz derinliğinin en az 10 katı olmalıdır. Batıcı uç, numune kenarlarına yakın bölgelere uygulanmamalı ve izler arasında iz çapının veya ortalama köşegen uzunluğunun en az üç katı kadar bir uzaklık bulunmalıdır. Malzemenin sertliği, uygulanan yüke bağlı olarak, ya numune yüzeyinde oluşan izin yüzey alanına, ya da batıcı ucun batma derinliğine göre belirlenir. Genelde sertlik; uygulanan yükün numunede oluşan kalıcı izin yüzey alanına bölünmesiyle bulunur. Günümüzde en çok Brinell, Vickers ve Rockwell sertlik ölçme yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak, bunlardan başka sertlik ölçme yöntemleri de vardır. Örneğin; Knoop sertlik ölçme yöntemi Kuzey Amerika'da yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2 Brinell Sertlik Deneyi

Bu deneyde sertlik, sertleştirilmiş çelik veya tungsten karbürden yapılan bir bilyanın, sertliği ölçülecek malzemeye genellikle 30 saniye müddetle ve belirli bir yükü bastırılması yoluyla saptanır. Uygulanan yük (F), malzeme yüzeyinde oluşan izin küresel yüzey alanına (A) bölünerek, Brinell Sertlik Değeri (BSD) bulunur. Yüzey alanı ve Brinell Sertlik Değeri aşağıdaki bağıntılar ile belirlenir. Brinell sertlik deneyinin prensip şeması Şekil 1'de görülmektedir.

$$A = \frac{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}{2}$$

$$BSD = \frac{2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$



Şekil 1. Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi

Burada F uygulanan yükü, D bilya çapını, d ise iz çapını gösterir. Deneme yükü, $F=kD^2$ bağıntısı ile belirlenir ve $(d/D)=0.2-0.7$ olacak şekilde seçilir. Sertliği ölçülecek parça kalınlığı $D/2$ 'den küçük olmamalıdır. Çizelgede en çok kullanılan F, D, ve k değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 1. Brinell sertliğinin ölçülmesinde en çok kullanılan yükler ve bilya çapları

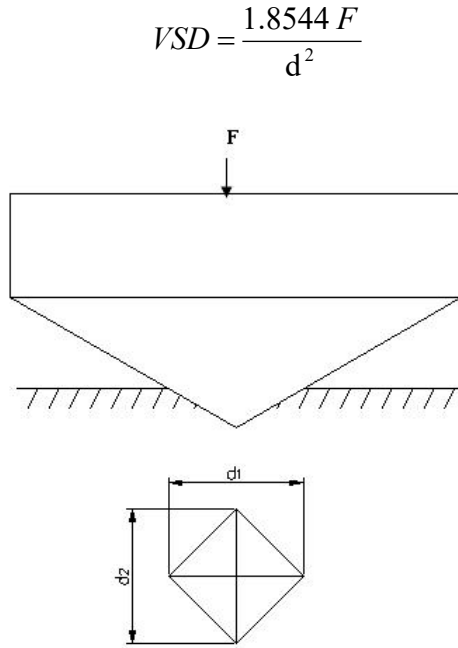
D [mm]	F (kg-f)			
	k=30	k=10	k=5	k=2.5
10	3000	1000	500	250
5	750	250	125	62.5
2.5	187.5	62.5	31.25	15.625
Kısa gösterilişi	BS 30	BS 10	BS 5	BS 2.5

Farklı bilya çapı (D) ile bulunan sertlik değerlerinden yalnız k'ları aynı olanlar birbirleriyle karşılaştırılabilir. Genellikle çelik, dökme demir ve alaşımları $30D^2$; bakır ve alaşımları $10 D^2$; Alüminyum ve alaşımları $5D^2$ veya $2.5D^2$; çok yumuşak metaller (kurşun, kalay, beyaz yatak metalleri) $1D^2$ 'lik yüklerle denenirler. Çelik bilya ile ancak 400 kg-f/mm^2 ye kadar olan sertlik değerleri doğru olarak ölçülebilir. Daha büyük sertlikler için sinterlenmiş karbürden yapılan bilyalar kullanılabilir. Brinell sertlik değeri Türk Standartlarında BSD ile, Milletlerarası Standartlarda ise HB ile gösterilir.

2.3 Vickers Sertlik Deneyi

Bu yöntemde, piramit biçiminde ve tabanı kare olan batıcı uç kullanılır. Elmaştan yapılan piramidin tepe açısı 136 derecedir. Vickers sertlik deneyi; söz konusu batıcı ucun, malzemenin yüzeyine, malzeme cinsine göre seçilen bir yük altında, belirli bir süre batırılması ile oluşan izin köşegen uzunluklarının ölçülmesinden ibarettir.

Vickers Sertlik Değeri (VSD); uygulanan yükün (F), oluşan izin alanına bölünmesi anlamına gelen bağıntısı ile bulunur. Burada; d izin köşegen uzunluğu olup $d=(d_1+d_2)/2$ bağıntısı ile bulunur. Vickers sertlik ölçme prensibi Şekil 2’de görülmektedir.

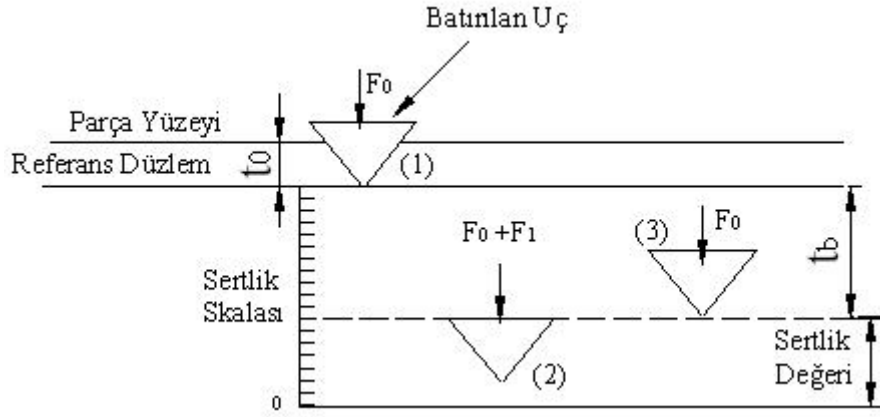


Şekil 2. Vickers sertlik ölçme prensibi

Köşegen uzunluğu, sertliği ölçülen parça veya tabaka kalınlığının en çok üçte ikisi kadar olmalıdır. Yük 1 ile 120 kg-f arasında; genellikle 10-30 ya da 60 kg-f olarak seçilir. Vickers metodu çok küçük bölge veya çok ince tabakaların sertliğinin saptanmasında büyük üstünlüğe sahiptir. Vickers sertlik değeri Türk Standartlarında VSD ile, Milletlerarası Standartlarda ise HV ile gösterilir.

2.4 Rockwell Sertlik Deneyi

Rockwell sertlik değeri, yükün üç kademe olarak uygulanması neticesinde tespit edilir. Sertliği ölçülecek parça ile, test ucu arasındaki tam teması sağlamak ve cihazın ölçme mekanizmasındaki boşlukları gidermek amacıyla bir F_0 ön yükü uygulanmasıyla, uç, ölçme parçasına bir t_0 miktarı batar (Durum 1). Bu derinlik, Rockwell sertlik skalası için , referans düzlemi olarak alınır. F_0 dan en az 4 kat büyük olan F_1 deney yükünün eklenmesi ile uç, $(F_0 + F_1)$ toplam yükün etkisi altında, malzemeye, tayin edilmiş belirli bir zaman (15 saniye gibi) bastırılır (Durum 2). Bu süre sona erince , F_1 yükü kaldırılır; uç şimdi malzemeye tekrar F_0 yükü ile etki etmektedir (Durum 3). Ön yükün (F_0) ilk ve son uygulanması arasında , kalıcı bir batma derinliği (t_b) meydana gelir. Deneyin yapılışı, Şekil 3’te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. Rockwell sertlik ölçme prensibi

Rockwell sertlik değeri; ön yükün ilk ve son uygulanması arasındaki kalıcı batma derinliğinin karşılık geldiği Rockwell sertlik skala parçasının, referans sayısından çıkarılması ile elde edilen değerdir. Sertlik skalasının başlangıcı (sıfırı) alt taraftadır ve t_b küçüldükçe sertlik değeri artar. Batma derinliği büyüdükçe, sertlik değeri azalır. Batıcı uç olarak ya elmas koni, ya da çelik bilya kullanılır. Elmas koninin tepe açısı 120° olup, tepe noktası yarı çapı 0.2 mm olan bir küre parçasından oluşur. Bilya tipindeki batıcı uçların çapları yaklaşık 1.6 mm, 3.2 mm, 6.35 mm ve 12.7 mm olabilir. Rockwell sertlik ölçme metodunda 28 değişik malzeme sertlikleri için, çok geniş sertlik ölçme imkanları tanımlanmıştır. Bununla beraber, en fazla kullanılan ve genel maksatları karşılayan 3 ölçme, Rockwell A, B, C ölçmeleridir.

2.4.1 Rockwell A (HRA)

Test ucu elmas koni, tepe açısı 120° , tepe yuvarlatılmış, ön yük 10 kg, esas yük 50 kg olmak üzere toplam 60 kg yük ölçme parçasına uygulanır. Bu metotla ince malzemelerin ve yüzey sertleştirilmesi yapılmış çeliklerin sertlikleri ölçülür.

2.4.2 Rockwell B (HRB)

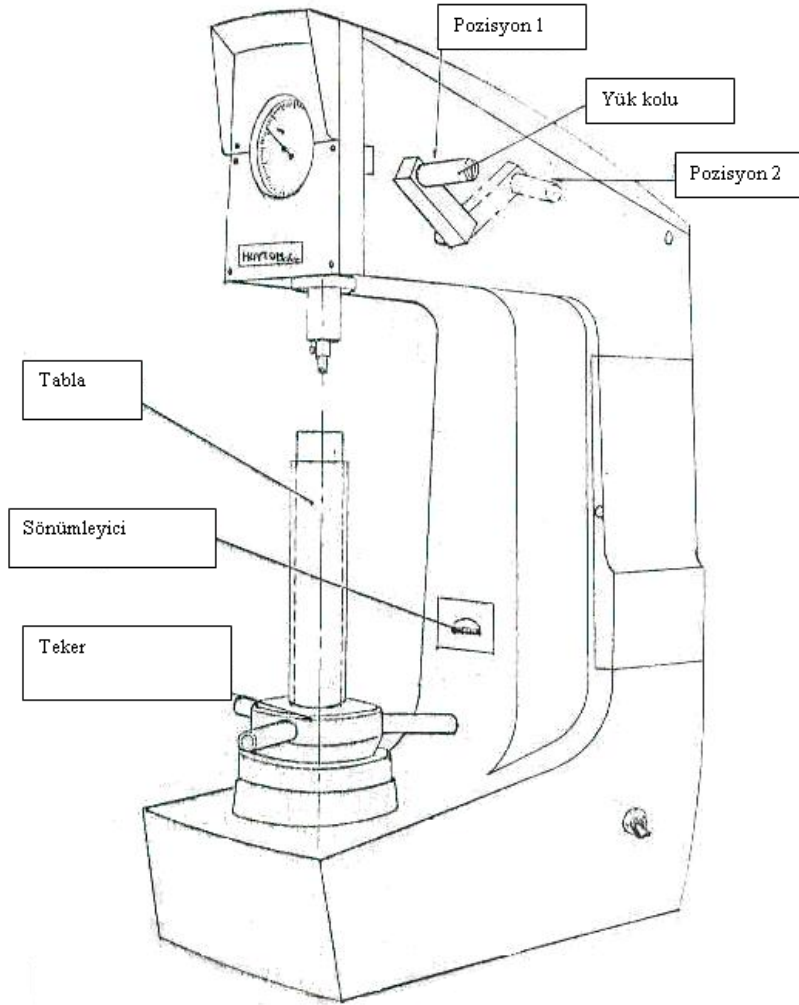
Test ucu çelik bilya olup çapı 1.5875 mm'dir. Sertlik skalası referans sayısı 0-130 arasındadır. Sertlik birimi başına batma derinliği 0.002 mm'dir. Test yükü, ön yük 10 kg, esas yük 90 kg olmak üzere toplam 100 kg'dır. Bu metot, düşük karbonlu çelikler, sertleştirilmemiş dökme demirler ve çelikler, pirinç gibi bakır alaşımları, alüminyum alaşımları ve diğer demir dışı alaşımların sertlik ölçmelerinde kullanılır. 35-100 HRB arasındaki neticeler geçerlidir.

2.4.3 Rockwell C (HRC)

Test ucu elmas koni, tepe açısı 120° , tepe yuvarlatılmış sertlik skalası referans sayısı 0-100 arasındadır. Sertlik birimi başına batma derinliği 0.002 mm'dir. Test yükü, ön yük 10 kg, esas yük 140 kg olmak üzere toplam 150 kg'dır. Bu metot, su verilmiş (sertleştirilmiş) ve menevişlenmiş orta ve yüksek karbonlu çeliklerin kalite kontrolünde yaygın olarak kullanılır. 20-70 HRC arasındaki neticeler geçerlidir.

2.3 Kullanılan Cihaz

Deney, Hoytom marka standart sertlik ölçme cihazı kullanılarak yapılacaktır. Cihaz ana hatları ile,yük uygulama ünitesi, değerleri gösteren skalalar ve uçların takıldığı mekanizmayı taşıyan kafa ve numunenin konduğu tabla ve ağırlıkların yerleştirildiği bölümü taşıyan gövde kısımdan oluşmaktadır. Kütlesi 133 kg'dır. Ölçme cihazı, Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Standart sertlik ölçme cihazı

2.4 Deneyin Yapılışı

Cihaz ile Rockwell A,B,C deneyleri, uçlar değiştirilerek de Brinell ve Vickers deneyleri yapılabilir. İki çeşit gösterge skalası vardır; kırmızı ve siyah. Rockwell A ve C deneyleri yapılırken siyah skala, Rockwell B yapılırken de kırmızı skala kullanılmaktadır.Yapılacak deney çeşidine uygun uç takılır. Gerekli ağırlıklar yerleştirilir, sertliği incelenecek numune, gerekiyorsa yardımcı aparata yerleştirilerek tablaya konur. Tabla, teker döndürülerek yukarıya doğru çıkarılır ve numune ile ucun temas etmesi sağlanır. Skala sıfırlanıncaya kadar yük kolu sağa döndürülür (ön yükleme). Sonra yük kolu solu doğru döndürülerek serbest bırakılır ve skala ibresi duruncaya kadar beklenir. İbre durunca gösterdiği değer okunur ve bu değer numunenin Rockwell sertliğini belirler. Daha sonra tabla aşağı doğru hareket ettirilerek eski konumuna getirilir. Vickers deneyi yapmak için

piramit uç takılır, Rockwell'deki işlemler tekrar edilir, numune üzerinde oluşan izin köşegen uzunluğu büyüteçle okunur, bu değer formülde kullanılarak sertlik değeri elde edilir.

2.5 Raporda istenenler

Raporda; deney esnasındaki gözlemlerinizi dahil olmak üzere deneyin nasıl yapıldığı anlatılarak, okunan değer belirtilecek ve Brinell ve Vickers sertlik değerleri hesaplanacaktır.

2.6 Kaynaklar

[1] Şefik Güleç, “Malzeme Ders Notları”, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, 1985.

[2] Temel Savaşkan, “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, Derya Kitabevi, Trabzon, 1999.

[3] Erdoğan Kayıran, “Malzeme: Teori ve Pratik”, İskenderun, 1999.

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
LABORATUVAR FÖYÜ

SERAMİK ÇAMURUNUN DÖKÜM HIZI DENEYİ

BAHAR, 2026

SERAMİK ÇAMUR DÖKÜM HIZI TESTİ

DENEYİN AMACI

Seramik döküm çamurunun alçı kalıpta kalınlık alma hızını belirlemektir.

TEORİK BİLGİ

Alçı kalıp

Alçı kalıp çeşitleri

- a) Model kalıp, modelin kalıbına model kalıp denir.
- b) Teksir kalıp, model kalıbın kalıbına teksir kalıp denir.
- c) İş kalıbı, ürünün çoğaltılmasında kullanılan kalıba iş kalıbı denir. Keramik çamurunun döküm yapıldığı kalıptır.

Alçı kalıp hazırlama

Alçı kalıp hazırlamak için paris alçısı ve su kullanılır.

Alçı kalıp karışım oranları aşağıda verilmiştir.

- a) Alçı miktarı % 60 dir.
- b) Su miktarı % 40 dir.

Alçı kalıp porozitesi

Alçı kalıp, kuru iken kılcal (kapiler) boşluklar içerir. Bu boşluklar, döküm sırasında çamurun suyunu aBsorbe eder (emer). Alçı kalıbın porozite oranı alçı kalıp hazırlama sırasında alçıya eklenen su miktarı ile belirlenir. Keramik çamurunun dökümü sırasında alçı kalıp ıslak olduğu zaman kalınlık alma süresi uzar. Bu nedenle alçı kalıplar, fırında kurutulur.

Alçı kalıbın sabitlenmesi

Alçı kalıplar, ürünün kalıptan kolay çıkartılması için iki veya daha fazla parçalı olması gerekir. Parçalar birbirine kilit, işkence veya lastik ile bağlanarak sabitlenir. Parçalar arası boşluk varsa, çamurla ile sıvanarak kapatılır.

Seramik döküm çamuru

Akıcılığı yüksek olan çamura, seramik döküm çamuru denir. Döküm çamuru katı ve sıvı malzemelerden oluşur.

Çamurundaki katı malzemeler (% 65 – 75 katı)

- a) Kil mineralleri (kaolinit, klorit, illit vb.) (yaklaşık % 50)
- b) Albit minerali (feldspat minerali)
- c) Kuvars minerali

Çamurdaki sıvı malzeme (% 25 – 35 sıvı)

- a) Musluk suyu

Çamurun katı oranı (%65 – 75) yüksek olduğu için akıcılığı düşüktür. Çamurun kalıba dökülmesi ve kalıptan geri boşaltılması işlemlerini, çamurun akıcılığı etkiler. Kalıptaki dar alanlara çamurun girebilmesi için çamurun akıcılığı yüksek olmalıdır. Çamurun akıcılık oranı, viskozite ölçümü ile belirlenir. Çamurun katı- sıvı oranı çamurun yoğunluğunun ölçümü ile belirlenir.

Seramik çamurunun yoğunluğu (litre ağırlığı)

Çamurun yoğunluğu, 1 litrelik mezüre çamur konulur ve tartılır. Çamurun yoğunluğu g/L olarak bulunur.

Mezür teraziye konulur ve darası alınır.

Mezür 100 mL çizgisine kadar çamur ile doldurulur ve tartılır.

Buradan g/100mL bulunur.

Çamurun yoğunluğu, boş dökümde 1600 – 1800 g/L arasındadır.



Seramik çamurunun viskozitesi

Çamurun su oranının artması ile çamurun akıcılığı artar. Ancak bu yöntem alçı kalıbın ıslanmasına yol açar. Islak alçı kalıpta yapılan döküm işleminde, kalınlık hızı düşük olmaktadır. Buna ek olarak, kalıbın tekrar kullanılması için kuruma süresi uzun olmaktadır.

Çamurun akıcılığını artırmak için ikinci yöntem deflokülasyon yöntemidir. Bu amaçla, çamura deflokülan (elektrolit) eklenir. Deflokülan, çamurdaki tanelerin birbirini itmelerini sağlar. Böylece çamurdaki taneler homojen dağılır. Buna ek olarak, çamurdaki tanelerin çökmesi önlenir. Deflokülan eklenmesi ile çamurun viskozitesi azalır. Diğer bir ifade ile çamurun akıcılığı artar.

Viskoziteyi etkileyen parametreler

- a) Tane boyutu
- b) Tane şekli
- c) Katı-sıvı oranı
- d) Kil oranı
- e) Kil minerali cinsi
- f) Deflokülan cinsi

Ford cup viskozimetre ile viskozite ölçümü

Viskozimetre delik kısmı kapatılır.

Çamur viskozimetreye doldurulur.

Çamur seviyesi tam dolu olmalıdır.

Delik açılır ve kronometre çalıştırılır.

Çamurun akması sona erdiği zaman kronometre durdurulur.

Bu çamurun viskozitesi saniye/100 mL olarak ölçülür.



ASTM D 1200 viskozite akış kaplarının ve ya DIN 53211-4mm

Şekil. Ford cup viskozimetre

Çamurda Tiksotropi

Çamur karıştırılmadığı zaman akış özelliğinin değişmesidir. Kil tabaklarının birbirine bağlanmaları sonucu tiksotropi oluşur. Çamur karıştırılır ve hemen viskozitesi ölçülür. Buna birinci viskozite denir. Bu çamur karıştırılmadan bir süre bekletilir ve viskozitesi ölçülür. Buna ikinci viskozite denir. Bu iki değer arasındaki farka tiksotropi denir.

Alçı kalıpta çamurun kalınlık alma mekanizması

Boş döküm

Alçı kalıba, çamur doldurulur.

Çamur eksildiği zaman kalıba çamur eklenir.

Çamur kalıpta bir süre (20 dakika) bekletilir.

Bu süre sonunda, kalıptaki çamur tamamen boşaltılır.

Ürün alçı kalıpta 2 saat kurumaya bırakılır.

Bu süre sonunda, alçı kalıp açılır ve seramik ürün çıkartılır.

Seramik ürün oda sıcaklığında 1 gün bekletilir.

Döküm çamuru alçı kalıba döküldüğü zaman çamur içerisindeki su, alçı kalıbın gözenekleri tarafından emilir. Bu emilmeyle birlikte çamur, kalıp yüzeyine doğru hareket eder. Kalıp içine su girer. Ancak çamurdaki taneler geçemezler ve kalıp yüzeyinde toplanırlar. Çamur kalıptan boşaltılana kadar çamurun kalıp yüzeyine hareketi ve yüzeydeki tanelerin toplanması devam eder. Kalıp yüzeyinde toplanan çamur taneleri zamanla bir kalınlık oluşturur. İstenen kalınlığa ulaşmak için çamur kalıpta bir süre bekletilmelidir. Bekleme sırasında çamur eksilecektir. Çünkü çamurun suyu kalıp tarafından devamlı emilmektedir. Bu eksilme, kalıba döküm çamuru ilavesi ile tamamlanmalıdır. İstenilen kalınlık elde edilince kalıptaki çamur boşaltılır. Kalıptaki ürün kurumaya bırakılır. Bir süre sonra kalıp açılarak ürün çıkartılır ve tamamen kuruması için raflara dizilerek kurutucuya konulur.

Çamurun döküm hızı

Döküm hızı, alçı kalıplara dökülen çamurun kalıplarda aldığı kalınlığın zamana bağlı olarak değişimidir. Çamur kalıplara döküldükten sonra hızla kalıplar tarafından suyu emilir ve oluşacak bünye belirli bir hızda kalınlığı alır.

DENEYİN YAPILIŞI

Döküm hızı testi için kupa şeklindeki alçı kalıplar kullanılır.

Döküm hızını belirlemek için 4 adet farklı süre çalışmak için 4 adet alçı kalıp kullanılır. Laboratuvar banko üzerine 4 adet kupa alçı kalıp konulur. Her bir kalıba döküm çamuru tamamen doldurulur. Kalıptaki çamur eksildiği zaman kalıba döküm çamuru eklenir.

- a) Birinci kalıpta çamur 5 dakika bekletilir.
Bu süre sonunda kalıp ters çevrilerek boşaltılır.
- b) İkinci kalıpta çamur 10 dakika bekletilir.
Bu süre sonunda kalıp ters çevrilerek boşaltılır.
- c) Üçüncü kalıpta çamur 15 dakika bekletilir.
Bu süre sonunda kalıp ters çevrilerek boşaltılır.
- d) Dördüncü kalıpta çamur 20 dakika bekletilir.
Bu süre sonunda kalıp ters çevrilerek boşaltılır.

Her bir kalıpta çamur 2 – 3 saat bekletilir. Bu süre sonunda, alçı kalıp açılarak seramik ürün çıkartılır. Seramik ürün oda sıcaklığında 1 gün bekletilir. Seramik ürün etüvde 100 °C sıcaklıkta kurutulur. Etüvden alınan kuru seramik kupa kenarından kumpas ile kalınlık ölçümü yapılır. İki veya üç farklı yerden alınan ölçümün ortalamaları alınır. Bu kalınlık değerleri, döküm hızı tablosunda yerine yazılır. Bu değerlerin kareleri alınarak Tabloda ikinci sütuna yazılır.

Bilgisayarda Excel programı kullanarak x eksenini döküm süresi dakika ve y eksenini kalınlık mm² olarak grafik çizilir.

Bu grafiğin eğiminden döküm hızı mm²/dak olarak hesaplanır.

$$Y = mx + n$$

$$\text{Eğim} = m = \text{mm}^2/\text{dak}.$$

Örnek hesaplama

Aşağıdaki tabloda bir döküm çamurunun döküm hızı test sonuçları verilmiştir.

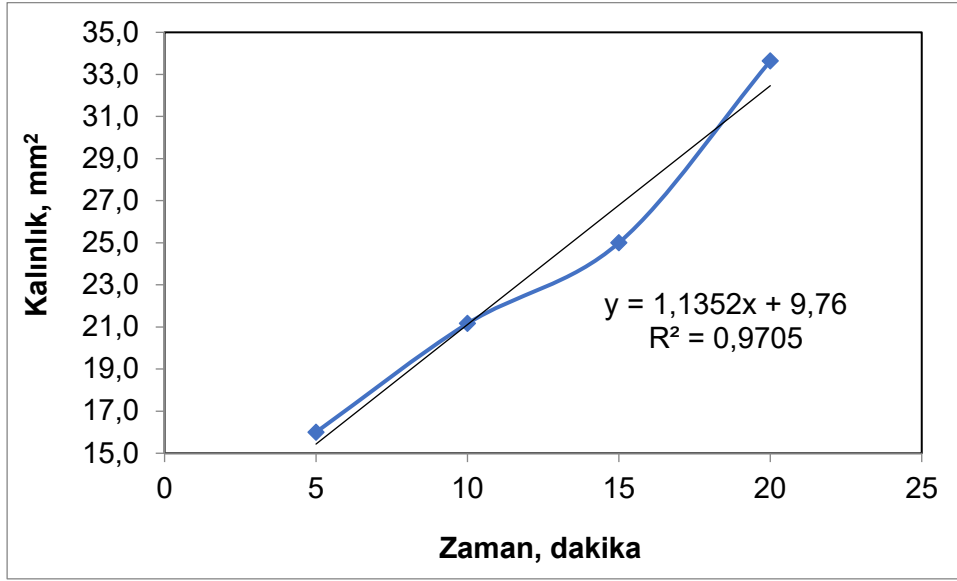
Zaman, dk	Et kalınlığı, mm
5	4,0
10	4,6
15	5,0
20	5,8

- Excel programında Döküm hızı grafiğini çiziniz.
- Excel programında Eğimi bulunuz
- Döküm hızını bulunuz.

Çözüm

Zaman, dakika	Et kalınlığı, mm	Et kalınlığı, mm ²
5	4,0	16
10	4,6	21,2
15	5,0	25
20	5,8	33,6

a) Excel programında döküm hızı grafiğini çiziniz.



Şekil. Döküm hızı grafiği

b) Excel programında eğimi bulunuz.

Eğim denklemleri

$$y = mx + n$$

$$y = 1,1352x + 9,76$$

Eğim = m = Döküm hızı

c) Döküm hızını bulunuz.

Çamurun Döküm hızı = 1,1352 mm²/dak. olarak hesaplanır.

Sonuçlar

- 1) Döküm çamurunun yoğunluğu, g/L
- 2) Döküm çamurunun viskozitesi, s/100mL
- 3) Döküm çamurunun döküm hızı, mm²/dak

Kaynaklar

A. Arcasoy, Seramik teknolojisi, Marmara üniversitesi, GU, Fakültesi, 1983, İstanbul.

H.H. Tanışan, Z. Mete, Seramik teknolojisi ve uygulaması, Birlik matbası, Söğüt, Bilecik. 1988.

S.U. Bayça, Seramik teknolojisi ders notları, 2001, Manisa

S.U. Bayça, Seramik atelye-1, 2001, Manisa

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
LABORATUVAR FÖYÜ

ÇENTİK DARBE DENEYİ

BAHAR, 2026

1. ÇENTİK DARBE DENEYİ

1.1. AMAÇ

Darbe deneyleri malzemelerin çarpma dayanımlarını veya kırılma enerjilerini ölçmek için yapılır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar çentik tokluğunun bir ölçüsü olup, malzemelerin karşılaştırılması için kullanılırlar. Yani darbe deneyinden elde edilen sonuçlar tasarıma yönelik mühendislik hesaplarında doğrudan kullanılmazlar.

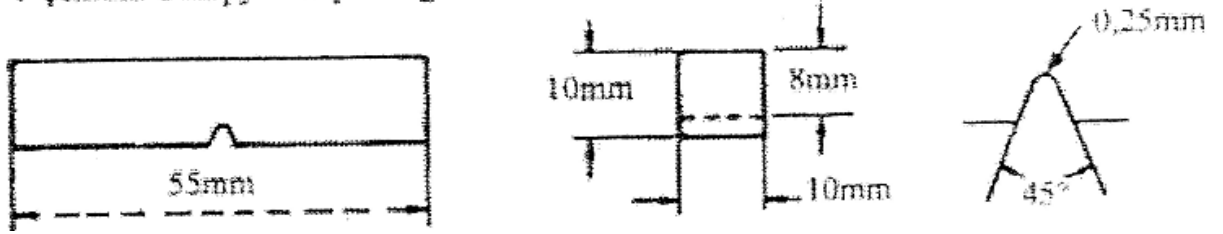
1.2. GİRİŞ

Bazı makine parçaları veya yapı elemanları darbeli yüklere maruz kalırlar. Bu elemanların çarpma dayanımları yavaş yükleme durumundaki statik mukavemet değerlerinden çok daha düşüktür. Darbe deneyinde, standart çentikli bir numunenin darbe etkisi ile kırılması için gereken enerji ölçülür. Genelde “Joule” cinsinden ölçülen bu enerji değeri malzemelerin darbe direnci yada darbe dayanımı olarak tanımlanır. Darbe dayanımı toklukla ilişkilidir. Tokluk, bir malzemeyi kırmak için, malzemenin birim hacmine uygulanması gereken enerji miktarı olarak tanımlanır ve çekme deneyi sonucunda elde edilen gerilme-şekil değiştirme diyagramının altındaki alanla ölçülür. Bu nedenle mukavemeti ve sünekliği yüksek malzemelerin, tokluğu da yüksektir. Aynı malzeme değişik işlemlerden geçirildiğinde, mekanik özellikleri önemli ölçüde değişebilir. Örneğin haddelenmiş pirincin mukavemeti, yumuşatma tavlmasına tabi tutulmuş pirinçten daha yüksektir. Buna karşılık haddelenmiş pirincin sünekliği, tavllanmış pirinçle kıyaslanamayacak kadar azdır. Sonuçta tavllanmış pirinç, haddelenmiş pirinçten daha toktur (mukavemeti düşük olmasına rağmen). Bu durum tüm malzemeler için aynıdır. Ayrıca malzemelere katılan alaşım elementleri yine mukavemeti arttırmalarına rağmen sünekliği azaltırlar. Sonuçta alaşım maddesinin tokluğa etkisi, mukavemetteki artışla süneklikteki azalış arasındaki dengeye bağlıdır. Örneğin çeliğin içerisindeki karbon oranı arttıkça mukavemet artar, süneklik azalır. Aynı şekilde çeliğin içine üçüncü bir alaşım elementi katıldığında yine aynı etki görülür.

Uygulamada yaygın olan iki çeşit darbe deneyi vardır. Bunlardan biri Charpy, diğeri de Izod darbe deneyidir. Charpy deneyinde, iki mesnede yatay olarak yaslanan basit bir kiriş durumundaki numunenin çentik tabanına bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapıp, çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilmenin etkisi ile söz konusu numunenin kırılması için harcanan enerji ölçülür. Izod darbe deneyinde ise, numune kavrama çenesine dikey olarak tespit edilir ve yüzeyine, kavrama çenesinden belirli yükseklikte bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe uygulanır.

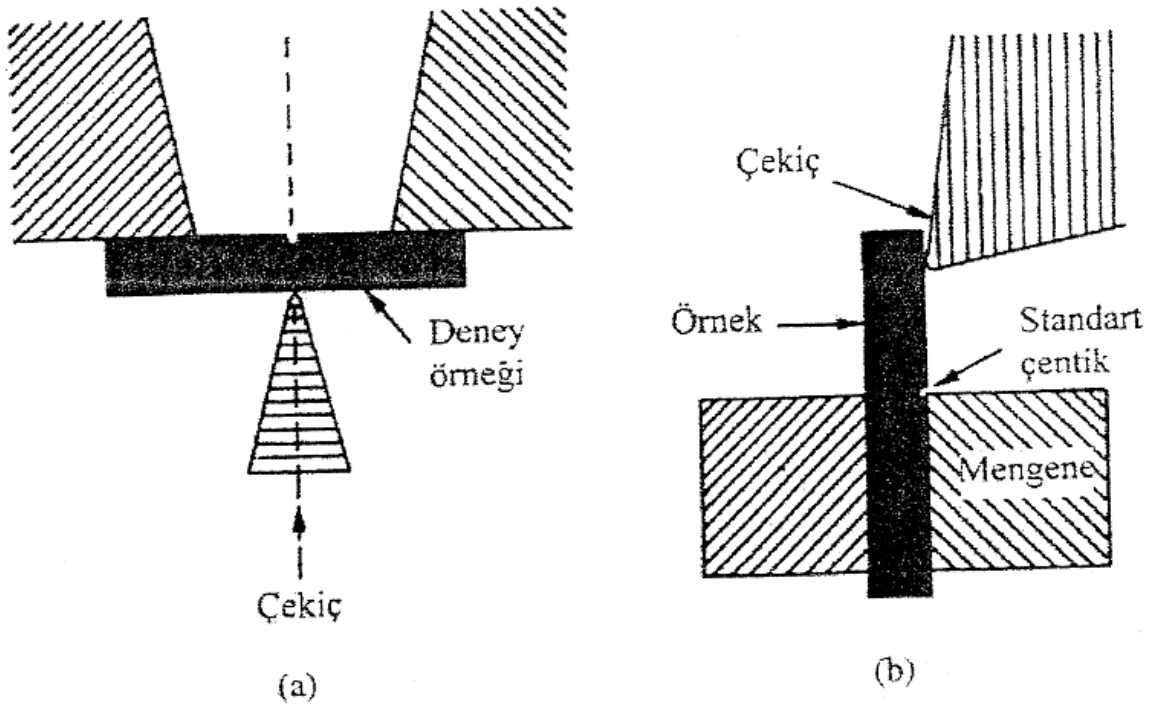
Charpy deneyinde kullanılan standart numunenin şematik resmi Şekil 1’de görülmektedir.

V çentikli Charpy deney örneği



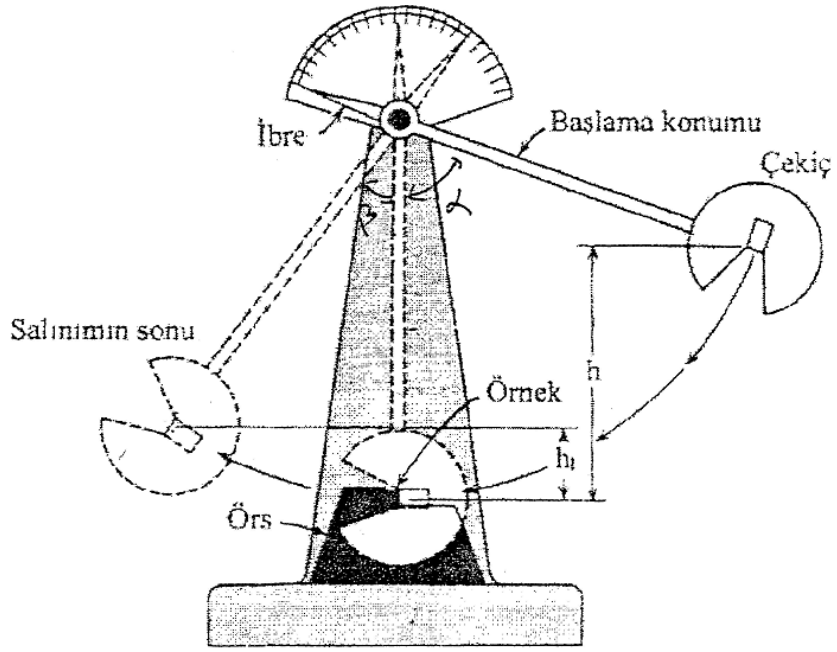
Şekil 1. Charpy standart deney numunesi boyutları

Numunelerin cihaza yerleştirilmeleri Şekil 2’de görülmektedir. Darbe deneylerinde yaygın olarak kullanılan sarkaçlı bir darbe makinesinin şematik resmi Şekil-3’te görülmektedir.



Şekil 2. Deney numunelerinin cihaza yerleştirilmesi

a) Charpy deney numunesi **b)** Izod deney numunesi



Şekil 3. Sarkaçlı darbe makinesinin şematik görünüşü

1.3 DENEY TESİSATININ ÇALIŞMA PRENSİBİ – DENEYİN YAPILIŞI

Çalışma prensibi Şekil-4'te görülen Charpy deneyinde, ağırlığı G olan bir sarkaç h_1 yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerjisi Gxh_1 olur. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında düşey bir düzlem içerisinde numuneye çarparak onu kırar ve diğer yönde h_2 yüksekliğine kadar çıkar. Numunenin kırılmasından sonra sarkacın sahip olduğu potansiyel enerji arasındaki fark, numunenin kırılması için gereken enerjiyi, yani darbe direncini verir. Sürtünme kayıpları ihmal edilerek kırılma enerjisi aşağıdaki formülle belirlenir:

Kırılma Enerjisi = Sarkacın ilk enerjisi – Sarkacın son enerjisi

$$= Gxh_1 - Gxh_2$$

$$= Gxlx(\cos\beta - \cos\alpha)$$

h_1 = düşme yüksekliği

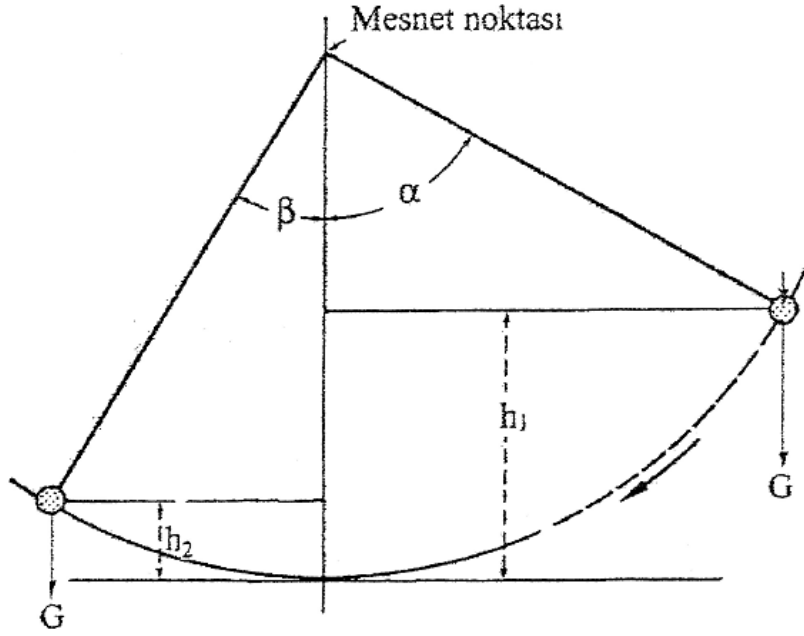
h_2 = çıkma yüksekliği

l = sarkaç boyu

α = düşme açısı

β = yükselme açısı

Darbe direncinin birimi genelde Joule (J) olarak alınır, ancak bazı durumlarda J/m^2 kgm veya kgm/cm^2 cinsinden de ifade edilebilir. Kırılma enerjisi yüksek olan malzemelerin çentik tokluğu da yüksek olur.



Şekil 4. Charpy deney tesisatı çalışma prensibi

1.4 RAPORDA İSTENENLER

1. Gerilme-şekil değiştirme eğrisi altındaki alan niye tokluğun ölçüsüdür?
2. Düşük karbonlu çeliğin ve tavllanmış pirincin özellikleri aşağıda tabloda verilmiştir.

Malzeme	σ_A (MPa)	σ_M (MPa)	Süneklik (%)	E (GPa)	σ_K (MPa)
Düşük karbonlu çelik	330	450	36	200	360
Pirinç	70	270	65	120	190

σ_A = Akma mukavemeti

σ_M = Maksimum çekme mukavemeti

σ_K = Kopma mukavemeti

E = Elastisite modülü

Süneklik: Malzemenin koptuktan sonraki boyu ile orijinal boyu arasındaki farkın, orijinal boya oranının yüzdesidir.

$$\varepsilon_l = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \quad (l_f = \text{koptuktan sonraki boy, } l_0 = \text{orijinal boy})$$

Bu verilerle her iki malzemenin geril-şekil değıştirme diyagramlarını kabataslak çiziniz. Bu diyagramlara bakarak hangi malzemenin darbe dayanımının daha iyi olacağını tahmin ediniz.

3. Deney sonucu tahmin ettiğiniz gibi mi çıktı? Çıkmadıysa bunun sebepleri ne olabilir?

NOT: Elimizdeki malzemelerin tam özellikleri bilinmemektedir, alaşım maddesi içerip içermedikleri, üretim aşamasında hangi işlemlerden geçtikleri ve ısıt işlem yapıp yapılmadığı konusunda elimizde bir bilgi yoktur. Yukarıdaki tabloda verilen değerler elimizdeki malzemeler için geçerli olmayabilir. 3. soruyu buna göre yanıtlayınız.

1.5 KAYNAKLAR

1) “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi” Prof.Dr. Temel Savaşkan, Derya Kitabevi, Trabzon, 1999.

2) “Malzeme: Teori ve Pratik”, Erdoğan Kayıran, İskenderun, 1999.

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
LABORATUVAR FÖYÜ

BASMA DENEYİ

BAHAR, 2026

1 BASMA DENEYİ

1.1 GİRİŞ VE DENEYİN AMACI

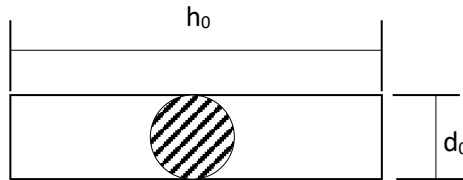
Mühendislik malzemelerinin çoğu, uygulanan gerilmeler altında biçimlerini kalıcı olarak değiştirirler, yani plastik şekil değişimine uğrarlar. Bu malzemelerin hangi koşullar altında ve ne zaman kalıcı şekil değişimine uğrayacaklarını bilmek çok önemlidir. Çeşitli yapı elemanlarının veya makina parçalarının etkisinde bulundukları yükler altında biçimlerini değiştirmesi istenilmeyen bir olaydır. Basma deneyi, çekme deneyinin tersi olarak kabul edilebilir ve çekme-basma makinelerinde basma kuvveti uygulamak sureti ile yapılır. Basma kuvvetinin etkin olduğu uygulamalarda kullanılan gevrek malzemelerin, mukavemet değerleri basma deneyi ile belirlenir. Bu nedenle basma deneyinden elde edilen sonuçlar gevrek malzemelerle yapılan tasarımda doğrudan kullanılabilirler. Basma deneyinde genellikle silindirik veya dairesel kesitli örnekler kullanılır.

1.2. DENEYİN YAPILIŞI

Basma deneyi, standartlara göre hazırlanan deney numunesinin (örnek), sabit sıcaklıkta ve tek ekseninde, belirli bir hızla, malzeme dağılıncaya kadar (yük taşıyamaz duruma gelene kadar) basılması işlemidir. Basma makinalarında basma plakaları aracılığı ile örneğe yük uygulanır. Yük uygulanan plakaların alt ve üst yüzeyleri, numunenin düşey eksenine dik ve birbirine paralel olmalıdır. Basma deneyinde, numunenin kesiti sürekli arttığından, çekme deneyinde görülen boyun verme olayı meydana gelmez. Sünek malzemelerin basma deneyleri sırasında örnek uçları ile basma plakaları arasındaki sürtünme kuvvetinden dolayı, fıçı olayı olarak adlandırılan şişme meydana gelir. Basma deneyine tabi tutulan sünek bir malzemedeki fıçı oluşumu Şekil 2’de gösterilmektedir.

Kopma uzaması ve kopma büzülmesi değerleri hemen hemen sıfır olan gevrek malzemelerin sünekliği çekme deneyi ile ölçülemez. Bu tür malzemelerin sünekliği basma deneyi ile ölçülür. Basma deneyinde çok küçük boyuttaki örnekler bile deneye tabi tutulabilir. Bu durum, deneye tabi tutulacak malzemelerin pahalı ve çok az olması durumunda yararlar sağlar.

Şekil 1’de yuvarlak kesitli ve silindirik başlı bir malzeme için basma numunesi örneği verilmiştir.



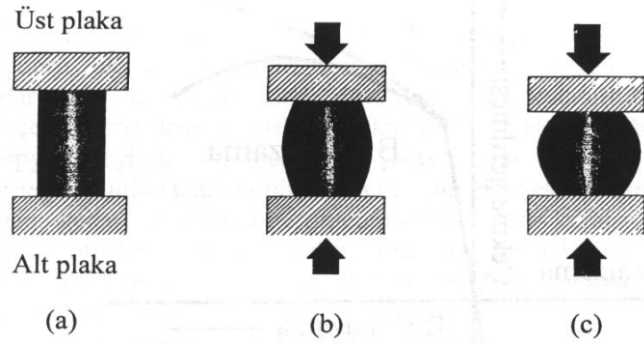
Şekil 1. Yuvarlak kesitli silindirik başlı basma örneği

Burada;

d_0 = Numune çapı

d = Numunenin son çapı.

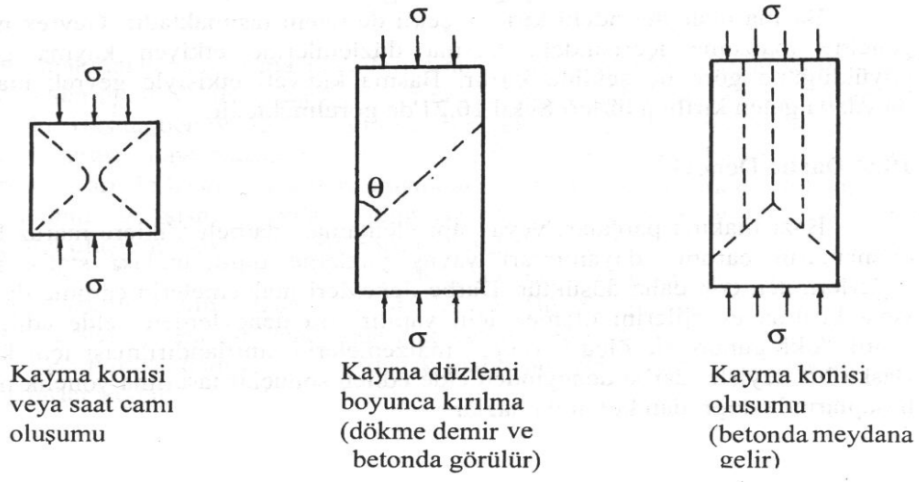
h_0 = Numune yüksekliği $\approx 1.5d_0$ h_0 = Numunenin son yüksekliği.



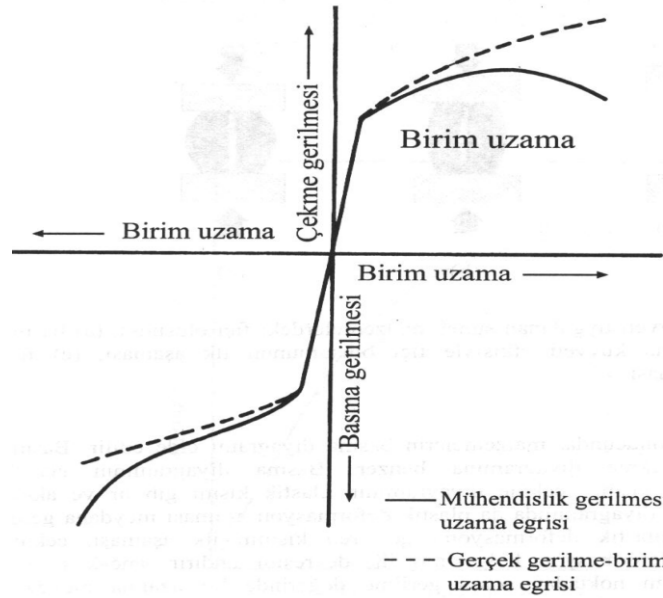
Şekil 2. Basma kuvveti uygulanan sünek malzemelerdeki fiç oluşumu; a) basma kuvveti yok, b) basma kuvveti etkisiyle fiç oluşumunun ilk aşaması, c) fiç oluşumunun tamamlanması

Basma deneylerindeki kırılma şekli de önem taşımaktadır, Gevrek malzemeler, genelde malzeme içerisindeki kayma düzlemlerine etkiyen kayma gerilmesinin büyüklüğüne göre üç şekilde kırılır. Basma kuvveti etkisiyle gevrek malzemelerde meydana gelen kırılma şekilleri şekil 3’de görülmektedir.

Basma deneyi sonucunda, malzemelerin basma diyagramı elde edilir. Basma diyagramı, genelde çekme diyagramına benzer. Basma diyagramının elastik deformasyonu gösteren kısmı çekme diyagramının elastik kısmı gibidir ve akma sınırından sonra, basma diyagramında da plastik deformasyon azalması meydana gelir. Basma diyagramında plastik deformasyonu gösteren kısmın ilk aşaması, çekme diyagramının plastik deformasyon bölgesinin ilk devresini andırır, ancak çekme diyagramında maksimum noktadan sonra gerilme değerinde bir azalma meydana gelirken, basma diyagramında gerilme artar. Yani basma eğrisinin eğiminde artış meydana gelir. Bu durum, basma sırasında numune kesitinin devamlı artmasından kaynaklanır. Özellikle plastik deformasyonun sonuna doğru numune kesiti büyük oranda arttığından, basma gerilmesinde de ani yükselme görülür. Şekil 4’te metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramları görülmektedir.



Şekil 3. Gevrek malzemede basma etkisiyle meydana gelen kırılma türleri



Şekil 4. Metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramları

Basma deneyi sonucunda numunelerin temsil ettiği malzemeye ait aşağıda verilen mekanik özellikler belirlenebilir.

a) Akma dayanımı (σ_a): Gerilmenin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşılık, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve basma diyagramının düzgünlük gösterdiği gerilme değeridir. Bu belirgin akma sınırı ancak bazı malzemelerde, örneğin düşük karbonlu yumuşak çelikte, deney şartlarına bağlı olarak görülebilir. Akma sınırının belirgin olmaması halinde bunun yerine, genellikle % 0.2'lik elastik uzamaya ($\% \epsilon_{elastik} = 0.2$ veya $\epsilon_{elastik} = 0.002$) karşılık gelen gerilme $\sigma_{0.2}$ sınırı alınır.

b) Basma dayanımı (σ_b): Bir malzemenin dağılmadan dayanabileceği en yüksek basma gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, basma diyagramındaki en yüksek gerilme olup, $\sigma_b = F_{max}/A_0$ formülü ile bulunur. Bu gerilmeye kadar numunenin kesiti her tarafta aynı oranda büyüdüğü halde özellikle plastik deformasyonun sonuna doğru numune kesiti büyük oranda artar ve daha büyük bir gerilmede numune kırılır.

c) Orantı Sınırı (σ_0): Gerilme ile birim uzama arasında $\sigma = E \cdot \epsilon$ bağıntısının (Hooke kanunu) geçerli olduğu doğrusal kısmı sınırlar. Bu bağıntıdaki orantı katsayısı E, elastiklik (katılık) modülü adını alır ve doğrunun eğimini gösterir. Ahşap, kauçuk ve deri gibi bazı malzemelerin $\sigma - \epsilon$ diyagramında böyle bir doğrusal bölge bulunmadığı için, sabit bir E değeri yerine ancak, belirli bir noktadaki teğetin eğimi söz konusu olur. Bir malzemenin elastiklik modülü ne kadar büyükse, rijitliği yani elastik şekil değiştirmeye karşı direnci de o oranda büyüktür. Bir malzemeye ait elastiklik modülü herhangi bir ısı veya mekanik işlem yardımıyla değiştirilemez.

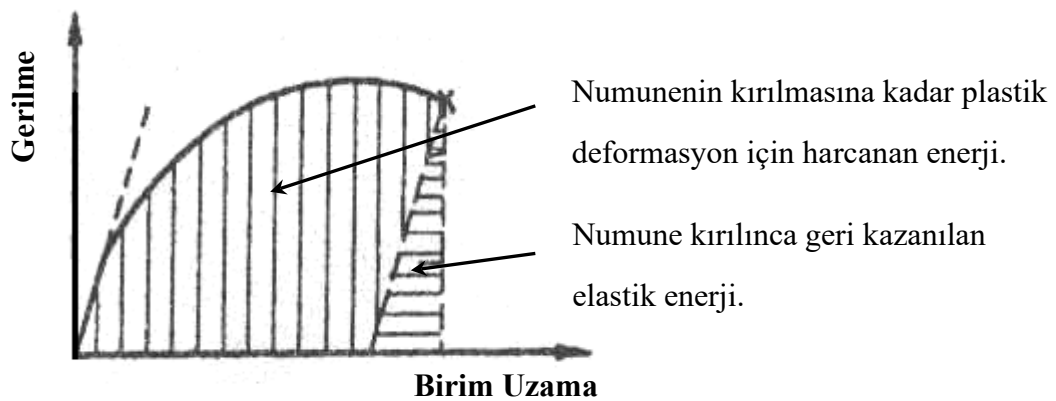
d) Kopma Uzaması (K.U.): Basma örneğinin kopuncaya veya kırılıncaya kadar gösterdiği yüzde uzama miktarı olarak tanımlanır. Deney parçasının kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile ölçülen l_k ve $\Delta l_k = l_k - l_0$ yardımıyla $K.U. = \% \Delta l_k / l_0 \times 100$ bağıntısı yardımıyla bulunur. Bu değer ne kadar büyükse malzeme o derece sünektir anlamına gelir. Bir malzemede σ_k ve σ_b değerlerini yükselten etkenler çoğunlukla sünekliliği azaltırlar.

e) Rezilyans: Malzemenin yalnız elastik şekil değiştirme sırasında enerji absorbe etme yeteneğine denir. Bu enerji, gerilme (σ) birim uzama (ϵ) eğrisinin elastik kısmının altında kalan alan ile belirlenir (Şekil 5).

f) Tokluk: Malzemenin kırılıncaya kadar enerji depolama yeteneğine denir. Genellikle $\sigma - \epsilon$ eğrisinin altında kalan

alanın $A = \int_0^{\epsilon_k} \sigma d\epsilon$ hesaplanması ile bulunur. Birim hacim başına düşen kırılma enerjisi olarak tanımlanan tokluk,

kırılmaya karşı direnç için bir ölçü kabul edilir (Şekil 5). Bu değerle, örneğin darbeli zorlama halinde bulunan dinamik tokluk arasında bir bağıntı yoktur. Sünekliliğin olduğu gibi, tokluğun karşılığı olarak da gevreklik deyimini kullanılır.



Şekil 5. Gerilme-birim uzama eğrisinin altındaki alan şekil değişimi için gerekli enerjiyi (tokluğu) vermektedir.

1.3 BASMA DENEYİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Basma deneyi sonucunda, basma diyagramı, (σ - ϵ eğrisi) elde edilerek, malzemenin akma ve çekme dayanımı gibi mukavemet değerleri ile kopma uzaması ve kopma büzülmesi gibi süneklik değerleri belirlenmektedir. Söz konusu değerler, malzemenin cinsine, kimyasal bileşimine ve metalografik yapısına bağlıdır.

Basma deneyinde gerçek birim şekil değiştirme hesaplanır ve $e = \ln\left(\frac{h_0}{h}\right)$ bağıntısı kullanılır.

Gerçek gerilme (σ_g), uygulanan kuvvetin deney parçasının o andaki kesit alanına bölünmesi ile elde edilir ve $\sigma_g = F_i / A_i$ bağıntısı ile hesaplanır. Burada F_i deformasyonun herhangi bir i anında numuneye etki eden kuvvet olup, A_i ise kuvvetin uygulandığı andaki deney numunesinin kesit alanıdır.

1.4 RAPORDA İSTENENLER

Rapor TS 88 A4 ebatlarında beyaz dosya kâğıdına *bilgisayarda veya mürekkepli kalemle* yazılacaktır. Kağıdın sol ve üst kenarında 3 cm, sağ ve alt kenarda 2.5 cm boşluk bırakılacaktır.

Rapor; *kapak, irdeleme, deneyin amacı, konu ile ilgili teorik bilgiler, deneysel çalışmalar, sonuçlar ve kaynaklar* bölümlerini içerecektir. Her bölümde bölüm başlıkları büyük harfle yazılarak desimal sisteme göre numaralandırılacaktır.

Raporda ölçme sonuçları tablolar halinde verilmelidir. Anlatımda "*ölçüldü, bulundu, hesaplandı*" gibi ifadeler kullanılmalıdır.

Sonuçlar bölümünde, incelenen numunenin çekme deneyinden elde edilen Kuvvet-Uzama eğrisi ve numunenin geometrisinden faydalanılarak *Gerçek Gerilme-Gerçek Uzama ve Mühendislik Gerilmesi-Mühendislik Uzaması diyagramları* MsExcel’de çizilip, yapılan hesaplamalar gösterilmelidir. Teorik bilgiler için föyden faydalanılabilir.

1.5. KAYNAKLAR

[1] McClintock, F.A. and Argon, A.S., "Mechanical Behaviour of Materials", Aoldison Wesley Puhlishing Co., Inc., Reading Massachusetts, U.S.A., 1966.

[2] Dieter, G. E., "Mechanical Metallurgy" McGrawHill, Inc., New York, U.S.A., 1976.

[3] Slater R. A. C., "Engineering Plasticity", The Macmillian Press Ltd., London, Great Britain, 1977.

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
LABORATUVAR FÖYÜ

METALOGRAFİ DENEYİ

BAHAR, 2026

1. METALOGRAFİ VE YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ DENEYİ

1.1. GİRİŞ

Metal ve alaşımların içyapılarını mikroskop (optik metal), elektron (SEM, TEM), x ışınları kırılması (XRD) veya mekanik deneyler yoluyla inceleyen malzeme bilim dalına metalografi denir. Metalografik çalışmalarda başarı numune hazırlamada gösterilen itinaya bağlıdır. Kötü hazırlanmış numunelerde en gelişmiş mikroskoplarda bile iyi sonuç alınamaz. Numune hazırlamanın amacı; düzgün, çizik ihtiva etmeyen, parlak bir yüzey elde etmektir.

1.2. DENEYİN AMACI

Isıl işlemler sonucunda malzemenin yapısı üzerindeki değişimleri tanımlamak soğuk şekillendirmeden sonra kristallerin değişimiyle yeniden kristalleşme taramasından sonraki kristallerin yeniden oluşumunu gözlemlemek malzeme hatası olarak lifleşme, lunke ve gaz boşluklarını ve sıcak şekillendirilen malzemelerde meydana gelebilecek lifleşme, çatlak gibi yapısal değişiklikleri görmek, faz analizi ve tane boyutu gibi kavramları incelemek.

1.3 METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLAMA

Metalografik numune hazırlamada amaç;

- Numune ana parçanın özelliklerini taşımalıdır.
- Tüm yapısal elementler olduğu gibi kalmalıdır.
 - Yüzeyde çizik ve deformasyon olmamalıdır.
 - Yüzeyde hiç bir yabancı madde olmamalıdır.
 - Numune düz, pürüzsüz ve son derece yansıtıcı olmalıdır.
 - Numune başına en uygun işlem maliyeti sağlanmalıdır.
 - Tüm numune hazırlama işlemleri %100 tekrarlanabilir olmalıdır.

Bizim ilgilendiğimiz, teorik olarak, bize analiz edeceğimiz yapının tam görüntüsünü gösteren bir numune yüzeyini incelemektir. Mükemmel bir numune hazırlama işleminden aşağıdakileri elde etmeyi bekleriz:

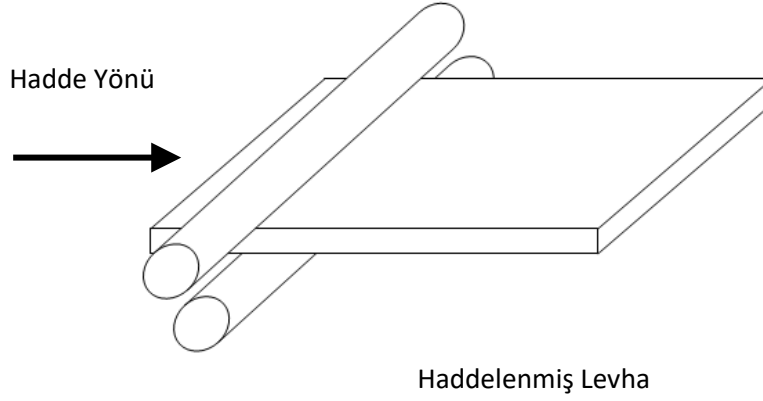
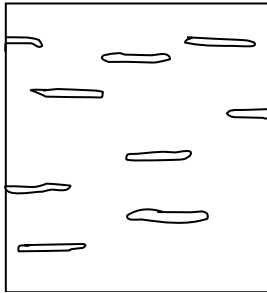
- Deformasyon içermeyen yüzey
- Çizik içermeyen yüzey
- Kopma boşlukları içermeyen yüzey
- Yabancı element içermeyen yüzey
- Bulaşma içermeyen yüzey

- Kabartı veya kenar yuvarlanması içermeyen yüzey
- Isı hasarı içermeyen yüzey

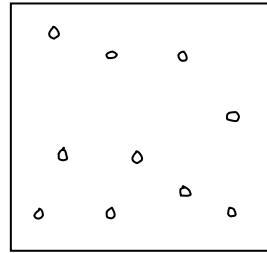
1.4 Numune Hazırlamanın Aşamaları

1.4.1 Numune Alma:

Malzeme muayenesinde numune alma işlemi çok önemlidir. Numune incelenecek malzemenin özelliklerine sahip olmalıdır. Örneğin bir malzemede kırılma incelenecekse numune kırılma bölgesinden alınmalı ve muayene sonucu aynı parça üzerinde kırılma olmayan bölgeden alınan bir numune ile karşılaştırılmalıdır. Diğer tipik bir örnek haddelenmiş yapı çeliğinin muayenesidir. Haddelenmiş yapı çeliğinin iç yapısında hadde yönüne paralel yönde uzamış inklüzyonlar mevcuttur. Şekilde görüldüğü gibi hadde yönündeki kesitte bu inklüzyonlar incelenebildiği halde numune hadde yönüne dik alınırsa inklüzyonlar yuvarlak (globuler) görüneceğinden hataya yol açar.



(Hadde yönüne paralel kesit)



(Hadde yönüne dik kesit)

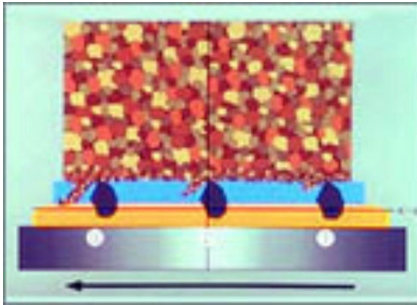
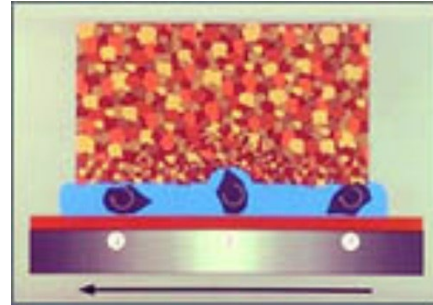
Numune almada ikinci adım uygun bir kesme tekniği kullanarak numune alınması işlemidir. Numune almada daha sonraki işlemleri kolaylaştırmak ve hızlandırmak için, mümkün olduğu kadar az deformasyon içeren düzgün bir yüzey gereklidir. Eğer malzeme yumuşak ise (örneğin Al veya Al-alışımları) numune bir demir testeresi ile kesilebilir. Sert malzemeler ise özel kesme teknikleri (aşındırıcı sulu kesme) ile kesilebilir.



Aşındırıcı sulu kesme işlemi sırasında aşındırıcı ve bağlayıcı malzemeden oluşan kesme diski kullanılır. Malzeme kesme işlemi esnasında aşırı ısınır ise iç yapısında değişiklikler olabilir. Bundan kaçınmak için disk üzerine soğutma sıvısı uygulanır. Soğutma sıvısı ayrıca kesme bölgesindeki partikülleri de ortadan kaldırır. Kırılma yüzeyi incelenmesi için malzeme bir çekiç yardımı ile veya çekme deneyinde olduğu gibi yük uygulanarak kırılır.

1.4.2 Kaba Aşındırma:

Kesme yüzeyi çok pürüzlü ise bakalite alma öncesi veya bakalite alma yapılmayacaksa düz bir yüzey elde etmeyi kolaylaştırmak için bir eğe veya taş ile pürüzler giderilir. Bu işlem esnasında numunenin ısınmasını engellemek için numune sık sık soğuk suya daldırılır.



1.4.3 Bakalite Alma:

En çok kullanılan gömme malzemesi bakalit olduğu için bu işlem genellikle bakalite alma diye bilinir. Fakat bu işlem aslında numune elde tutulup parlatılamayacak kadar küçük veya şekilsiz ise sentetik bir malzeme içerisine gömülmesinden ibarettir. İyi hazırlandığı takdirde bu sentetik malzemeler dağlamada kullanılan kimyasal solüsyonlardan etkilenmezler. 3 çeşit bakalite alma yöntemi vardır.

1.4.3.1 Sıcak Bakalite Alma: Numune kalıplama presi içine yerleştirilir, reçine eklenir ve numune yüksek basınç altında ısı ile işleme tabi tutulur. İki çeşit sıcak bakalite alma reçinesi bulunmaktadır:



Termoset reçineler yüksek sıcaklıklarda katılaşır (donarlar). Duroplastik olarak da adlandırılırlar.

Termoplastik reçineler yüksek sıcaklıklarda yumuşar veya erirler ve soğutma esnasında katılaşır.

1.4.3.2 Soğuk Bakalite Alma: Numune kalıp içerisine yerleştirilir. Doğru miktarlarda iki veya üç bileşen hacimce veya ağırlıkça dikkatli olarak ölçülür. Daha sonra karıştırılır ve numune üzerine dökülür. Üç çeşit soğuk bakalite alma reçinesi bulunmaktadır.



Epoksi reçineler tüm soğuk bakalite alma reçineleri arasında en düşük büzülme oranına sahip reçinelerdir. Donma süresi nispeten uzundur, birçok malzemeye yapışma kabiliyeti mükemmeldir. Ayrıca vakum altında bakalite alma işlemi için de kullanılırlar. Doğru oranlarda karıştırıldıktan sonra kimyasal bir reaksiyon sonucu polimerize olurlar. Sertleşmiş epoksi duroplastiktir ve düşük sıcaklıklardan veya kimyasallardan etkilenmez.

Akrilik kısa donma süreleri olan ve ihmal edilebilecek oranda büzülme gösterebilen kullanımı son derece kolay reçinelerdir. Bir katalizör ile sertleşen kendi kendine polimerize olabilen bileşiklerden oluşurlar. Sertleşmiş akrilik termoplastiktir ve kimyasal olarak dirençlidir.

Polyester akrilikler gibi katalize edilmiş sisteme aittirler. Donma süreleri nispeten kısadır ve sertleşmiş numune duroplastiktir.

1.4.3.3 Vakum Altında Bakalite Alma: Seramikler veya spreycaplamalar gibi gözenekli malzemelerin vakum altında bakalite alınması gerekmektedir. Yüzeyle bağlantısı olan tüm gözenekler reçine ile doldurulmaktadır. Sonuç olarak, reçine bu narin malzemeleri daha dayanıklı hale getirir. Dökülme, çatlak veya üstü kapalı gözenek gibi numune hazırlama hataları minimum hale getirilebilir.

Düşük viskozite ve buhar basıncına sahip olduklarından vakum altında bakalite alma işlemi için sadece epoksi reçineler kullanılabilir. Florasan ışık altında doldurulmuş tüm gözeneklerin kolayca tanımlanabilmesi için Epoksi ile florasan boya Epodye karıştırılabilir.

1.4.4 Zımparalama:

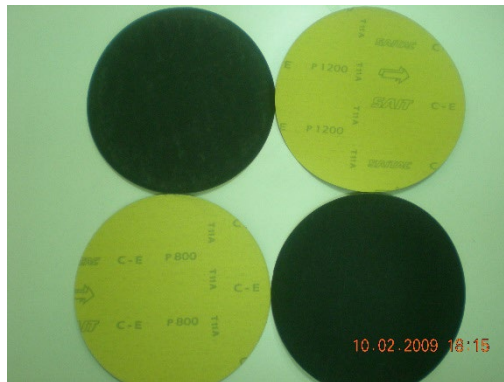
Zımparalama, malzeme yüzeyinde çentikler oluşturan sabitlenmiş aşındırıcı parçacıkları kullanarak numune yüzeyinden malzeme alınması işlemidir. Amaç parlatma işlemi esnasında mümkün olan en kısa sürede kolayca giderilebilecek minimum hasar içeren düzgün yüzeyler elde etmektir.

Bakalite alma sonucu, numune sırası ile 240, 400, 800, 1200, 2400 ve 4000'e kadar incelikte (gradlık) SiC (silisyum karbür) zımpara kağıtları ile yüzey düzeltme işlemine tabi tutulur. Zımparalama esnasında su soğutma yapılmalıdır. SiC zımparalar su soğutma ile birlikte kullanılır ve iyi sonuç verir.

Zımparalama işleminde bir zımparadan diğerine geçilirken numune yüzeyindeki çiziklere dik olarak çevrilir ve tüm çizikle yeni çiziklerle yok edilinceye kadar zımparalamaya devam edilir. Bu işlem dönen disk üzerinde veya elle yapılabilir.



Metalgrafik numune hazırlama cihazı



Zımparalama diskine yapıştırılan 800 ve 1200 gradlık SiC zımpara kâğıtları

1.4.5 Parlatma:

Parlatma mekanik, elektrolitik ve kimyasal metotlarla yapılabilir. Biz sadece en yaygın olan mekanik parlatma üzerinde duracağız.

Gamma alüminyum oksit (demir bazlı ve bakır bazlı malzemeleri parlatmak için), seryum oksit (Al, Mg ve alaşımları için). Elmas tozu, krom oksit ve magnezyum oksit bazı parlatma tozlarıdır. Bu tozlar (uygun miktarlarda) uygun bezlerin üzerine dökülür ve ıslak iken dönen disk üzerinde parlatma yapılır. Genellikle parlatma tozlarının çapı 6 mikrondan 0.25 mikrona kadar değişir. Bu işlemde zımparalamadan gelen yüzey çizikleri tamamen giderilir. Genellikle yüzey parlaktır. Dikkat edilecek bir husus toz inceliği değiştirilirken numune su ile yıkanmalı ve alkolle temizlenip kurutulmalıdır.

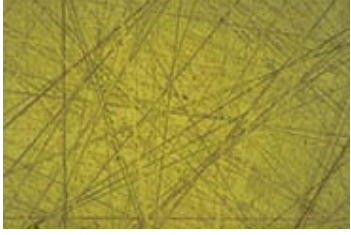
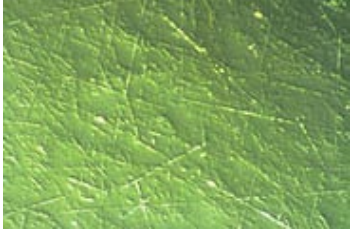
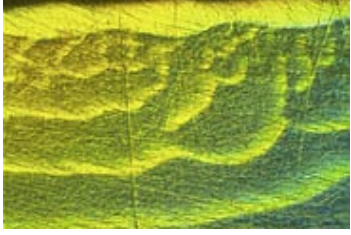
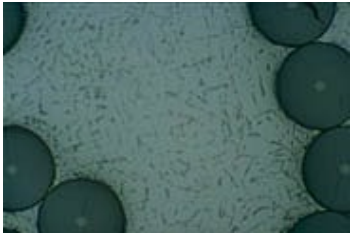
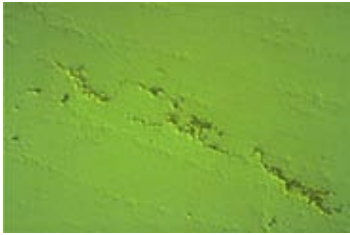
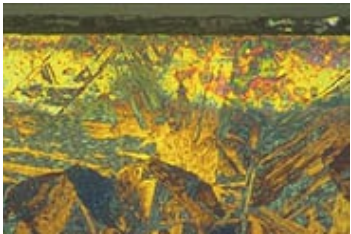
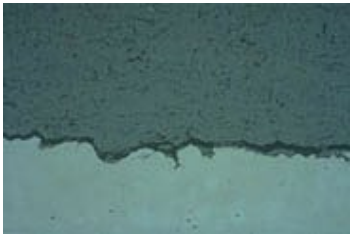
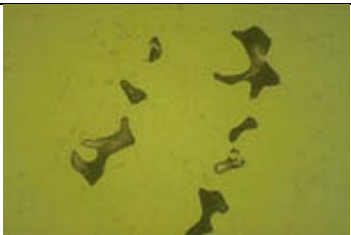
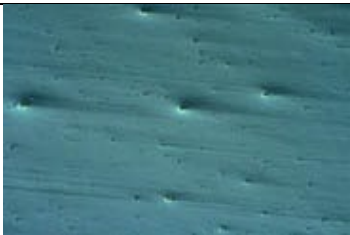
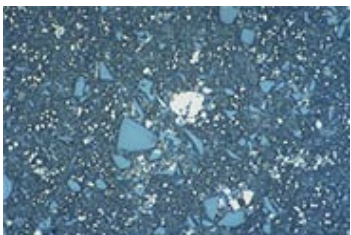
1.4.6 Dağlama:

Dağlama numune yüzeyindeki malzeme yapısının görülebilir hale gelmesini sağlar. Dağlama solüsyonu malzeme yüzeyinde farklı aşındırmalar yaparak taneleri ve diğer yapı hatalarını gözlemlememizi mümkün kılar. Dağlama parlatılmış ve kurutulmuş numune yüzeyinin uygun bir kimyasal karışıma daldırılması şeklinde yapılır. Dağlama süresi sade karbonlu çelikler için birkaç saniye iken, paslanmaz çeliklerde birkaç dakika olabilir.

Tablo 1. Bazı metal ve alaşımların dađlanması için kullanılan dađlama ayıraçları

MALZEME	DAĐLAMA AYIRACI	KULLANIM BİÇİMİ
Saf Al	1 ml HF 200 ml H ₂ O	Dađlama ayıracı pamukla örnek yüzeyine sürölür veya örnek 15 saniye süreyle dađlama ayıracına daldırılır.
Al – Cu alaşımları	1 g NaOH 100 ml H ₂ O	Ya dađlama ayıracı 10 saniye süreyle örnek üzerine sürölür ya da örnek 15 dakika dađlama ayıracına daldırılır.
Al – Si alaşımları	2 ml HF 3 ml HCl 5 ml HNO ₃ 190 ml H ₂ O	Örnek 10-20 saniyelik bir süre dađlama ayıracına daldırılır.
Al – Mg alaşımları	1 ml HF 200 ml H ₂ O	Dađlama ayıracı pamukla 15 saniye süreyle örnek yüzeyine sürölür.
Saf Cu	5 g FeCl ₃ 10 ml HCl 50 ml Gliserin 30 ml H ₂ O	Dađlama ayıracı 16-60 saniye arasında seçilen bir süre pamuk ile örnek yüzeyine sürölür.
Cu – Ni alaşımları	5 g FeCl ₃ 50 ml HCl 100 ml H ₂ O	Örnek birkaç dakika dađlama ayıracına daldırılır ve ya dađlama ayıracı örneđin yüzeyine sürölür.
Cu – Al alaşımları	5 g FeCl ₃ 50 ml HCl 100 ml H ₂ O	Örnek birkaç dakika dađlama ayıracına daldırılır ve ya dađlama ayıracı örneđin yüzeyine sürölür.
Alaşımlı çelikler	5 ml HCl 1 g pikrit asit 100 ml etil veya metil alkol	Örnek dađlama ayıracına daldırılır.
Dökme demirler	2.5 g amonyum persülfat 100 ml H ₂ O	Dađlama ayıracı 15 dakika örneđin yüzeyine sürölür.

Dađlama işlemi sonucunda; düşük C'lu çeliklerde ferrit tane sınırları görünür hale gelir. Dađlama ayıraçları perlit, sementit ve ferriti farklı miktarlarda aşındırarak ayırt edilmelerini sağlar. Perlit, martenzit ve beynit yapılarının detaylarını görünür hale getirir. Çözünmemiş karbür partiküllerini ortaya çıkarır.

NUMUNE HAZIRLAMADA KARŞILAŞILABİLECEK YÜZEY HATALARI			
HATA ADI	ÖRNEK	HATA ADI	ÖRNEK
Çizikler		Deformasyon	
Yüzey Bulaşması		Kenar Yuvarlanması	
Kabartı		Dökülme	
Boşluklar		Çatlaklar	
Sahte Gözeneklilik		Kuyruklu yıldız	
Kirlenme		Aşındırıcı gömülmesi	

1.5 METALURJİK MİKROSKOP

Metalurjik mikroskobun diğer optik mikroskoplardan tek farkı yansıtılmış ışık kullanılmasıdır. Bunun sebebi metalurjik malzemelerin opak olmasıdır. Işık yansımaları yarı gümüş simli ayna vasıtasıyla sağlanır.

Mikroskobun objektif lens ve görüntü lensi (oküler) olmak üzere iki lensi vardır. Objektif lens elde edilen görüntü kalitesi açısından daha kritiktir. Objektif lensin ince detayları ayırt edebilmesi (rezolasyon) gerekir.

Mikroskobun rezolasyon gücü oldukça önemlidir. Rezolasyon gücü birbirine yakın görülebilir iki çizgi üretimidir. Rezolasyon gücü lensin nümerik aralığı ile orantılıdır.

Nümerik Aralık = $\text{Sin}\alpha$

$$\text{Rezolasyon Gücü} = \frac{2\text{Sin}\alpha}{\lambda}$$

$$\text{Rezolasyon Limiti} = \frac{\lambda}{2\text{Sin}\alpha}$$

