T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

LABORATUVAR FÖYLERİ II

2026-2027 Güz Yarıyılı

4. Sınıf

© Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanlığı

2026, Kırıkkale

ÖNSÖZ

Metalurji ve Malzeme Laboratuvarı Dersi, mühendislik 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 özümsenebilmesi, 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.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı

2026, Kırıkkale

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ 3

1.1. Dersin Amacı ve Kapsamı 3

1.2. Deneysel Çalışmaların Temelleri / Önemi 3

1.2.1 Deneysel Hatalar ve Hata Analiz Yöntemleri 3

1.2.2 Belirsizlik Analizi Yöntemi 4

1.3. Ders ile İlgili Genel Düzenlemeler 5

1.3.1 Ders İle İlgili Genel Hususlar 5

1.3.2 Deney Raporu Hazırlanışı 5

1.4. Deney Grupları ve Tarihleri 6

1.5. Deney Listesi 11

2. LABORATUVAR RAPORU YAZIM KILAVUZU 10

3. DENEY FÖYLERİ 17

3.1. TALAŞLI İMALAT DENEYİ 17

3.2. DÖKÜM DENEYİ 23

3.3. NUMUNE ALMA, NUMUNE AZALTMA, NEM ANALİZ DENEYİ 33

3.4. MANYETİK PARÇACIKLA MUAYENE DENEYİ 38

3.5. KAYNAK TEKNOLOJİSİ DENEYİ 44

3.6. AŞINMA DENEYİ 52

3.7. KURUMA, PİŞME KÜÇÜLMESİ, TOPLAM KÜÇÜLME DENEYİ 64

3.8. PENETRANT SIVI İLE MUAYENE DENEYİ 67

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 özümsenebilmesinde 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 gurupta toplanabilir. Bunlardan birincisi, deney yapan

araştırmacının dikkatsizlik ve tecrübesizliğinden ileri gelen hatalardır. Deney tesisatlarında kullanılan ölçme cihazlarının yanlış seçiminden veya ölçme sistemlerinin yanlış tasarımından kaynaklanan hatalar bu gurup içinde düşünülebilir. İkinci gurup hatalar, sabit veya sistematik hatalar olarak adlandırılan hatalardır. Bunlar genellikle tekrar edilen okumalarda görülen ve nedenleri çoğunlukla tespit edilemeyen hatalardır. Üçüncü gurup 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].

Deneysel 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 birkaç 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; $x_1, x_2, x_3,.....,x_n$ olsun. Bu durumda;

$$R = R(x_1,\ x_2,\ x_3,.....,x_n) \tag{1}$$

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

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

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.

1.4. Deney Grupları ve Tarihleri

Tablo 1. Öğrenci Numarasına Göre Deney Grupları

	Öğrenci No	**Ad-Soyad**	**Grup No**
1	223206006	Amine İnci Sabırkazan	1
2	233206002	Ecrin Helin Bektaş	1
3	233206003	Sudenaz Dindar	1
4	233206004	Göktuğ Saçan	1
5	233206008	Fatma Uz	1
6	233206009	Başak Karabek	1
7	233206011	Eren Zengin	1
8	233206017	Furkan Kahraman	1

	Öğrenci No	**Ad-Soyad**	**Grup No**
1	233206013	Muhammed Enes Uçar	2
2	233206014	Ahmet Kamil Oğuz	2
3	233206015	Mert Aykaç	2
4	233206016	Alperen Hüseyin Çakan	2
5	233206012	İsmail Emir Korkut	2
6	233206018	Naci Arslanargun	2
7	233206021	Berat Üstüner	2
8	233206023	Hasan Küçük	2

Tablo 2. Deney Haftaları ve Kapsadığı Tarih Aralığı

Yarıyıldaki Hafta	Tarih Aralığı
1. Hafta	14-18 Eylül 2024
2. Hafta	21-25 Eylül 2024
3. Hafta	28 Eylül-2 Ekim 2024
4. Hafta	05-09 Ekim 2024
5. Hafta	12-16 Ekim 2024
6. Hafta	19-23 Ekim 2024
7. Hafta	26-30 Ekim 2024 (Cumhuriyet Bayramı Haftası)
8. Hafta	02-06 Kasım 2024 (Öngörülen Vize Sınavları Haftası)
9. Hafta	09-13 Kasım 2024
10. Hafta	16-20 Kasım 2024
11. Hafta	23-27 Kasım 2024
12. Hafta	30 Kasım- 04 Aralık 2024
13. Hafta	07-11 Aralık 2024
14. Hafta	14-18 Aralık 2024
15. Hafta	21-25 Aralık 2024

Tablo 3. Deney Grupları ve Deney Tarihleri

NORMAL ÖĞRETİM								
Grup No	**1. Deney**	**2. Deney**	**3. Deney**	**4. Deney**	**5. Deney**	**6. Deney**	**7. Deney**	**8. Deney**
1.Grup	5. hafta	6.hafta	9. hafta	10. hafta	11. hafta	12. hafta	13. hafta	14. hafta
2. Grup	5. hafta	6.hafta	9. hafta	10. hafta	11. hafta	12. hafta	13. hafta	14. hafta

1.5. Deney Listesi

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ				
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ				
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ				
2026-2027, GÜZ DÖNEMİ				
4. SINIF, METALURJİ VE MALZEME LABORATUVARI 2, DENEY PROGRAMI				
Sıra No	**Deneyin Adı**	**Uygulama Sorumlusu**	**Normal Öğretim**	**Yer**
1	Manyetik Parçacıklarla Muayene Deneyi	Arş. Gör. Emir OLÇAY	**Perşembe, 12.00 (1) Perşembe, 13.30 (2)**	**Metalografi Lab.**
2	Penetrant Sıvı ile Muayene Deneyi	Arş. Gör. Emir OLÇAY	**Perşembe, 12.00 (1) Perşembe, 13.30 (2)**	**Metalografi Lab.**
3	Aşınma Deneyi	Arş. Gör. Emir OLÇAY	**Perşembe, 12.00 (1) Perşembe, 13.30 (2)**	**Döküm Lab.**
4	Döküm Deneyi	Arş. Gör. Emir OLÇAY	**Perşembe, 12.00 (1) Perşembe, 13.30 (2)**	**Döküm Lab.**
5	Numune Alma, Numune Azaltma, Nem Analiz Deneyi	Arş. Gör. Sefa KAZANÇ	**Perşembe, 12.00 (1) Perşembe, 13.30 (2)**	**Seramik Süreçler Lab.**
6	Kuruma, Pişme Küçülmesi, Toplam Küçülme Deneyi	Arş. Gör. Sefa KAZANÇ	**Perşembe, 12.00 (1) Perşembe, 13.30 (2)**	**Seramik Süreçler Lab.**
7	Talaşlı İmalat Deneyi	Dr. Öğr. Üyesi Naci Arda TANIŞ	**Perşembe, 12.00 (1) Perşembe, 13.30 (2)**	**Döküm Lab.**
8	Kaynak Teknolojisi Deneyi	Doç. Dr. Aziz Barış BAŞYİĞİT	**Perşembe, 12.00 (1) Perşembe, 13.30 (2)**	**Kaynak Lab.**

2. LABORATUVAR RAPORU YAZIM KILAVUZU

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 aşağıda belirtildiği şekilde verilir.

1.) Rapor Yazım Kuralları

Deney raporunun yazısı, deneyde geçen tablolar, şekiller ve formüller öğrencinin kendi el yazısıyla yazılmış olacaktır. Yazılar okunaklı olacak şekilde düzgün ve gerektiğinde teknik resim ilkelerine göre çizilecektir.

1.1.Kullanılacak Kağıtlar

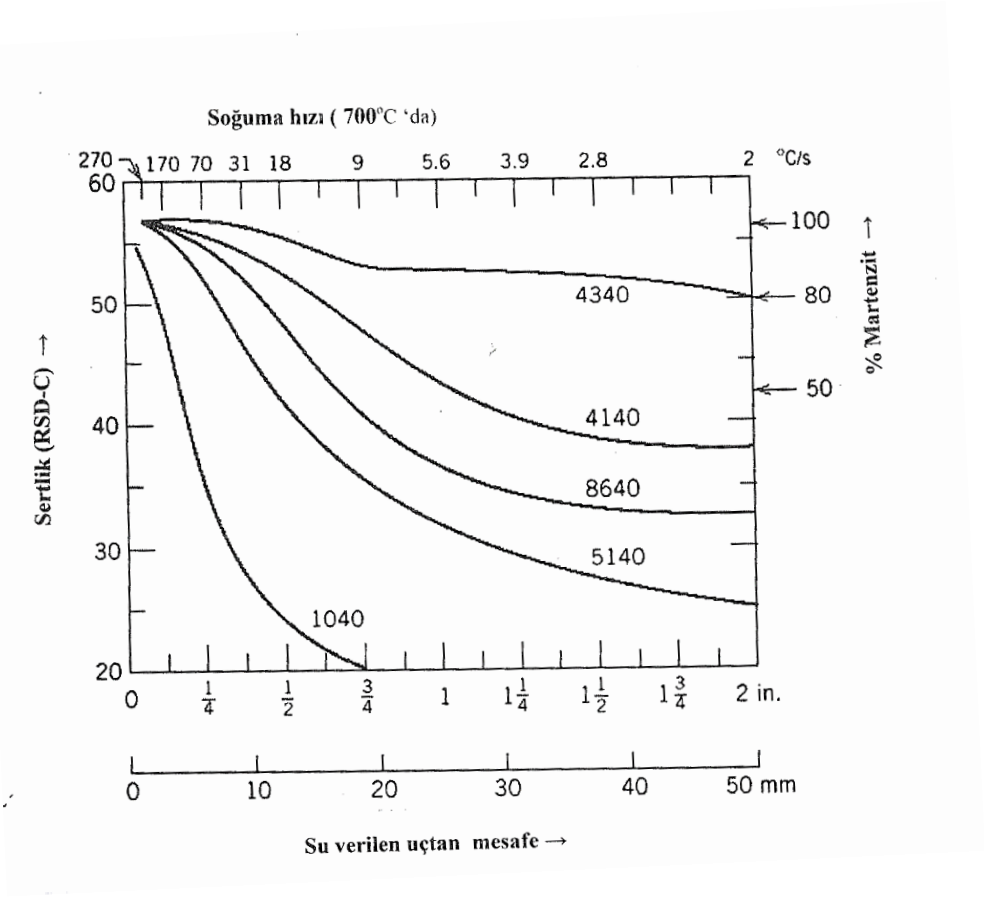
Raporlar DIN-A4 normuna uygun (210×297) birinci hamur beyaz kağıtların sadece bir yüzüne yazılır. Yazılar siyah ve mavi renkte tükenmez veya mürekkepli kalemle yazılmalıdır.

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 ya da 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 <u>üst orta</u> kısmında yer alacak şekilde 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 Kılavuzu ve Türkçe sözlüğüne uyulmalıdır. Tezde SI birim sistemi kullanılmalıdır. Zorunlu durumlarda MKS birim sistemi de 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

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

Deney Adı	
Öğrenci Adı Soyadı	
Öğrenci No	
Teslim Tarihi	

Deney Sorumlusu	

Ekim, 2026

DEĞERLENDİRME

1. Raporlar (eğer deneyi yaptıran öğretim elamanı 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 (girmediği deney varsa 0 alınır.) 8'e bölünmesiyle hesaplanır.
5. **İlgili yönetmeliğe göre deneylere devam zorunluluğu %80 olup, iki deneyden fazla devamsız olan bu dersten '' DEVAMSIZ'' olarak değerlendirilir.**

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

LABORATUVAR FÖYÜ

TALAŞLI İMALAT DENEYİ

GÜZ, 2026

TALAŞLI İMALAT İÇİN GEREKLİ OPERASYON FORMU HAZIRLANMASI VE MALİYET ANALİZİ

1. Deneyin Amacı

Bu deneyde, silindirik tornalama işlemi için gerekli olan işleme değişkenlerinin seçimi, operasyon formu hazırlanması, maliyet analizi için gerekli hesaplamaların yapılması ve silindirik bir parçanın işlenmesi amaçlanmıştır.

2. Deney İçin Gerekli Şartlar

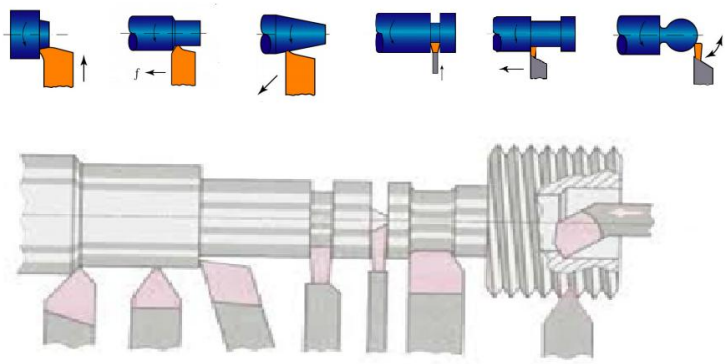
Talaşlı imalatta kullanılacak işleme değişkenlerinin seçimi son derece önemlidir. Standardizasyonun sağlanması amacıyla talaşlı imalat ile ilgili tüm bilgileri içeren operasyon formu hazırlanması işletmeler için çok büyük önem arz etmektedir. Ayrıca parçanın maliyeti hakkında bilgi sahibi olmak için gerekli olan hesaplamaların yapılabilmesi de büyük önem taşımaktadır.

3. Teori

Bir parçanın işlenmesi için tezgah başına işlenmemiş stok parça ile birlikte gönderilen operasyon formu aşağıdaki bilgileri içermelidir:

- Yapım resmi
  - Yeterli görünüş
  - Ölçülendirme
  - Yüzey pürüzlülüğü
  - Alıştırma ve Şekil-Konum Toleransları

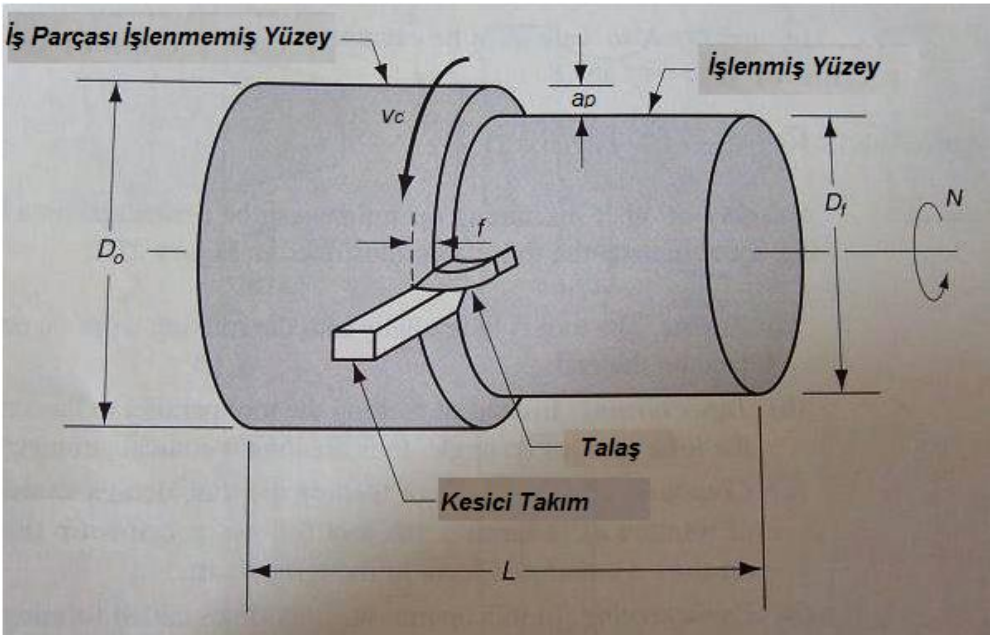
- Parçaya uygulanacak işlemler (Şekil 1)
  1. Alın tornalama
  2. Silindirik tornalama
  3. Konik tornalama
  4. Dairesel tornalama
  5. Kanal tornalama
  6. Vida tornalama
  7. Delik delme
  8. İç tornalama vb…



Şekil 1. Tornalama İşlemleri

- Bu işlemler için gerekli kesici tipleri
  - Alın tornalama kateri
  - Silindirik tornalama kateri-sağ yan veya sol-yan
  - Kanal tornalama kateri
  - Vida açma kateri
  - Matkap (Delik delme)
  - İç tornalama katerleri vb…
- İşleme değişkenleri
  - Kesme Hızı - vc -(m/dak)----------Kataloglardan seçilir.
  - Devir Sayısı -n- (devir/dak)----------vc=π.d.n formülünden hesaplanır.
  - İlerleme -f- (mm/devir) ----------Kataloglardan seçilir.
  - Kesme Derinliği –ap- (mm) ----------Kataloglardan seçilir.
- Bu işlemler için gerekli olan bağlama tipi ve aparatlar
  - Kesici için kalemlik veya taret
  - İş parçası için ayna
- Bu işlemler için gerekli olan süre
  - $t = \frac{L*i}{n*f}$ formülünden hesaplanır.

t = İşleme zamanı (dak)
L = İşlenen uzunluk (mm)
i = Paso sayısı
n= Ayna devir sayısı (dev/dak)
f = Kesici ilerlemesi (mm/dev)



Şekil 2. Silindirik tornalama

- Kuvvet ve güç hesabı için gerekli olan tablo ve örnek Metal Mesleğinde Tablolar kitabından alınmış ve Ek 1'de verilmiştir.

4. Deney Teçhizatı ve Malzeme

Bu deneyde, Makine Mühendisliği Bölümü İmalat Laboratuvarındaki (BZ-13) konvansiyonel torna tezgahı kullanılacaktır. Her öğrenci en az bir paso silindirik tornalama işlemi yapacaktır.

5. Deney Prosedürü

1. Silindirik tornalama işlemi için operasyon formalarının hazırlanması.
2. Silindirik tornalama işlemi için gerekli olan kesici takımın seçilmesi ve tezgaha bağlanması
3. İş parçasının aynaya bağlanması
4. İşleme değişkenlerinin (ayna devir sayısı ve kesici ilerleme) seçilmesi ve tezgahta ayarlanması
5. İşleme zamanının hesaplanması
6. Tezgahın çalıştırılıp talaş kaldırma işleminin gerçekleştirilmesi ve işleme zamanının ölçülmesi
7. Sonuçların yorumlanması ve deneyin kazanımlarının yazılması

6. Değerlendirme ve Rapor

Deney sonrası Deney Raporu hazırlanacak ve belirtilen tarihe kadar Laboratuvar sorumlusuna teslim edilecektir. Deney raporu standart özelliklerinin yanı sıra aşağıdaki çıktıları da içerecektir:

1. Silindirik tornalama işlemi için hazırlanmış operasyon formu,
2. Zaman hesabı ve maliyet analizi
3. Yararlanılan kaynakların verilmesi

7. Laboratuvar Öncesi Yapılması Gereken Hazırlıklar:

• Deney föyü ayrıntılı olarak incelenip, daha önceki teknik resim ve talaşlı imalat ders notları da dikkate alınarak teorik ön bilgiler çalışılacak. Bu amaçla

a) Yapım resmi kavramı çalışılmalı
b) Tornalama işlemleri, devir ve zaman hesabı çalışılmalı
c) Kesme kuvveti ve harcana güç hesabı çalışılmalı

Bu amaçla konu ile ilgili kitaplardan, dergilerden, internet ortamından da yararlanılmalıdır.

• Deneyin laboratuvar ortamında, tezgah başında olduğu dikkate alınarak uygun kıyafetler giyinilmeli ve İş Sağlığı ve Güvenliği konularına dikkat edilmelidir.

Ek 1. Kuvvet ve güç hesabı için tablo ve örnek (Metal Mesleğinde Tablolar kitabından alınmıştır.)

Ek 2. Operasyon Formu

Ek 1. Kuvvet ve güç hesabı için gerekli olan tablo ve örnek (Metal Mesleğinde Tablolar kitabından alınmıştır.)

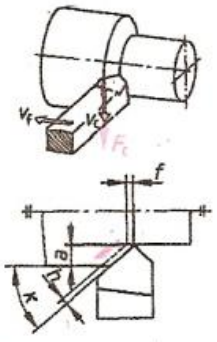
Özgül Kesme Kuvveti İçin Kılavuz Değerler

Malzeme	$k_{c1.1}$ N/mm²	m_c	Özgül kesme kuvveti k (N/mm²) Talaş kalınlığı h (mm) 0,08	0,1	0,16	0,2	0,31	0,5	0,8	1,0	1,6
St 50-2	1500	0,3	3200	2995	2600	2430	2130	1845	1605	1500	1305
C 35, C 45	1450	0,27	2870	2700	2380	2240	1990	1750	1540	1450	1275
C 60	1690	0,22	2945	2805	2530	2410	2185	1970	1775	1690	1525
9 S 20	1390	0,18	2190	2105	1935	1855	1715	1575	1445	1390	1275
9 SMn 28	1310	0,18	2065	1985	1820	1750	1615	1485	1365	1310	1205
35 S 20	1420	0,17	2180	2100	1940	1865	1735	1600	1475	1420	1310
16 MnCr 5	1400	0,30	2985	2795	2425	2270	1990	1725	1495	1400	1215
18 CrNi 8	1450	0,27	2870	2700	2380	2240	1990	1750	1540	1450	1275
20 MnCr 5	1465	0,26	2825	2665	2360	2225	1985	1755	1555	1465	1295
34 CrMo 4	1550	0,28	3145	2955	2590	2430	2150	1880	1650	1550	1360
37 MnSi 5	1580	0,25	2970	2810	2500	2365	2115	1880	1670	1580	1405
40 Mn 4	1600	0,26	3085	2910	2575	2430	2170	1915	1695	1600	1415
42 CrMo 4	1565	0,26	3020	2850	2520	2380	2120	1875	1660	1565	1385
50 CrV 4	1585	0,27	3135	2950	2600	2450	2175	1910	1685	1585	1395
X 210 Cr 12	1720	0,26	3315	3130	2770	2615	2330	2060	1825	1720	1520
GG-20	825	0,33	1900	1765	1510	1405	1215	1035	890	825	705
GG-30	900	0,42	2600	2365	1945	1740	1470	1205	990	900	740
CuZn 37	1180	0,15	1725	1665	1555	1500	1405	1310	1220	1180	1100
CuZn 36 Pb 1,5	835	0,15	1220	1180	1100	1065	995	925	865	835	780
CuZn 40 Pb 2	500	0,32	1120	1045	900	835	725	625	535	500	430

Kılavuz değerler aşağıda talaş açısına sahip sert metal takımları için geçerlidir.
$\gamma_o = +6°$ verilen çelikler için
$\gamma_o = +2°$ verilen dökme demir malzeme için
$\gamma_o = +8°$ verilen bakır alaşımları için

Talaş Kaldırmada Kuvvet ve Güç

Tornalama



F_c Kesme kuvveti
A Talaş kaldırma kesiti
a Kesme derinliği
f İlerleme
κ Ayar açısı
h Talaş kalınlığı
v_c Kesme hızı
k_c Özgül kesme kuvveti (Sayfa 203)

Q Talaş hacmi
P_c Kesme gücü

Tornalamada talaş kesiti

$$A = a \cdot f$$

Kesme kuvveti

$$F_c = A \cdot k_c$$

Talaş kalınlığı

$$h = f \cdot \sin\kappa$$

Talaş hacmi

$$Q = A \cdot v_c = a \cdot f \cdot v_c$$

Kesme gücü

$$P_c = F_c \cdot v_c = Q \cdot k_c$$

Örnek :
Verilen: 16 MnCr5 malzemesinden olan bir milin tornalanmasında a = 5 mm, f = 0.32 mm x = 75° ve Vc = 160 m/dak

Aranan: h; k_c; A; F_c; P_c

Çözüm: $h = f \cdot \sin\kappa = 0{,}32\ \text{mm} \cdot \sin 75° = \mathbf{0{,}31\ mm}$

$k_c = k \cdot C_1 \cdot C_2$; $k = 1990\ \frac{N}{mm^2}$ (Sayfa 203

$k_c = 1990\ \frac{N}{mm^2} \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 = \mathbf{1990\ \frac{N}{mm^2}}$

$F_c = a \cdot f \cdot k_c = 5\ \text{mm} \cdot 0{,}32\ \text{mm} \cdot 1990\ \frac{N}{mm^2} = \mathbf{3184\ N}$

$P_c = F_c \cdot v_c = \frac{3184\ N \cdot 160\ m}{60\ s} = 8490{,}6\ W = \mathbf{8{,}49\ kW}$

	OPERASYON FORMU	**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği**
		Tarih ::

Tezgah:	**Parça Adı:**	**Operasyon No:**

YAPIM RESMİ

İşlem adı	**Kesici Tipi ve Malzemesi**	**Kesme hızı (m/dak)**	**Devir sayısı (dev/dak)**	**İlerleme (mm/dev)**	**İşleme zamanı (dak)**	**Harcanan güç (kW)**

Zaman Hesabı	**Kuvvet ve Güç Hesabı**

1. Operasyonu biten parçayı temizle, varsa çapağını al.
2. Tezgahı temizle ve çevresini düzenle.
3. Bir sonraki operasyona başlanabilmesi için atölye sorumlusuna haber ver.

Toplam işleme zamanı(dak):	
Hazırlık zamanı(dak):	
Bağlama Şekli	

Hazırlayan		**Onaylayan:**	
Ad-Soyad	**Numara**	**Ali Osman ER**	
		İmza	

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

LABORATUVAR FÖYÜ

DÖKÜM DENEYİ

GÜZ, 2026

DÖKÜM DENEYİ

1. Deneyin Amacı

Makine tasarımında kullanılabilecek döküm parçaların mekanik özelliklerinin değişimine üretim parametrelerinin etkisi ve üretim işleminde meydana gelebilecek hataların alaşımların işlenebilirliğine etkisi öğrencilere uygulamalı-anlatım ve soru cevap yöntemi ile anlatılacak.

2. Giriş

Metallere şekil vermenin değişik yolları vardır. Makine ile işleme, dövme, kaynak, presleme vb. şekil verme yöntemlerinin yanında döküm yöntemiyle de metallere şekil verilebilir. İstenilen bir şekli elde etmek için, seçilen metal veya alaşımın ergitilmesi söz konusu şeklin negatifi olan kalıp boşluğuna dökülmesi işlemine döküm denir. Döküm yönteminin avantajları şunlardır;

* İçten ve dıştan grift ve karışık olan şekiller döküm yoluyla elde edilebilir ve talaş kaldırma, kaynak vb. işlemlere ya çok az ya da hiç ihtiyaç olmayabilir.

* Konstrüksiyonda basitlik kazandırır, istenen şekiller tek parça halinde elde edilebilir.

* Büyük miktarda seri üretime uygun olup çok sayıda belirli parça kısa sürede elde edilebilir.

* Bazı alaşımların döküm halindeki mühendislik özellikleri tercih edilir.

* Bazı metal veya alaşımlarda metalurjik özellikleri nedeni ile yalnız döküm yoluyla şekillendirilebilirler (dökme demirler).

* Büyük pompa muhafazaları, büyük ring veya valfler gibi diğer yöntemlerle üretimi zor veya imkânsız olan büyük şekiller döküm yoluyla elde edilirler.

* Döküm yöntemi, diğer şekil verme yöntemlerine nazaran en ekonomik olanıdır.

3. Döküm Yöntemleri

3.1. Kum Kalıba Döküm

Kum kalıba döküm en çok kullanılan yöntemdir. Çok farklı büyüklükteki parçalara uygulanışı ve kalıplama maliyetinin az oluşu, tercih nedenlerinin başında gelir. Kum kalıba döküm yöntemi kullanılan kalıbın cinsine göre değişik guruplara ayrılabilir, bunların başlıcaları: yaş kum kalıba döküm, kuru kum kalıba döküm, tamamen maçaların bir araya getirilmesiyle oluşturulan maça kalıba döküm, kabuk kalıba (shell mold) döküm, gaz sertleştirici silikat yöntemi olarak bilinen <CO> yöntemi ile hazırlanan kalıba döküm ve kum, organik bağlayıcı ve katalizör karışımından oluşturulan ve sıvı reçinelerin polimerizasyonu ile havada sertleşen <air set> kalıplara döküm kalıplara döküm yöntemleridir.

3.1.1. Yaş Kum Kalıba Döküm

Kum kalıba döküm daha ziyade yaş kum ile hazırlanan kalıplarla gerçekleştirilir. Yaş kum: SiO_2 tanecikleri, kil, su ve diğer ilavelerin meydana getirdiği plastik bir karışımdır. <yaş> terimi ihtiva ettiği nem yüzünden verilmiş olup kuru kum karışımından olan farkını belirtmektedir. Yaş kum kalıbın başlıca avantajları, büyük fleksibilitesi yanında kil, su ve diğer ilavelerin (pülverize kömür, dekstrin, odun talaşı vb.) tazelenmesi ile defalarca kullanıla bilmesi ve en ucuz kalıplama yöntemidir. Yaş kum kalıba döküm yöntemi, kalıbın daha yüksek mukavemet ve erozyon direncine sahip olması gerektiği durumlarda (ince, uzun girintili ve çıkıntılı parçalar, karışık şekilli ve iri dökümler vb.) ve daha yüksek boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesinin istendiği hallerde sınırlanır. Bu durumlarda diğer kalıp türleri tercih edebilir.

3.1.2. Kuru Kum Kalıba Döküm

Yaş kum ile hazırlanan kalıp, fırın içinde(150-350°C) sıcaklığa ısıtılmış hava ile kurutularak mukavemet kazanır. Genellikle kalıp boşluğu yüzeyine püskürtülen sıvanan karışım, kalıba kurutma sonrası daha yüksek sertlik ve refrakterlik özelliği sağlar. Kurutmada kaybedilen zaman başlıca dezavantajı teşkil eder. Kalıp boşluk yüzeyinin 2-2,5 cm derinliğine kadar kurutulması ile hazırlanan <kabuk kurutulmuş> (skindried) kalıplar, kuru kum kalıp yönteminin bir başka türü olmaktadır. Kuru kum kalıplarda serbest nem buharı olmadığından kalıp havalandırması problemi çok azalmaktadır. Daha düşük geçirgenlikli kumların kullanılabilmesi, bu yöntemle daha iyi döküm yüzeyi elde etmek imkânı sağlar. Yaş kum kalıp yöntemine nazaran, nem kontrolü daha az kritiktir. Ayrıca kalıbın dökümden önce bir müddet beklemesi, yaş kum kalıplarda olduğu gibi koruma ve yüzeyin gevrekleşmesi gibi sorunlara yol açmaz. Kurutma işlemi 400 °C'nin üstünde yapıldığında bağlanmış suyun kaybı, killerin mukavemet özellikleri üzerinde yıkıcı bir etki yapacaktır. Dolayısıyla bu üst sınırın kesinlikle aşılmaması gerekir. Yüzey kurutmada, ısıtma esnasında buharlaşan nem, kum içinde her yönde yayınabileceğinden, kurutma kendi kendine havada fakat bir ısı kaynağı ile yapıldığında, sıcaklık artışına paralel olarak önemli oranda bölgesel nem konsantrasyonu meydana gelebilir. Bunun nedeni, ısıtılan yüzeyden uzak, soğuk bölgedeki kondensasyon olayıdır.

Oda sıcaklığında nem yalnız kurutulan yüzeyden dışarı çıkar, oysa daha yüksek sıcaklıklara da nemin hareketi her iki yönde olmakta ve kondensasyon bölgeleri meydana gelmektedir. Bu bölgelerde nem oranının, orijinal değerinin %60 üzerinde bir değere ulaşılabildiği gösterilmiştir. Dolayısı ile bu tür kısmen kurutulmuş kalıplarda, vakit kaybetmeden döküme geçmek gereklidir. Yüzey kurutma işlemi hamlaçlar, ısıtıcı lambalar veya elektirikli ısıtıcı elemanlarla yapılabilir. Havadan tekrar nem kapmak ki bu yalnız havadan değil, kurutulmamış kısımlardan gelen nemi de içerir, kurutma işleminden sonraki ilk 24 saat içinde yaklaşık olarak % 0,5-0,8 oranları da nem olacak şekilde meydana gelir. Nemdeki bu yükseliş mukavemette bir azalmaya neden olmakla beraber çok kısa süreli bir ısıtmayla giderilebilir.

3.1.3. CO_2 Yöntemi

Yaş kum kalıplama ile kuru kum kalıplama arasında sınıflandırılabilecek modern bir yöntemde (CO_2-sodyum silikat yöntemi) CO_2 ile kalıpların sertleştirilmesidir. Bu yöntemde kalıplar, kurutulmuş kalıbınkine eşit mukavemete, ısıtmaya gerek kalmadan erişebilmektedir. Furan reçineleri gibi kendi kendine sertleşen organik bağlayıcı kumlar da kalıplaşmada benzer şekilde kullanılabilir.

Kum + %1,5-6 cam suyu ($Na_2O.SiO_2$) karışımı, model etrafına konur ve içinden CO_2 gazı geçirilir. Bu işlemle kalıp sertleştirilir veya sertleştirilen kısımlar bir araya getirilerek kalıp teşkil edilir. CO_2 yöntemi ile kalıplama da konvensiyonel kil bağlayıcılarının yerine sodyum silikat bağlayıcıları almaktadır. Cam suyu ve sodyum silikatı meydana getirdiği alçak mukavemetli kalıplardan CO_2 gazı geçirilerek 14 kg/cm^2 kadar yüksek bir kuru mukavemete kadar erişilebilir. Bu yöntem pişirilmeden sertleşen kalıp ve bilhassa maça yapımında kullanılır.
Yöntem, bilinen bütün döküm alaşımları için uygundur ve özellikle çelik, gri dökme demir ve bakır esaslı alaşımlarının dökümünde kullanılır.

CO_2 yönteminin avantajları; kalıp ve maça yapım tekniği yaş ve kuru kalıplamada olduğu gibidir. Sodyum silikat – kum karışımının mukavemeti nedeniyle alt ve üst derecede kum içine destek koyma ihtiyacı kalmamaktadır. Pahalı teçhizat gerekmez. Kum ile soydun silikat karışımı konvansiyonel teçhizatlarla kolayca yapılabilir. CO_2 kolayca temin edilebilir. Gaz gönderme cihazları ise pahalı değillerdir.

Yöntemin dezavantajları ise şöyle sıralanabilir: konvansiyonel yönteme nazaran daha pahalı bir yöntemdir. Bu yöntem için hazırlanan kum karışımın bekleme süresi çok daha kısadır. Hazırlanmış (sertleştirilmiş) kalıplar normal atmosfer basıncında depolandıklarında, 24 saatte veya daha uzun bir sürede bozulmaktadırlar. Bu yöntemle hazırlanan kalıp ve maçaların dağılabilme özelliği diğer yöntemlere oranla oldukça azdır.

CO_2 yöntemi ile kalıp ve maça hazırlamada, kullanılan sodyum silikat (cam suyu) viskoz bir sıvı olup kum taneleri arasına düzgün bir şekilde dağılması iyi bir karıştırma ile sağlanır. Sodyum silikat ile kaplanan kum tanecikleri akışkan olmadıklarından kalıp, yaş kum yönteminde olduğu gibi, dövülerek hazırlanır. Bu safhadaki kalıp veya maçanın mukavemeti oldukça düşüktür. Ancak bu kompakt kum-sodyum silikat karışımından CO_2 gazı geçirilerek birkaç dakikada taneler arasında kuvvetli bir bağ meydana getirilir.

Sodyum silikatın jel teşkili aşağıdaki reaksiyona göre oluşur:

$Na_2O.(x)SiO_2+(x)H_2O+CO_2$

$Na_2CO_3+SiO_2.(x)H_2O$

Burada x=3,4 veya 5'tir.

Reaksiyon ürünü sodyum karbonat ve hidrate silistir. Aynı tip bağ karışımın havada bekletilmesiyle (havadaki CO_2 ile reaksiyonun oluşu) de teşkil olur, ancak bunun için çok uzun süre gereklidir. CO_2 yönteminde, kullanılan kum genellikle silika (silis) kumu olup AFS 55 ila 85 tane inceliğinde olmalıdır. Diğer kumlar da (zirkon, olivin vb.) kullanılabilir. Kum kuru olmalı ve içerdiği nem miktarı maksimum % 0,25 civarında bulunmalıdır. Ayrıca kumun temiz olması ve mümkün olduğu kadar $CaCO_3$ içermemesi gerekir. Karışım için gerekli sodyum silikat miktarı, kumun tane inceliği arttıkça (tane boyutu küçüldükçe) artar. Örneğin AFS 55 inceliğindeki bir kum için yaklaşık % 4,5 sodyum silikat gerekir.

Bağlayıcı olarak kullanılan sodyum silikat ise % 7-28 (Na_2O) %26-64 silis (SiO_2) ve %17-67 sudan müteşekkildir. Genel olarak, sodyum silikat SiO_2/Na_2O oranına (ağırlıkça) göre seçilir. En uygun silikatlarda özellikle maça yapımında (1-2) ila (1,2-2) arasındadır. Kalıplama amacıyla kullanılan sodyum silikatın özgül ağırlığı 40 Bé civarındadır. Ayrıca karışıma, özellikleri iyileştirme amacı ile, diğer bazı ilaveler de yapılabilir. Bunlar kısaca kaolen kili, alüminyum oksit (Al2O3) ve şekerdir. Kil, kalıp stabilitesini arttırır. Alüminyum oksit sıcak mukavemeti yüksektir. Şeker ise dökümden sonra kalıptaki kalıcı mukavemeti azaltır ve dağılabilme özelliğini arttırır. (Bir başka deyimle kalıp bozma kolaylaşır.)

Tipik karışım:

Sodyum silikat,40˚Be …….%3,3

Kaolen kili ……..%1,7

Al_2O_3 …….%1,7

Şeker 40˚Be …… %2,0

CO2 yönteminde karışımın hazırlanmasında özel dikkat gerektiği daha önceden belirtilmişti. Karıştırma süresi toplam 3 ila 5 dakikadır. Genellikle uygulanan karıştırma şekli, diğer ilaveler ile kumu önce karıştırmak, sonra sodyum silikat ilave ederek 1-2 dk. karıştırmaktır. Tipik karıştırma çevrimi aşağıdaki gibi olmalıdır:

Kuma şeker ilavesi 1 dakika karıştırma

Kaolen kili ve Al2O3 ilavesi 2 dakika karıştırma

Sodyum silikat ilavesi 1 dakika karıştırma

Sodyum silikat- kum karışımı maça kutusuna veya model etrafına sıkıca yerleştirildikten sonra, içinden hemen CO_2 gazı geçirilmelidir. Küçük kalıp veya maçaların çok sayıda üretimi için kullanılan makinalara ait bir örnek şekil 3'te verilmiştir. Ancak küçük miktarlar veya iri boyutlar için çok daha değişik gaz verme sistemleri mevcuttur. Gaz basıncı, kalıp veya maçanın boyutuna göre (1,4-2,8 kg/cm^2) arasında değişir ancak önemli

olan gazın kalıp veya maçadan geçiriciliği süredir. Fazla gaz vermenin mukavemet üzerinde olumsuz etkileri vardır. Ayrıca gaz verildikten sonra da kalıp sertleşmeye devam edeceği için fazla gaz (CO_2) vermekten hemen her zaman kaçınılmalıdır. Yaklaşık değer olarak ½ kg CO_2 gazı 20 ila 45 kg kumu yerleştirmek için yeterli olmaktadır.

3.2. Kokil Kalıba Döküm

Karmaşık biçimli, boyut toleransları dar ve çok sayıda üretilecek parçalar için tercih edilir. Dökülecek metalin gerektirdiği refrakterliğe sahip olması gereken kalıp malzemesi olarak genellikle özel kalite dökme demir veya çelik kullanılır. Düşük sıcaklıkta eriyen metallerin dökümü için bronz da kullanılmaktadır. Kokil dökümde tek bir kalıpla demir esaslı malzemelerden 3.000-10.000, alüminyum gibi düşük sıcaklıkta eriyen malzemelerden ise 100.000'e kadar parça dökülebilir.

Metal kalıcı kalıba döküm yönteminde katılaşma sırasındaki soğuma, kum kalıplardan daha hızlı olduğu için iç yapı daha ince tanelidir. Boyut hassasiyeti 0,25 mm olup, parça yüzeyleri temizleme işlemi gerektirmeyecek kadar yüksek kalitelidir. Metal kalıplarda kullanılan maçalar metal, kum veya alçıdan yapılabilir. Metal olmayan maçaların kullanılması halinde yöntem yarı kalıcı kalıba döküm olarak adlandırılır. Kalıp ömrünü arttırmak için kalıp boşluğu refrakter malzemelerle kaplanır ve bu sayede parçanın kalıptan çıkarılması da kolaylaşır.

Kokil kalıplar genellikle açılıp kapanan iki veya daha çok parçadan oluşur. Kalıp kapandıktan sonra oluşan boşluğa erimiş metal dökülür ve katılaşma beklendikten sonra kalıp açılarak parça çıkarılır. Bu işlemler elle yapılabileceği gibi, bir tertibat yardımıyla veya mekanizasyona geçilmesi halinde makinalar tarafından da yapılabilir. Kalıp üretiminde kalıp boşluğu ve diğer kanallar işlenerek açılır. Kalıp malzemesi geçirgen olmadığından hava kanallarının da açılması zorunludur. Kokil kalıp tasarımı büyük deneyim ister. Metal kalıpların cidar kalınlığının belirlenmesinde ısı girdi ve çıktılarının dikkate alınması gerekir. Çünkü bu yöntemlerin başarısı kalıbın sürekli çalışma sıcaklığına bağlıdır. Kalıp cidar kalınlıkları genellikle 18-50 mm arasında seçilir. Gerektiğinde kalıp soğutulabilir.

Kokil kalıbın üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

-İnce taneli iç yapı sayesinde mekanik özellikleri daha iyidir.

-Hassas boyu toleransları sağlanabilir.

-Karmaşık parçaların üretimi mümkündür.

-Parçanın yüzey kalitesi iyi olup, temizleme masrafları düşüktür.

-Seri üretim için ekonomik bir uygulamadır.

Yöntemin sakıncaları ise şunlardır:

-Kokil kalıp pahalı olduğundan yöntem ancak seri üretimde ekonomiktir.

-Bu yöntemle her malzeme dökülemez

-Sadece küçük parçaların üretimi için uygundur.

Genellikle demir dışı metallerin dökümünde kullanılan kokil döküm yöntemiyle üretilen parçalara örnek olarak soğutucu kompresör gövdeleri, hidrolik fren silindirleri, biyel kolları, alüminyum daktilo parçaları ve mutfak eşyaları gösterilebilir. Kalıcı kalıplara bir diğer örnek de grafit kalıplardır. Bu kalıplar alüminyum, magnezyum gibi alaşımlardan az sayıda parça için tercih edilirler. Döküm sıcaklığı arttıkça kalıp ömrü azalır. Ancak çok çabuk aşındıklarından sadece özel uygulamalarda kullanılırlar.

3.3. Köpük Kalıp Yöntemi

Döküm parçasının dolu kalıba döküm yöntemi ile üretimine karar verilmiş ise üretim sırasında kullanılacak olan ekipmanlar, kalıplar ve üretim parametrelerin dikkatle belirlenmesi şarttır. Özellikle köpük model kalitesi ki burada modellerde elde edilecek olan yüzey ve genel karakteristikler belirleyici unsurlardır, üretim sonundaki döküm parçasının kalitesini belirlemektedir. Köpük modellerin üretiminde kullanılacak olan kalıpların basit veya karmaşık olarak tasarımı yapılmış olabilir. Karmaşık bir döküm parçası üretimi yapılacak ise köpük modelin kesitleri ayrı ayrı üretilerek son aşamada birleştirilmekte ve nihai köpük modelli oluşturulmaktadır.

Prototip veya az sayıda parça üretimi için köpük blokları kesilerek işleme yoluyla modellerin üretimi yapılabilir. Dolu kalıba döküm yöntemi şu işlem basamaklarından oluşmaktadır;

a) Köpük tanelerin üretimi,

b) Buhar vasıtasıyla köpük tanelerin ön şişirilmesi,

c) Ön şişirilmiş köpük tanelerin kalıplar içinde arzu edilen şekle getirilmesi,

d) Köpük model parçaların bir araya getirilerek yapıştırılması,

e) Köpük modelle aynı malzemeden imal edilmiş olan yolluk ve besleyici sisteminin modelle birleştirmesi ile beraber döküm salkımın oluşturulması,

f) Köpükten yapılmış olan döküm salkımın sıvı refrakterle kaplanması ve kurutulması,

g) Refrakterle kaplı köpük döküm salkımın döküm derecesi içine yerleştirilmesi ve bağlayıcı içermeyen kumla döküm derecesin doldurulması,

h) Ergimiş metalin döküme hazırlanması ve döküm işlemin gerçekleştirilmesi,

i) Döküm parçasının katılaşmasından sonra kaplama refrakterin yüzeyden uzaklaştırılması ve parçanın temizlemesi.

4. Kalıplama Sistemi

Kalıp boşluğunun meydana getirilmesi için kumdan kalıp yapımına kalıplama denir. Kalıplama sistemini oluşturan unsurların başında maçalar, yolluk sistemi, besleyici ve çıkıcılar gelir.

4.1. Maçalar

Döküm parçaların boş çıkması istenen kısımlarına konulan ve özel şekilde hazırlanmış ölçülü kum kütlelerine maça denir. Kalıplamada kum maçaların kullanım alanının oldukça geniş olmasına rağmen madenden yapılan maçlarda vardır. Madeni maçalar genellikle kokil kalıplarda kullanılır. Maçalar döküm parçada makine işçiliğini azaltırlar. Konstrüksiyon bakımından farklı kesitlerdeki soğumaları dengeleyerek döküm parçaya sağlamlık kazandırırlar. Kalıplama işçiliğini kolaylaştırırlar. Maçalardan istenen özellikler kısaca şöyledir:

* Dayanıklı olmalıdırlar

* Gaz geçirgen olmalıdırlar

* Isıya dayanıklı olmalıdırlar

* Esneyebilmelidirler

* Nem almamalıdırlar

* Dökümden sonra kolayca boşalabilmelidirler

4.2. Yolluk Sistemi

Ergiyik madenin kalıp boşluğuna gidişini sağlayan kanalların toplamına yolluk sistemi denir. Yolluk sistemleri dökülen parçanın biçim ve boyutları ile alaşımına göre çeşitli şekillerde olurlar. Bir yolluk 4 bölümden meydana gelir. Bunlar havşa, gidici, curufluk (veya yatay kanal) ve memedir. Yolluk sisteminin görevleri şunlardır:

* Kalıbın tam ve kusursuz olarak doldurulmasını sağlamak

* Curuf, oksit ve pisliklerin kalıp içerisine sürüklenmesini önlemek

* Madenin akışında çarpma ve çalkantılar meydana getirmemek

* Madenin akış hızını ayarlamak

* Soğuma ve katılaşmanın dengeli bir biçimde olmasını sağlamak

* Hava ve diğer gazların kalıp içerisine sürüklenip sıvı metalle temasını engellemek

* kalıp işçiliğini arttırmamak

* Maden kaybını en aza indirmemek

* Aşırı ısı kaybına neden olmamak

4.3. Besleyici

Kalıba dökülen maden ve alaşımlar soğuyup katılaşırken hacimleri küçülür. Bunun sonucu olarak çöküntü adı verilen boşluklar oluşur. Çöküntüler hatalı dökümlere sebep olur. Çöküntüsüz döküm parça elde etmek için kalıbın uygun yerlerine besleyici adı verilen ergiyik maden kütleleri bağlanır. Hacim küçülmesinden meydana gelen çöküntüler besleyiciden gelen ergiyik madenle beslenirler. Besleyiciler çok defa çöküntüyü önlemez ancak parça dışına çıkarırlar. Çöküntü besleyicide oluşur.

4.4. Çıkıcı

Döküm sırasında kalıp gazlarının kalıptan dışarı çıkması için açılan kanallara çıkıcı denir. Kalıp gazları kalıp boşluğundaki hava ile döküm sırasında meydana gelen su buharı ve diğer gazların karışımıdır. Kalıp sıvı madenle dolarken, kalıp gazları giderek küçülen kalıp boşluğuna sıkışırlar. Kalıp içerisinde bir basınç meydana getirirler. Bu basınç ve kalıptan çıkmayıp içeride kalan gazlar, çeşitli döküm hatalarına sebep olabilir. Sıkışan gazlar, kalıp kumunun gözenekleri ve şiş delikleri ile kalıp boşluğunu terk ederler. Ancak yeterli olmadığı zaman uygun yerlere açılacak çıkıcılardan yararlanılır.

5. Döküm Hataları

Bütün imalat usullerinde olduğu gibi dökümde de bazı hatalar meydana gelmektedir. Hata oranı parça boyutu ve biçimi, malzeme ve döküm uygulamalarına bağlı olarak %30 a kadar varabilir. Üretimin değişik aşamalarında ortaya çıkan döküm hataları aşağıda belirtilen olaylardan biri veya birkaçındaki yanlışlıklardan kaynaklanmaktadır.

* Parça tasarımı

* Model tasarımı ve üretimi

* Kalıp tasarımı, malzemeleri ve kalıplama işlemi

* Döküm işlemi

* Malzeme seçimi

* Bitirme işlemleri

Döküm yöntemiyle üretilen parçalarda rastlanan kusurlar şunlardır:

*** Çekme Boşlukları,** katılaşma sırasında sıvı metal ile beslenemeyen kalın kesitlerde oluşan ve genellikle cidarları pürüzlü olan boşluklardır.

*** Gaz Boşlukları,** kalıp boşluğunda var olan veya sıvı metalde çözünmüş gazların metali ve kalıbı terk edememesi sonucu oluşur. Çekme boşluklarından farkı cidarlarının düzgün oluşudur.

Bunların dışında karşılaşılan diğer hatalar; kayma, çapak, soğuk birleşme, sıçramalar, eksik döküm, şişme, metal penetrasyonu (sızma), kalıp genleşmesi, segregasyon (kimyasal bileşim), pislikler, maça yüzmesi, sızdırma, çatlaklar ve çarpılmalardır.

6. Ölçülecek Büyüklükler

Deney sırasında sıvı metal sıcaklığı ve döküş süresi ve boyutsal kararlılık ölçülecek büyüklüklerdir. Sıvı metal sıcaklığının ölçülmesi için daldırma prometre, döküş süresinin ölçülmesi için ise kronometre kullanılacaktır. Ayrıca döküm parçanın eksiksiz üretilebilmesi için gerekli yolluk ve besleyici hesapları belirlenecektir.

7. İstenenler

Şekli verilen modelin yolluk sisteminin tasarlanması

Muhtemel döküm hatalarının belirlenmesi

8. Kaynaklar

8.1. “Döküm teknolojisi I, Doç. Dr. Ergin N. ÇAVUŞOĞLU

8.2. “Genel dökümcülük bilgisi Cilt 1 ve 2, Sabri FİDANER, Süleyman ÇELİK, Halil DOĞMUŞ

8.3. “Malzeme Bilgisi, Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

LABORATUVAR FÖYÜ

NUMUNE ALMA, NUMUNE AZALTMA, NEM ANALİZİ

GÜZ, 2026

NUMUNE ALMA ve NUMUNE AZALTMA

Deneyin amacı

Ana kütleden alınan numune, ana kütleyi temsil etmelidir.

Taneli (granül) bir malzemeden alınacak minimum numune miktarını belirlemektir.

Alınan bu minimum numune temsili olması için numune azaltma yöntemi ile azaltılmalıdır.

Teorik bilgi

Alınacak numunenin aslını (ana kütleyi) temsil etmesi şarttır. Numune almanın doğruluğunu etkileyen faktörler şunlardır.

a) tane boyutu,
b) tane yapısı ve şekli,
c) özgül ağırlık,
d) nemlilik,

Alınacak numunenin en az miktarı ve doğruluğu matematiksel ve istatistik yöntemlerle belirlenir. Alınan numune miktarı tane iriliğine bağlı olarak Taggart eğrilerinden aşağıdaki Tabloda verilen miktarlarda alınır.

Heterojen dağılım numune miktarı = 1,444 HNM

HNM = Heterojen dağılım numune miktarı

Tablo . Minimum Numune Miktarı

Maksimum tane boyutu	**Homojen dağılım** **Numune miktarı**
10 µm	0,9 g
20 µm	10 g
30 µm	20 g
40 µm	30 g
50 µm	40 g
60 µm	50 g
65 µm	55 g
70 µm	60 g
75 µm	65 g
80 µm	70 g
90 µm	80 g
100 µm	90 g
500 µm	900 g

600 µm	2,5 kg
700 µm	4,1 kg
800 µm	5,75 kg
900 µm	7,4 kg

1 mm	9 kg
2 mm	100 kg
3 mm	200 kg
4 mm	300 kg
5 mm	400 kg
6 mm	500 kg
7 mm	600 kg
8 mm	700 kg
9 mm	800 kg
10 mm	900 kg

Deneyin yapılışı

Numune alınacak malzeme yığın yapılır, yığın dağıtılır, tekrar yığın yapılır. Bu şekilde homojen olarak karıştırılarak koni biçiminde bir yığın haline getirilir.

Koni biçimindeki yığının tepesi kürek ile bastırılarak yayılır. Yığın her tarafı aynı kalınlıkta olan bir daire olacak şekilde düz hale getirilir.

Oluşan daire biçiminde eksenler çizilip dörde bölünür.

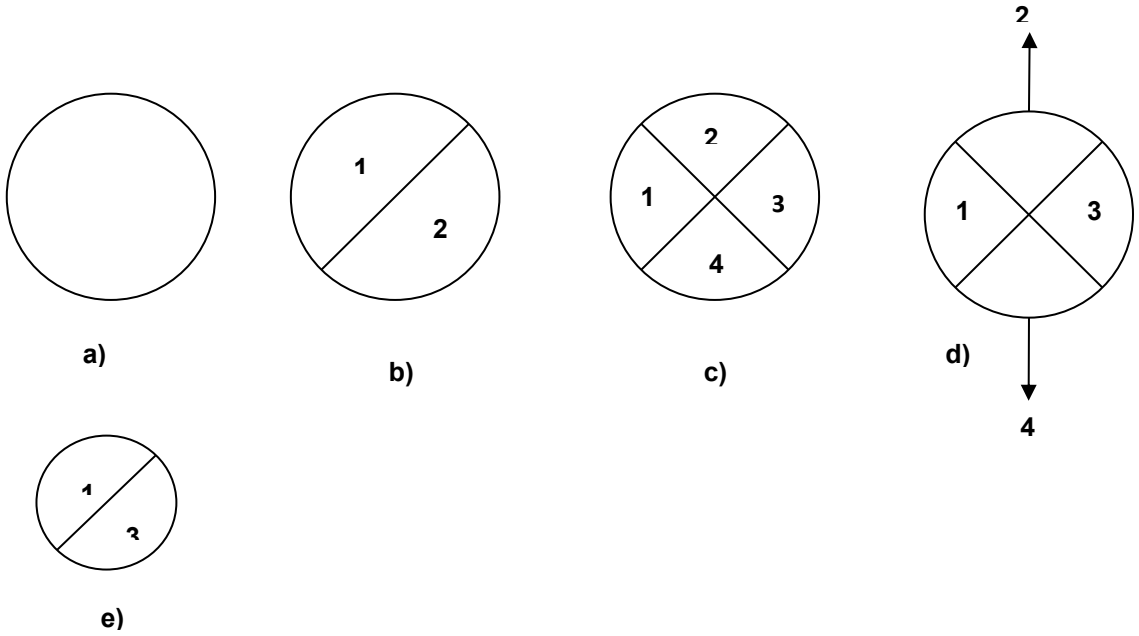
Önce 1 ve 3 alınır. 2 ve 4 atılır.

1 ve 3 yığın yapılır kürekle tepesinden bastırılır.

Oluşan daire biçiminde eksenler çizilip dörde bölünür.

Bu kez 2 ve 4 alınır. 1 ve 3 atılır.

Bu işlem alınacak numune miktarına göre birkaç kez tekrarlanır.



Şekil. Numune azaltma yöntemi akım şeması

Deney

Malzeme= 63 um tane boyutlu seramik masse

Minimum alınacak numune miktarı = ?

Tablodan Minimum Numune Miktarı 65 um tane boyutu için 55 g numune alınmalıdır.

Numune miktarı = 1 000 g

numune miktarı	1000 g
1	500 g
2	250 g
3	125 g
4	62,5 g
5	37,5 g

Minimum numune miktarı 55 g olduğu için bu deneyde en az numune miktarı 62,5 ± 3 g alınır.

Ana kütleyi temsil eden numune miktarı en az 62,5 ± 3 g olmalıdır.

NEM DENEYİ

DENEYİN AMACI

Taneli bir malzemenin nem oranını belirlemektir.

Teorik bilgi

Kurutma süresi sonunda tartılan numune ağırlığı bir önceki ağırlıkla aynı ise buna sabit tartım denir.

DENEYİN YAPILIŞI

Numune 100 µm öğütülür. Sabit tartıma getirilmiş bir porselen krozeye 1 gram numune alınır. Krozenin üzeri filtre kağıdı ile kapatılır ve 110 ˚C deki etüvde 1 saat kurutulur. Sabit tartıma gelince desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulur ve tartılır. Buradan;

$$Nem\% = \frac{Nemli agirlik - kuru\ agirlik}{Nemli\ agirlik}$$

Tablo deney sonuçları

deney no	**kurutma süresi**	**numune ağırlık, g**
1	1 h	
2	2 h	
3	3 h	
4	4 h	

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

LABORATUVAR FÖYÜ

MANYETİK PARÇACIKLARLA MUAYENE DENEYİ

GÜZ, 2026

Manyetik Parçacıklarla Muayene

DENEYİN AMACI: Manyetik özellik gösteren parçaların manyetik parçacıklarla tahribatsız olarak muayenesini hakkında bilgi vermek, yöntemi tanıtmak

TEORİK BİLGİ:

Manyetik parçacık yöntemi, yüzey ve yüzeye yakın hataların tespitinde ve yerlerinin belirlenmesi işleminde kullanılan oldukça basit, hızlı ve düşük maliyetle uygulanabilirliğinden dolayı ferromanyetik malzemelere uygulanan oldukça geniş bir kullanıma sahiptir. Bu yöntemde yüzey hatalarının belirlenebilmesi hatanın boyutuna ve yüzeye yakınlığına bağlı olup sadece ferromanyetik yani mıknatıslanabilen malzemelere uygulanır. Yöntemin temel esası incelenen malzemenin manyetikleştirilmesi esasına dayanmaktadır. Manyetikleştirme işlemi, parçadan elektrik akımı veya doğrudan manyetik akı geçilerek gerçekleştirilir. Ferromanyetik malzemeler bu manyetik akıya hiç bir direnç göstermezler aksine bu manyetik akının geçmesine katkıda bulunurlar (Şekil 3). Şekil 4'den de görüleceği gibi eğer manyetik alan içerisinde hata varsa, hatadaki boşluk alan çizgilerini engelleyecek ve saptıracaktır. Bu duruım hata üzerinde yoğun bir kaçak akım oluşturur ve kaçak akımın büyüklüğü hatanın buyutu ile doğru orantılıdır.

Bu yöntem ile ferromanyetik malzemeler (Fe, Co, Ni ve alaşımları) tahribatsız olarak kontrol edilebilir. Yöntemde, elektrik akımından istifade etmek suretiyle muayene parçası magnetlenir. Sonra parça üzerine manyetik tozlar tatbik edililir. Manyetik tozlar, muayene parçalarının içerisindeki hatalar nedeniyle, manyetik geçirgenliğin değişken olduğu kısımda hatanın şekline benzer şekilde toplanmak suretiyle yüzey ve yüzeyden belirli bir derinlikte olan hataları belirgin hale getirir. Eğer hatalar manyetik alan yönüne dik geliyor ise en iyi bir şekilde algılanır. Buna karşın manyetik alan yönüne paralel hatalar iyi bir şekilde algılanmaz.

Yöntemde muayene parçasının durumuna göre farklı magnetleme seçenekleri mümkündür;

- bobinle magnetleme
- çerçeve yöntemi (manyetik probe)
- problar ile magnetleme
- merkezi iletken

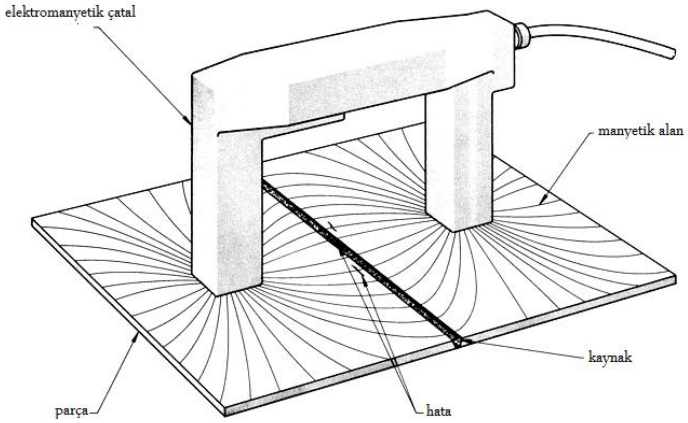
Ayrıca uygulamada bu tahribatsız muayene yöntemi kuru ve ıslak olmak üzere iki şekilde de uygulanabilir:

- **Kuru yöntem:** Manyetik tozların hava ile birlikte bulut şeklinde deney parçasına püskürtüldüğü yöntemdir. Çalışma ortamında hava akımının çok iyi olması gerekir. Zira hava akımı olmadan tozlar aniden çökelir, hatalı ve kalitesiz görüntü oluşur. Bu etkiyi önlemek amacıyla düşey konumda çalışmak

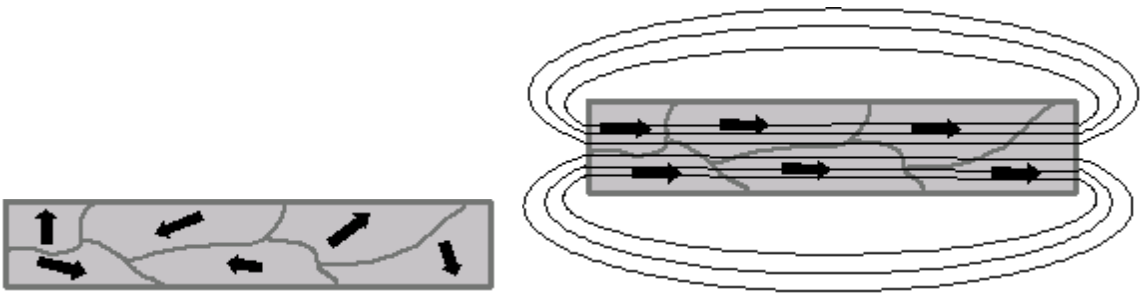
tercih edilir. Kuru yöntemle 300 °C sıcaklığa kadar çalışmak mümkündür. Eğer iş parçasında nem vs. varsa tozlar burada

topaklaşacağından hatalı algılamalara neden olabilir. Sonuç olarak, sıcak çalışma koşullarının dışında kuru yöntem genelde tercih edilmeyen bir yöntem olarak bilinir.

- **Islak yöntem:** Manyetik tozların taşıyıcı bir sıvıyla uygulandığı yöntemdir. 60 °C sıcaklığa kadar çalışılabilir. Bu sıcaklığın üzerinde buharlaşma olduğundan çalışma sıcaklığı sınırlaması vardır. Islak yöntemle daha küçük süreksizlikler örneğin yüzeyden 0,02 mm derinlikteki yorulma ve taşlama çatlakları algılanabilir. Tozlar ıslak olduğunda çok daha fazla hareket yeteneği kazandıklarından pürüzlülüğü fazla olan yüzeylerde başarı ile uygulanırlar. Taşıyıcı sıvılar su ve düşük viskoziteli parlama noktası yüksek petrol türevi maddelerdir. Suyun sakıncalı yönü korozif etkili olması ve korozyon geciktirici inhibitör, topaklaşmayı önleyici dispersiyon maddeleri, 0 °C'nin altında çalışıldığı durumda antifriz gereksinimlerindendir.

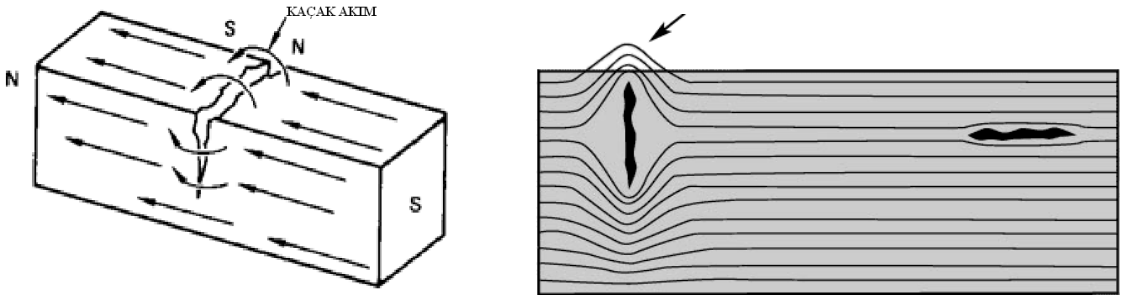


Şekil 1. Çerçeve ile manyetik alan oluşturup kaynak dikişinin muayenesi



a b

Şekil 2. Metalik malzemelerin manyetik davranışı: a) Manyetik olmayan malzeme, b) Manyetik malzeme

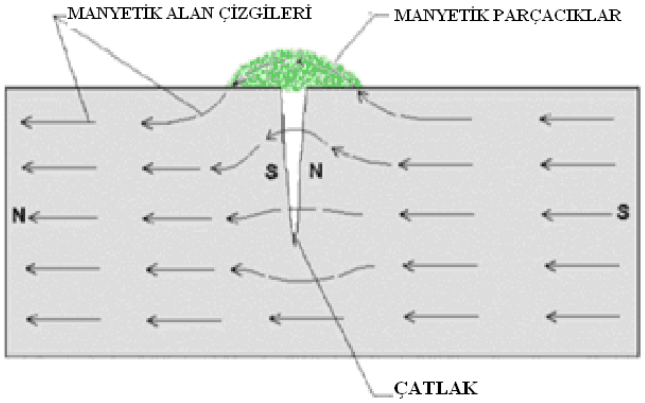


a b

Şekil 3. Manyetik alan çizgileri a) yüzeysel, b) yüzey altı

Bünyesinde hata bulunan bir malzeme yüzeyine manyetik alan uygulanmış durumunda, yüzeye ferromanyetik tozlar serpilirse bu tozlar hataların bulunduğu bölgelerde oluşan kaçak akılar tarafında çekilerek bu süreksizlikler üzerinde toplanarak kaçak akının geçişi

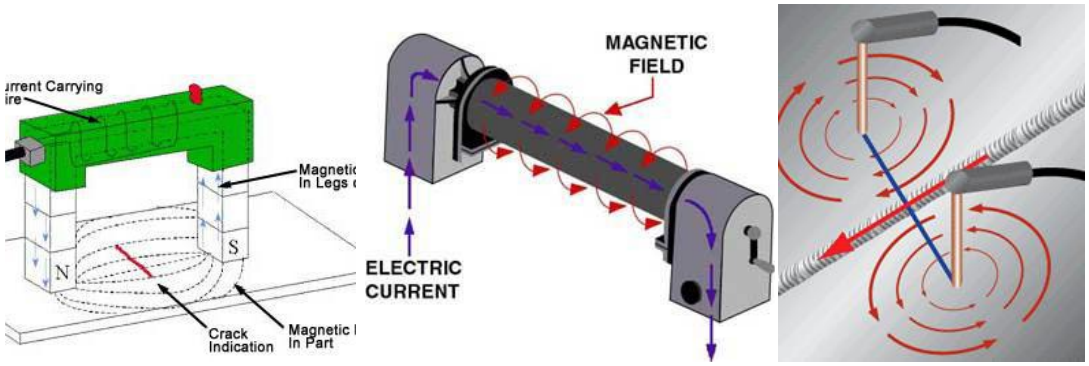
için köprü oluştururlar. Böylece, mevcut süreksizliklerin yerleri tespit edilmiş olunur. Şekil 4 manyetik parçacık yönteminin şematik uygulanışını göstermektedir.



Şekil 4. Manyetik parçacık yönteminin şematik görünümü

Ferromanyetik olmayan malzemelere uygulanamaz. Süreksizlik uygulanan manyetik alan yönüne uygun açıda konumlanmamış durumda ise belirlenemez. Büyük parçalar için çok yüksek mıknatıslama akımları gerekebilir. Muayene yüzeyinin çok pürüzlü olması, sonucu olumsuz etkiler. Muayene yüzeyinde boya veya kaplama varsa bunun kalınlığı muayene sonucunu doğrudan etkiler. Manyetik tozlar kuru ise un görünümünde toz şeklindedir. Tozlar, kullanıldıkları yere göre yaş ve kuru olarak iki tiptedir. Ayrıca, bu tozlar kullanılacakları zemin ile kontrast oluşturacak renkte veya floresans içerikli olarak seçilirler.

Bu yöntemle parça üzerinden geçirilen akım yönüne paralel veya oluşan manyetik Alana dik olan en az 10 mm derinliğinde, en az 1 mm genişliğinde ve 0,2 mm boyundaki yüzeysel ve yüzeyin en fazla 40 mm altındaki hatalar belirlenebilir.



a b c

Şekil 5. Manyetik parçacık yöntemleri a) Elektro bobbin ile manyetikleştirme, b) Enine manyetikleştirme, c) Hareketli elektrot kullanımı

Manyetik parçacık yönteminin uygulanış aşamaları

1. Muayene yüzeyinde ön temizlik

2. Gerekiyorsa mıknatıslık giderimi

3. Mıknatıslama akımının uygulanması

4. Ferromanyetik tozların püskürtülmesi

5. Mıknatıslama akımının kesilmesi

6. İnceleme

7. Değerlendirme ve rapor hazırlama

8. Mıknatıslık giderimi ve son temizlik

a b

c d

Şekil 6. Manyetik parçacık muayenesi uygulanmış çeşitli parçaların fotoğrafları; a) Kaynak dikişi, b) Yatak zarfı, c) Menteşe, d) Tahrik mili

DENEYİN YAPILIŞI:

Çelik plaka manyetik probe ile magnetlenir. Üzerine manyetik tozlar tatbik edilerek parça kontrol edilir. Hataların algılanması sağlanır. Aynı parça, manyetik alan çizgileri hataya paralel olacak şekilde manyetikleştirilerek hata algılamasındaki değişiklikler gözlenir.

İkinci deney parçası, manyetik probe ile magnetlenir. Bu kez ultraviyole ışık altında, floresans etkili manyetik tozlar kullanılarak inceleme yapılır.

İstenilenler:

- Yöntemin avantaj ve dezavantajları nelerdir?
- Yöntem ile ne tür hatalar tespit edilebilir?

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

LABORATUVAR FÖYÜ

KAYNAK TEKNOLOJİSİ DENEYİ

GÜZ, 2026

KAYNAK TEKNLOJİSİ DENEYİ

1. AMAÇ

Bu deneyin amacı, kaynak yolu ile yapılan birleştirmeler hakkında teknolojik bilgi verilmesi ve bu birleştirmeler sonucu malzemelerde meydana gelen bozulmaların metalurjik yönden belirlenmesi, incelenmesi ve düzeltme çarelerinin ortaya konulmasıdır.

2. TEORİK BİLGİ

Kaynağın Tanımı: Teknik literatürün yaptığı birçok ve farklı kaynak tanımları arasından en belirgin olanı, süreklilik kavramından bahseden tanımdır. Bu tanıma göre kaynak, daha sonra görülecek yöntemler kullanılarak, birleştirilecek parçalar arasında bir süreklilik oluşturma işlemidir. Welding Institute (Ingiliz Kaynak Enstitüsü) 'ün armasının üzerinde şu sözler yazılıdır: "e duobus num" , yani "birlikten kuvvet doğar.".

Bütün metaller dahil olmak üzere plastikler için de geçerli olan bu tanım, söz konusu metaller arasında metalik devamlılığı sağlamak olduğunda bütün metaller ve alaşımlara uygulanabilmektedir. Makroskopik düzeyde, metalik devamlılık birleştirilen parçaların arasındaki bütün metal olmayan maddelerin ortadan kalkması demektir. Bu yönden kaynak, perçin, civata ve yapıştırma ile sağlanan bağlantılardan farklıdır. Böyle bir devamlılık birleşme alanı boyunca kimyasal yapıda homojenliği sağlamayabilir. Bir kaynak dikişi hem homojen (Örnek: aynı cins kapak pasosuyla yapılan yumuşak çelik dikişi.), hem de heterojen (Örnek: bakır-metal kapak pasosuyla yapılan dökme çelik dikişi.) olabilir. Kaynak işleminin İstenmeyen bir sonucu olarak, birleşme bölgesinde bir heterojenlik gözlenebilir (örnek: çeliklerin kaynağında dekarbürizasyonun bir sonucu olarak).

Kristal yapı bazında daha derinlemesine yapılacak bir inceleme kaynak işleminin sağladığı metalik devamlılığın doğası üzerinde daha da aydınlanılmasına yardım edecektir. İşlemden önce birleştirilecek parçaların atomları iki ayrı gurupta toplanmışlardır. Kaynak işleminden sonra devamlılık bu iki grubun araya hiçbir yabancı atomun giremeyeceği şekilde bir tek gurup altında toplanmasıyla meydana gelir. Kaynak işleminin asıl özelliği, sözü geçen birleşme bölgesinde metallerin atomsal yapısı göz önüne alındığında, hiçbir süreksizliğe yer vermemesidir. O halde kaynak işleminin tümü, bu birleşmedeki sürekliliği bozacak metal olmayan yabancı maddelerin uzaklaştırılması işlemini de kapsamalıdır. Birleştirilecek A ve B parçalarını oluşturan atomlar önce iki ayrı bölgede toplanmışlarken, kaynak işleminden sonra tek bir bölge oluştururlar.

Kaynak işleminde Enerji Transferi:

A: *Gaz yolu ile transfer:* Bu grup, bağlantı için gerekli enerjinin, sıcak bir gaz veya gaz karışımı ile esas metal arasında oluşturulan ısı geçişi sonucu sağlanan işlemleri kapsar. Bu işlemlere, gaz eritme kaynağı, gaz lehim, lehim kaynağı, ve hatta gaz basınç kaynağı örnek olarak verilebilir. Bu sınıflandırma içinde plazma kaynağını da saymak gerekir. Çünkü, bu işlemde enerji transferi, plazmayı meydana getiren iyonize olmuş bir gaz sayesinde olmaktadır. Aynı eskiden atomik hidrojen kaynağı adı verilen ve artık pek fazla kullanılmayan yöntemde olduğu gibi.

B: *Elektrik arkı yolu ile transfer*: Kaynak edilen mamullerin tonajı ve ihtiva ettiği değişkenlerin çokluğu nedeniyle en önemli yöntem budur. Yöntemlerin çoğunda elektrik arkı, esas metalin erimesine neden olur ve birleşme eriyen metalin esas metal üzerinde katılaşması ile gerçekleşir. Bu birleşme İlave metal olmadan (örnek olarak TIG kaynağı, yani erimeyen elektrot kullanarak) veya genellikle İlave metal ile birlikte olabilir. Elektrik arkı aynı zamanda esas metalden daha çok eriyebilen bir metal yardımıyla bir sıvı-katı teması

oluşturarak birleşmeyi sağlamak amacıyla da kullanılabilir: Bu işleme arklı lehim kaynağı denir. Sonunda birleştirilecek parçaların arasında ark meydana gelirken, bir miktar basınç yardımıyla sıvı faz yok edilip, katı fazda birleşme sağlanabilir. Bu da çevresel birleştirmelerin yapılmasına olanak sağlayan döner arklı kaynak yöntemidir.

C: *Radyasyon yolu ile transfer*: Bu grupta, yüksek enerjili bir kaynaktan (elektrik arkı veya güneş enerjisi) gelen elektron ışınlarının veya LASER'in kullanılması söz konusudur. Bütün bu işlemler yalnızca eritme yöntemini kullanırlar.

D: *Mekanik etki yolu ile transfer:* Tek aktivasyon enerjisi olarak mekanik bir etkiye (şekil değiştirme veya sürtünme) yol açan aktivasyon enerjisi kullanan yöntemlerin hepsi B grubuna aittirler. Çünkü bunlar, gerek araya sıvı veya viskoz bir geçiş fazı sokarak (sürtünme kaynağı ve patlamalı kaynak işlemlerinde olduğu gibi), gerekse doğrudan katı fazda (soğuk basınç kaynağı veya ultrason kaynağı) bir birleşme meydana getirirler.

E: *Elektrik akımının geçmesi yolu ile transfer:* Bu gurupta birleştirilecek parçaları kat eden bir elektrik akımının bulunduğu ve bu akım Joule etkisi sonucu parçaların birleşme yerinde bir ısı meydana getirdiği yöntemler bulunmaktadır. Bu bir miktar basıncın da etkimesini gerektirmektedir. Bu yöntem, birleşmenin sıvı fazda gerçekleştiği nokta direnç kaynağı, birleşmenin geçici bir sıvı fazdan sonra katı fazda gerçekleştiği yakma alın kaynağı ve yüksek frekanslı endüksiyon kaynağı veya birleşmenin tamamen katı fazda gerçekleştiği alın direnç kaynağı işlemlerinde kullanılmaktadır.

F: Diğer yöntemler: Sınıflandırılmamış birkaç enerji transferi yöntemi yukarıda yapılan gruplandırmaya girmemiştir. Bu duruma, bir İlave metalin daha sonra esas metalin içine nüfuz etmesi için eritildiği lehimleme veya lehim difüzyonu yöntemlerinde, veya birleşmenin katı fazda, basınç altında ve belirli olmayan bir ısı yardımı ile gerçekleştiği difüzyon kaynağı yöntemlerinde rastlanmaktadır. Diğer taraftan, A'dan F'ye kadar olan gruplar, bütün enerji transferi yöntemlerini kapsamamaktadır.

Metalik Devamlılığın Oluşmasının Sonuçları ve Sınıflandırılması: Kaynak işlemlerinin tümü incelenirse, metalik sürekliliği sağlamak için yukarıda sayılan yöntemlerden hangilerinin kullanılması gerektiği araştırılmak istenirse ortaya çok basit bir sınıflandırma çıkar. Çünkü bütün kaynak işlemleri operasyon esnasında aşağıda belirtilen üç durumdan birini kapsamak zorundadır:

a) Sıvı/katı birleşmesi: Birleşmenin, sıvı fazdaki bir malzemenin katı fazdaki esas metal ile temas durumunda katılaşması sonucu elde edildiği kaynak işlemleri.

b) Katı/katı birleşmesi: Bu sınıf, metalik sürekliliğin katı halde bulunan birleştirilecek parçalar arasındaki temas ile sağlandığı işlemleri kapsar.

c) Buhar/katı birleşmesi: Burada, sıvı halde bulunan katkı malzemesinin katı halde bulunan esas metal üzerinde yoğuşması söz konusudur. Nispeten çok ender kullanılan bu işlem bazı lehimleme veya yüzey kaplama işlemlerinde uygulanır.

Yukarıda belirtilen ilk iki sınıf kendi aralarında aşağıdaki gibi bölümlere ayrılırlar:

- a.1. Esas metalin erimesiyle sıvı/katı birleşmesi oluşumu. Yani esas metalin ek olarak veya kısmen (İlave metal kullanılarak) kaynak banyosunun hazırlanmasına katılmasıdır. Burada eskiden "otojen" adı verilen kaynak işlemlerinden bahsedilmektedir. Bu terim bugün tarihsel sebepler yüzünden hiç kullanılmamaktadır. Bu terim daha çok Almanca ve Rusça'da gaz eritme kaynağı anlamını taşımaktadır

- a.2. Esas metalin erimediği sıvı/katı birleşmesi oluşumu. Yani, burada esas metal kaynak banyosunun hazırlanmasında rol oynamamaktadır. Bu sınıf lehim ve lehim kaynağı işlemlerini kapsar.
- b.1. Esas metalden kaynaklanan sıvı veya akışkansı bir geçiş fazının ön oluşumu ile elde edilen bir katı/katı birleşmesi oluşumu. Bu faz oluşumu daha sonra operasyon süresince ortadan iki şekilde kalkar:

    1. Tamamen (Yakma alın kaynağı veya sürtünme kaynağı)

    2. Yavaş yavaş (Patlamalı kaynak)

- b.2. Daha yukarıda anlatılan yöntemlerden biri kullanılarak katı fazda direkt temasa dayanan katı/katı birleşmesi oluşumu (soğuk veya sıcak şekil değiştirme).

Birleşme çizgisinin iki yanında bulunan bu farklı oluşumlar ve bundan kaynaklanan bağlantı şekilleri, bilinmesi gereken şu üç olayın tek başına ya da beraber meydana gelmeleri sonucu elde edilirler:

- Bir İlave metalin katılması (m),
- Birleştirilecek parçalara basınç uygulanması (beraberinde sonuç olarak bütünsel veya bölgesel şekil değiştirmelere sebep olarak) (p),
- Birleşme çizgisi düzeyinde bir sıcaklık farkına neden olunması (T).

a.1.1 A İlave metal olmadan yapılan kaynak (alev veya plazma).

a.1.3 A İlave metal kullanılarak yapılan kaynak (alev veya plazma).

a.2.1 A Gaz lehim ve lehim kaynağı.

a.2.2 A Gaz basınç kaynağı.

a.1.1 B İlave metal olmadan yapılan ve erimeyen elektrot kullanılan elektrik ark kaynağı (TIG).

a.1.3 B Erimeyen elektrot kullanılan elektrik ark kaynağı (İlave metal kullanılan TIG kaynağı).

Eriyen elektrot veya tel ile yapılan ve cüruf tutucu kısımlar altında dikey yapılan toz altı elektrik-ark kaynağı.

a.2.1 B Arklı lehim kaynağı.

a.1.1 B Döner arklı kaynak.

a.1.1 C Elektron kaynağı veya LASER kaynağı.

a.1.3 C Güneş enerjisi veya ark nüfuz kaynağı.

b.1.1 D Sürtünme kaynağı.

b.1.2 D Patlama kaynağı.

b.2.1 D Soğuk basınç kaynağı.

Ultrason kaynağı.

a.1.2 E Punto direnç kaynağı.

a.2.2 E Alın direnç kaynağı.

Dirençli lehimleme.

b.1.1 E Yakma alın kaynağı - Yüksek frekans endüksiyon kaynağı.

b.2.2 E Alın direnç kaynağı.

Orta frekans endüksiyon kaynağı.

b.1.3 F Lehimleme - yayınma.

b.2.2 F Difüzyon kaynağı.

a.1.3 F Termit (Alümino-termik) kaynağı.

a.2.0 F Demirli lehim.

b.2.2 F Çekiç (ocak) kaynağı.

Isının Tesiri Altındaki Bölgeler

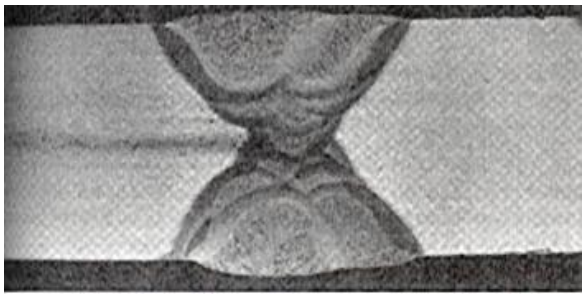
Teorik olarak ITAB ortam sıcaklığının üzerinde kalan tüm bölgeyi kapsar. Pratik olarak, kaynak yönteminin ısısı tarafından etkilenmiş olduğu ölçülebilen bölgedir.

Buradan, haddelenmiş karbonlu çelik için ITAB yaklaşık olarak 700°C'den daha küçük sıcaklık altındaki esas metal bölgesini kapsamaz böylece kaynak ısısı küçük bir bölgeyi etkilemiş kabul edilir. Tam tersi, su verme ısıl işlemi yapılmış ve 315° C'de temperlenmiş olan ısıl işlem çeliğinde, kaynak sırasında 315°C'ye kadar ısınmış bölge ITAB'ın bir parçası sayılacaktır; su verme ve temperleme gibi işlemler metalin mekanik özelliklerini değiştirir.

Bir başka uç örnek olarak da, 120°C'de yaşlanma sertleştirilmesi tatbik edilen ısıl işlemli alüminyum alaşımlarıdır; bu sıcaklık derecesinin üzerinde ısınmış herhangi bir kaynaklı parça bölgesi ITAB'ın bir bölümüdür.

ITAB'ler, kaynaklı bağlantının komşu bölgelerinde sertlik değerlerinin farklılığı veya içyapısında değişim olarak tanımlanır. Kaynak ısısı tarafından meydana getirilen içyapıdaki bu değişimler sertlik profilinin çıkarılması veya dağlama yöntemleri ile gözlenebilir.

Şekil 1'de C-Mn çelik levhasının çok pasolu kaynak kesiti görülmektedir.



Şekil 1'de 40 mm kalınlığında C-Mn Çeliği kaynak kesitinin makro görünüşü kaynak pasoları ve onların üst üste binmiş ITAB'ları Kaynaklı bağlantının ITAB'ının tokluk ve mukavemeti esas metalin tipine, kaynak yöntemine ve kaynak işlemine bağlıdır. Kaynaktan etkilenen esas metallerde kaynak ısıl çevriminin yüksek sıcaklıklara ulaşılması nedeniyle ortaya çıkan ısıl işlemler tarafından tavlama etkisi veya mukavemet artışı görülür. Kaynak ITAB'ının bu sıcaklık değerleri ortam sıcaklığından, likidüs sıcaklığının sınırları arasında

değişir. Meydana gelen metalurjik işlemler düşük sıcaklıklarda yavaşça, likidus değerlerine doğru da hızlı meydana gelir.

ITAB'da kaynak ısısının çeşitli etkilerini anlamak için en iyisi kaynak yapılabilecek değişik tip alaşım tipini görmek gerekir:

1 . Katı ergiyik ile mukavemet kazandırılan alaşımlar;

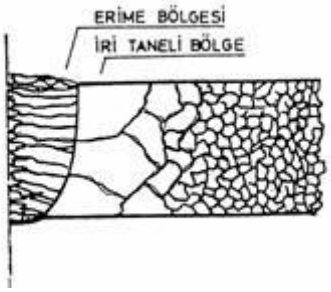
2. Soğuk şekil verme ile mukavemet kazandırılan alaşımlar;

3. Çökelme sertleştirilmesiyle mukavemet kazandırılan alaşımlar;

4. Dönüşüm yoluyla mukavemet kazandırılan alaşımlar (Martenzit gibi)

5. Şiddetli reaktif malzemeler

Bazı alaşımlara yukarıdaki listenin biri veya daha fazlasıyla mukavemet kazandırılabilirler.



Şekil 2. ITAB'de tanelerin durumu (Şematik; Dönüşüm yoluyla mukavemet kazandırılan alaşımlar)

1. İri Taneli Bölge:

Erime bölgesine bitişik olan ve kaynak esnasında 1450 ile 1150 ^{o}C arasındaki bir sıcaklığı etkisinde kalmış olan bölgedir. Bilindiği gibi metaller yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeki bir sıcaklığa ısıtıldıklarında tane büyümesi adı verilen bir olay meydana gelir. Bazı taneler büyür ve kısmen veya tamamen küçük tanelerin yerine geçer. Bunun neticesi olarak da ortalama tane boyutu büyür. Tane büyümesi hızı sıcaklık arttıkça artar ve metalin solidüsüne yaklaşıldığında büyüme çok hızlanır. İri taneli yapılar, ince taneli yapılara nazaran daha gevrek ve kırılgan olduklarından varlıkları arzu edilmez.

Östenit tane büyümesi için gerekli olan tane sınırı ilerlemesi ciddi bir şekilde tane sınırlarına çökelmiş bulunan alüminyum, vanadyum, titanyum ve niobyum nitrür ve karbonitrürleri tarafından engellenir. Bu özellikle, modern çelik yapımında, imalat esnasında tane büyümesine engel olmak için geniş çapta kullanılır; bu engelleme daha ziyade alçak sıcaklıklar için geçerlidir. Zira, nitrür ve karbo-nitrürler 900°C civarında tümü çözelti haline geçtiğinden, artık bunların tane büyümesine engel olma olasılıkları ortadan kalkar.

2. İnce Taneli Bölge:

Kaynak esnasında 900 ile 1150 ^{o}C arasında bir sıcaklığa maruz kalmış bölgede tane büyümesine rastlanmaz. Bu bölgede de östenit teşekkül etmiş olduğundan, soğuma esnasında, soğuma hızı ve çeliğin bileşimine bağlı olarak aynen iri taneli bölgede görülen iç yapıya benzer bir iç yapı görülür.

3. Kısmen Dönüşmüş Bölge:

İnce taneli bölgenin devamı olan bu bölge, kaynak işlemi esnasında A3 ile A1 arası bir sıcaklığa kadar ısınmıştır. Dolayısıyla kısmi bir östenitizasyona uğramıştır ve soğuma esnasında östenit dönüşüme uğrar ve dolayısıyla yapısındaki östenit miktarına bağlı olarak ilk iki bölgeyi andıran bir iç yapı gösterir.

4. İç Yapı Değişikliğine Uğramayan Bölge:

Bu bölge, A1'in altındaki bir sıcaklık derecesine kadar ısınmıştır. Dolayısıyla ısınma esnasında çelikte bir dönüşüm meydana gelmemiştir. Bu bölgede yalnız bazı iç yapılarda hafif bir temperleme etkisi görülebilir. Kaynak işlemi esnasında, genellikle metal ilk önce likidüsünün üstünde bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve sonra da soğumaktadır; dolayısıyla çeliklerin kaynağında, kaynak bölgesinde, yukarıda belirtilmiş olan bütün bu dönüşümler sıra ile meydana gelecektir. Isıtmayı takip eden soğuma yavaş bir şekilde gerçekleştiğinde veya çeliğin karbon ve alaşım elemanı içeriği sertleşmeyi meydana getirecek miktarda değilse, elde edilen iç yapı tane büyüklüğü hariç birincil iç yapının benzeridir. Buna mukabil sertleşme eğilimi olan çeliklerde ise, soğumanın süratli olduğu hallerde daha evvelce bahsedilmiş olan ve genellikle arzu edilmeyen özellikleri taşıyan iç yapılar ortaya çıkar ki, işte çeliklerin kaynağını etkileyen en önemli etken de budur. ITAB eritme kaynağında devamlı olarak ortaya çıkar ve bundan kaçınılması mümkün değildir. Büyüklüğü ise kaynak esnasında tatbik edilen enerji, soğuma hızı, parçanın şekilde, boyutları ve sıcaklığı ile malzemenin ısıyı iletme kabiliyetinin etkisi altındadır. Bu faktörlerden değiştirilmesi mümkün olanlar yardımı ile ITAB bir dereceye kadar kontrol altında tutulabilir.

3. KULLANILAN STANDARTLAR

TS-EN 288

4. KULLANILAN CİHAZLAR VE MATERYALLER

- Kaynaklı Çelik Numune
- Vickers Sertlik Cihazı
- Optik Işık Mikroskobu
- Çelik cetvel
- 1/20 lik kumpas

5. DENEYİN YAPILIŞI

Kaynak deneyi için numune olarak düşük karbonlu bir çelik malzeme elektrik ark kaynağı ile birleştirme yapılmış parça kullanılmaktadır. Bu numune Vickers Sertlik yöntemi kullanılarak kaynak dikişinden başlayarak ITAB bölgesini içine alacak biçimde malzemenin orijinal dokusuna ulaşılana dek en az 1 - 1,5 mm boşluklar verilerek sertlik ölçümü alınır. Alınan sertlik izlerinden sertlik hesabı yapılır. Her bir izin kaynak dikişine olan mesafeleri ölçülerek kaydedilir. Deney sonunda sertlik ve mesafe arasında bir diyagram çizilerek ısıl bozunma etkisi tespit edilmiş olur. Daha sonra ışık mikroskobuna gidilerek söz konusu kaynak dikişi ve ITAB bölgeleri ve bu bölgelerdeki tane yapıları incelenir.

6. SONUÇLARIN ALINMASI

Sertlik ve mesafe ölçümü çizilir diyagram elde edilir. Mikroskopta bünye incelenerek tane büyüklükleri izlenir ve çizilir.

7. HESAPLAMA

Sertlik HV-Mesafe mm diagramı çizilir. Altına Bünye Resmi çizilerek son inceleme yapılır.

8. SONUÇ

Bünyede vuku bulmuş olan sertlik düzensizlikleri ve bunların nedeni olan tane büyüklüğü değişimleri saptanır ve malzemenin türüne göre olmuş olan bozulmaların sebepleri yorumlanır.

9.DENEY RAPORUNDA İSTENİLEN BİLGİLER:

1. Sertlik HV-Mesafe mm diagramı çizilir.
2. Diagramın altına Bünye Resmi çizilerek son inceleme yapılır.
3. Katı eriyik ile mukavemet kazandırılan alaşımların kaynak sonucu etkileşimi yorumlanacak.
4. Soğuk Şekil Verme ile mukavemet kazandırılan alaşımların kaynak sonucu etkileşimi yorumlanacak.
5. Çökelme Sertleştirmesi ile mukavemet kazandırılan alaşımların kaynak sonucu etkileşimi yorumlanacak..
6. Dönüşüm Yolu ile mukavemet kazandırılan alaşımların kaynak sonucu etkileşimi yorumlanacak.
7. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin kaynak sonucu etkileşimi yorumlanacak.
8. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin kaynak sonucu etkileşimi yorumlanacak.
9. Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin kaynak sonucu etkileşimi yorumlanacak.

10. KAYNAKLAR

- Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU ,Kaynaklı İmalat ve Tasarım ,Mart 2006

- Kaynak Metalurjisi Ders Notları,YTÜ,Doç.Dr.Ahmet Karaaslan

- Kaynak Tekniği El Kitabı,Prof.Dr.Selahattin Anık,1991

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

LABORATUVAR FÖYÜ

AŞINMA DENEYİ

GÜZ, 2026

AŞINMA DENEYİ

Teorik Bilgi

Birbirine temas eden mühendislik malzemelerinin, birbirlerine sürtünmesi neticesinde meydana gelen aşınma, çeşitli makine ve teçhizatın kullanımı sırasında çok büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Aşınma, bir yüzeyden diğer bir yüzeye malzeme transferi veya aşınma parçalarının oluşumu neticesinde ortaya çıkan malzeme kaybıdır. DIN 50320'de aşınma; "kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması suretiyle meydana gelen değişiklik" olarak tanımlanmaktadır.

Temas halinde bulunan katı yüzeylerde, malzeme kaybı üç şekilde gerçekleşebilir. Bunlar bölgesel erimeler, kimyasal çözünme ve yüzeyden fiziksel anlamda oluşan ayrılmadır. Uygulamada aşınma kapsamında, daha çok yüzeyden fiziksel anlamda ayrılan malzemenin sebep olduğu hasarlar dahil edilmektedir. Bir aşınma sisteminde; ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük ve hareket aşınmanın temel unsurunu oluşturur. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem teknikte "Tribolojik Sistem" olarak isimlendirilir. Bir aşınma sistemindeki önemli etkenlerden biri de çevre şartlarıdır. Sistem elemanlarının nem ve korozif etkiler ile karsı karsıya kalması aşınmayı hızlandırır.

Aşınma, genellikle önceden bilinen bir hasar tipidir. Birbirleri ile temasta olan malzeme yüzeyleri oksit filmleri veya yağlayıcılar ile korunsalar bile, mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması, iki yüzeyin birbiriyle doğrudan temasına sebep olabilir. Bu temas sonucu oluşan sürtünme malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya sebep olur. Bu hasar uygun yağlama, filtreleme, uygun malzeme seçimi ve uygun tasarım gibi faktörlerle en aza indirilebilir, fakat kesinlikle önlenemez. Aşınmayı etkileyen faktörleri dört ana grup halinde toplayabiliriz.

I-Ana Malzemeye Bağlı Faktörler

- Malzemenin kristal yapısı
- Malzemenin sertliği
- Elastisite modülü
- Deformasyon davranışı
- Yüzey pürüzlülüğü
- Malzemenin boyutu

II- Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi

III- Ortam Şartları

- Sıcaklık
- Nem
- Atmosfer

IV-Servis Sartları

- Basınç

- Hız
- Kayma yolu

Aşınma Mekanizmaları

Pek çok aşınma mekanizması vardır. Bunları aşağıdaki ana başlıklar altında açıklamak mümkündür.

1) Oluş Mekanizmaları Açısından Sınıflandırma

1.1. Adhesiv Aşınma

Özellikle birbiriyle kayma sürtünmesi yapan, metal-metal aşınma çiftinde meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucudur. Birbiri üzerinde kayan yüzeylerdeki gerilmeler küçük yüklemelerle dahi akma gerilmesi sınırına, erişirler veya geçerler. Böylece temas eden metaller arasında yapışma kuvvetleri kendini gösterir. Bu nedenle bir parçadan diğerine malzeme geçişi, soğuk kaynaklaşma ve küçük parçaların kopması olayları meydana gelir. Adhesiv aşınma, en sık rastlanan aşınma türü olmasına rağmen genellikle hasarı hızlandırıcı etkide bulunmaz. Adhesiv aşınma bir metal yüzeyinin başka bir metal yüzeyindeki bağıl hareketi sırasında birbirlerine kaynamış veya yapışmış yüzeydeki pürüzlerin kırılması sonucu ortaya çıkar.

Eğer iki metal aynı sertlikte ise aşınma her iki yüzeyde de oluşur. Metaller arasındaki yağlamanın mükemmel olması, yüzeye etki eden yükün azaltılması ve malzemenin sertliğinin arttırılması adhesiv aşınmayı azaltır. Sonuç olarak adhesiv aşınma; yüzeye etkiyen normal yükle, kayma yolu ile ve aşınan malzemenin yüzey sertliği ile orantılıdır.

1.2. Abraziv Aşınma

Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abraziv aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abraziv aşınma; biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbiriyle temas halindeyken kayma sırasında meydana gelir. Sert parçacıkların yumuşak metale batması abraziv aşınmaya sebep olabilmektedir. Bu mekanizmaya örnek olarak, sisteme dışarıdan giren toz parçacıklarının veya bir motorda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma tarzı verilebilir. Abraziv aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırılması sırasında daha az iz bırakması sağlanır.

Malzeme açısından abraziv aşınmayı azaltmak için;

• Daha sert alaşım kullanmak,

• Sertliği arttırmak amacıyla ısıl işlem uygulamak,

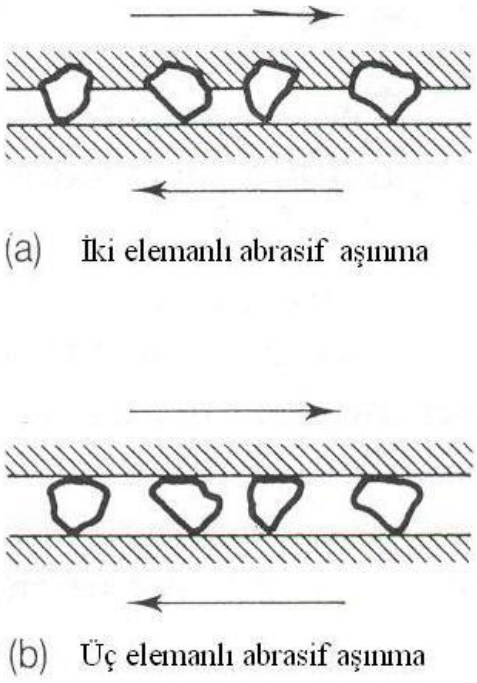
• Malzeme yüzeyini sert bir tabaka ile kaplamak,

tavsiye edilir. Bu önlemlerle abraziv aşınma hızını azaltmak mümkündür. Abraziv aşınma endüstriyel cihazlarda malzeme kayıplarının başlıca sebebidir. Aşındıran malzeme serbest halde iki metal arasında bulunuyorsa veya yalnız bir metali aşındıran sabit veya serbest taneler mevcut ise bu durumda;

• iki elemanlı abraziv aşınma,

• Üç elemanlı abraziv aşınma,

seklinde gruplandırma mümkündür.



Şekil 2. İki elemanlı ve üç elemanlı abraziv aşınma oluşum şekilleri.

Metal-metal sürtünmelerinde aşınma iki elemanlı abraziv veya adhesiv olarak başlayıp üç elemanlı abraziv olarak devam eder. Bu durumda araya giren toz, mineral taneleri, çizilme sonucu serbest hale geçen mikro talaşlar ve parçalanmış oksit parçacıkları üçüncü elemanı (ara malzemeyi) oluşturabilir. Serbest hale geçen mikro talaş parçacıkları genellikle ana malzemeden daha sert olduklarından (üç elemanlı) abraziv aşınma, aşınmayı hızlandırmaktadır. Endüstriyel makinelerdeki en önemli aşınma türü olan abraziv aşınmaya genel olarak aşağıda verilen yerlerde rastlanmaktadır.

- Traktör, greyder gibi tarım ve is makinelerinin bıçak ve tırnaklarında
- Cevher isleme ve öğütme tesislerinde
- Eleklerde
- Değirmenlerde
- Nakil makinelerinde

Bu gibi makine ve makine parçalarında yalnızca abraziv aşınmadan söz edilebileceği gibi, bunlardan başka aşınma türlerinin de birlikte görülmesi mümkündür.

1.3. Tabaka Aşınması

Abraziv aşınma yüzeyine yakın yerlerinin (sınır yüzeyinin) özelliğinin pek önemi yok iken, tabaka aşınmasının önemi büyüktür. Çevredeki gazların ve ara malzemenin etkisiyle meydana gelen aşınma yüzeyi sınır tabakası, çizilmeyle sıyrıldığından daima yeniden meydana gelir.

1.4. Titreşim Aşınması

Titreşim (yorulma) aşınması, titreşim zorlamalarında yorulma kırılması hasarı olarak ortaya çıkar. Bu aşınmada, içyapı tahribatı, çatlamalar, lokal ayrılmalar meydana gelir. Genellikle periyodik yüklemeler dolayısıyla, yüzeyden veya yüzeye yakın yerlerde içyapının parçalanarak yırtılmalar oluşturması sebebiyle yüzeyden kısmi çözülmelerin olmasıyla meydana gelir.

2) Hasarın Fiziksel Görünüşüne Göre Sınıflandırma

2.1. Kayma Aşınması

2.1.1. Taneli Mineraller Tarafından Oluşturulanlar

Taneli minerallerin meydana getirdiği kayma aşınması, mineral sertliğine bağlı olarak belirlenir. Metal olmayan sert malzemelerde aşınma, metal malzemelerde olduğu gibi mineral tanelerinin sertliğiyle artar, fakat sert malzemenin aşınma yüzeyinde gevrek kırılmalar meydana gelir. Aşınma esnasında malzeme sertliği, aşınma direncinin büyüklüğünü etkileyen önemli bir faktördür.

2.1.2. Metal-Metal Aşınması

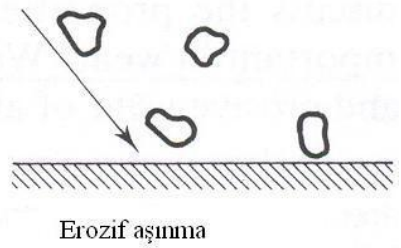
Metal-metal sürtünme tiplerinden hidrodinamik sürtünmede genellikle hiçbir aşınma olmaz ve malzeme çiftinin önemi yoktur. Çünkü malzemeler bu anda birbirine temas etmemektedir. Fakat tam yağlama için minimum bir hız gereklidir. Karışık yağlamada kuvvet kısmen hidrolik, kısmen katı cisimlerin teması ile sağlanır. Bu temas noktalarında malzemelerin özellikleri ve kayma yapan malzeme çiftleri ile yağlayıcı maddenin etkisi vardır. Özellikle yağsız yüzeylerin sürtünmesinde aşınma durumu malzeme çiftinin yüzeyine bağlıdır. Ayrıca kayma yüzeylerin işlenişi (yüzey pürüzlülüğü, işlemi doğrultusu) de aşınmaya büyük ölçüde etki etmektedir.

2.2. Korozif Aşınma

Aşınan yüzeyler, aynı zamanda korozif etkilere de uğrarsa buna korozif aşınma denir. Kimyasal korozyon kendi başına oluşabildiği gibi diğer aşınma türleriyle birlikte meydana gelebilir. Yüzeye sıkıca yapışan filmler oluşturan kimyasal reaksiyonlar yüzey aşınmasını önler. Fakat film kırılgan ve yüzeye gevsek ise aşınma büyük miktarda hızlanır. Çünkü sürtünme hareketi sırasında filmler çatlar ve yerinden kopar.

2.3. Erozyon Aşınması

Erozyon (hidro-abrasif) aşınması, akıcı maddelerin meydana getirdiği aşınmadır. Sıvılar, gazlar akış sırasında parçanın sınır yüzeylerinde patlama veya çarpışma etkisi yaparak yüzeyden parçacıklar koparırlar ve girdaplar etkisiyle dalgalı yüzey meydana getirirler. Böylece aşınma daha da hızlanır.



Şekil 3. Erozif aşınma.

2.4. Yuvarlanma Aşınması

Bu tür aşınma birbiri üzerinde yuvarlanarak hareket eden malzemelerde oluşan aşınmadır. Bu aşınma da şüphesiz malzemelerin özelliklerine sıkı sıkıya bağlıdır. Yuvarlanma esnasında aşınma tek bir malzemede oluşabileceği gibi her iki malzemede de değişen miktarlarda oluşabilir. Yuvarlanma aşınmasında yüzeylerin yağlanıp, yağlanmamasının çok büyük önemi vardır.

3) Aşınmanın Aldığı Özel Adlar Vasıtasıyla Sınıflandırma

3.1. Öğütmeli Aşınma

Öğütmeli aşınma, yüksek basınçlar altındaki partiküllerin metal yüzeyleri ile düşük hızlarda karşılaşmaları sonucunda, metal yüzeyinden parçacıkların kesilerek veya çok sayıda ufak çizikler açılarak kopartılması ile meydana gelir. Bu yüksek basınç ve düşük hız kombinasyonu genellikle hafriyat çalışmalarında kullanılan buldozer ve kepçe gibi ağır is makinelerinin çalışma koşullarında meydana geldiği için, bu araçların kesici uç yüzeylerinde bu hasar türü meydana gelir. Kepçelerde kullanılan kesici ve batıcı uçların, öğütmeli aşınma sonucunda sekil değişimi meydana gelerek körlenme oluşur.

3.2. Oymalı Aşınma

Oymalı aşınma, malzeme yüzeyinin çok yüksek gerilmelerdeki çarpma durumlarında, yüzeyden bir parçanın kesilerek veya oyularak kopmasıyla meydana gelir. Bu tip aşınmaya genellikle hafriyat, madencilik, petrol kuyularını delme işlemi ve benzeri koşullarda çalışan malzemelerin kesme ve delme görevi yapan kısımlarında görülür. Bu işlemler sırasında sert abraziv parçacıkların çok yüksek gerilmeler altında malzeme yüzeyine çarpmaları ile yüzeylerde hızlı bir şekilde hasar oluşumu meydana gelir. Oymalı aşınma diğer aşınma türlerine göre çok daha hızlı olarak geliştiğinden, bu aşınmaya uğrayan parçaların yenileriyle değiştirilerek kullanılması daha ekonomik olmaktadır.

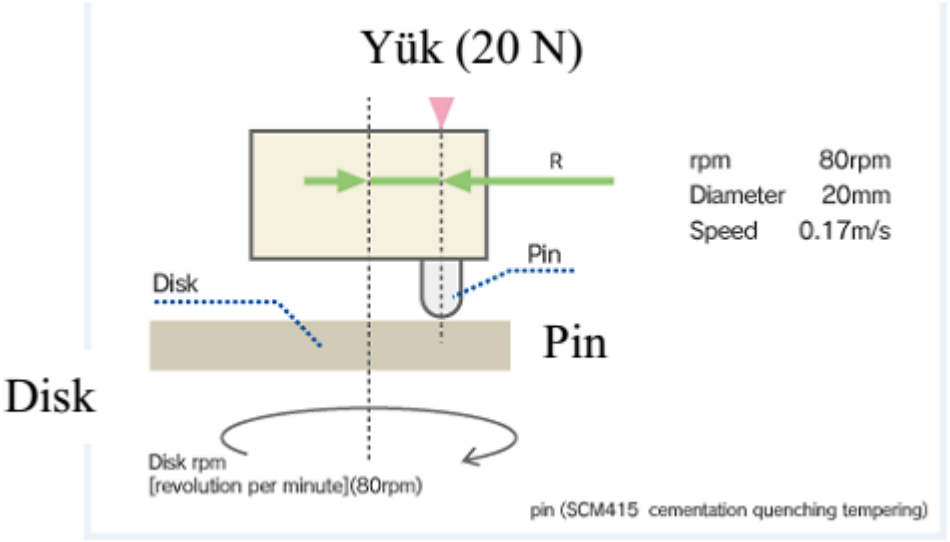
3.3. Kazımalı Aşınma

Kazımalı aşınma, karşılaşan yüzeylerde mikro kaynaşmanın meydana geldiği adhesiv aşınmaya bir miktar benzemektedir. Aralarındaki fark ise; adhesiv aşınma, birbirleri üzerinde kayan yüzeylerde meydana gelirken, kazımalı aşınma birbirlerine göre hareket etmeyen yüzeylerde meydana gelir. Ancak kazımalı aşınma, çok düşük genlikteki hareketlerin (vibrasyon) meydana geldiği sistemlerde, mikro kaynaşmanın oluşmasıyla meydana gelir. Kazımalı aşınma, vibrasyonlu ortamlarda çalışan somun, perçin gibi bağlantı elemanlarıyla birleştirilmiş sistemlerde otomobil şaftlarının birleşme noktalarında ve yataklarda en yaygın olarak rastlanılan hasar oluşum mekanizmasıdır. Aşınma testleri değişik deney düzeneklerinde yapılmaktadır. Aşınma deneylerinde en yaygın deney donanımlarından birisi, bir disk (Silindir veya dikdörtgen) üzerine bastırılan pimdir. "Disk üzerinde pim" metodunun başka şekilleri de vardır. Ancak ana fikir hep aynıdır. Bu tip asimetrik düzenlemelerde, pim ya da blok çoğu zaman numunedir ve bu parçanın aşınma hızı ölçülür. Diğer parça olan disk ise, "dış yüzey" olarak isimlendirilir. Aşınma deney düzenekleri uluslararası standartlara uygun olarak standartlaştırılmıştır.

4) Aşınma Deney Cihazları

4.1 Pin-on Disk Cihazı

En yaygın kullanılan ve en basit model deney yöntemlerinden birisi Pin-on disk yöntemidir. Bu deneyde metal bileşenlerden oluşan bir döner disk kullanılmaktadır. Aşınma özelliği incelenecek numune koni, küre veya silindir şeklinde olan bir pimdir. Nispi kayma hızı, diskin merkezi ile pimin temas noktası arasındaki mesafe değiştirilerek ayarlanabilir. Pim üzerinden diske uygulanacak yük, mekanik, pnömatik veya bir hidrolik silindir vasıtasıyla uygulanabilir. Bu test tekniği ile kuru kayma halindeki sürtünme ve aşınma davranışları araştırılabilir. Şekil 1' de Pin-on disk cihazı şematik olarak gösterilmektedir.

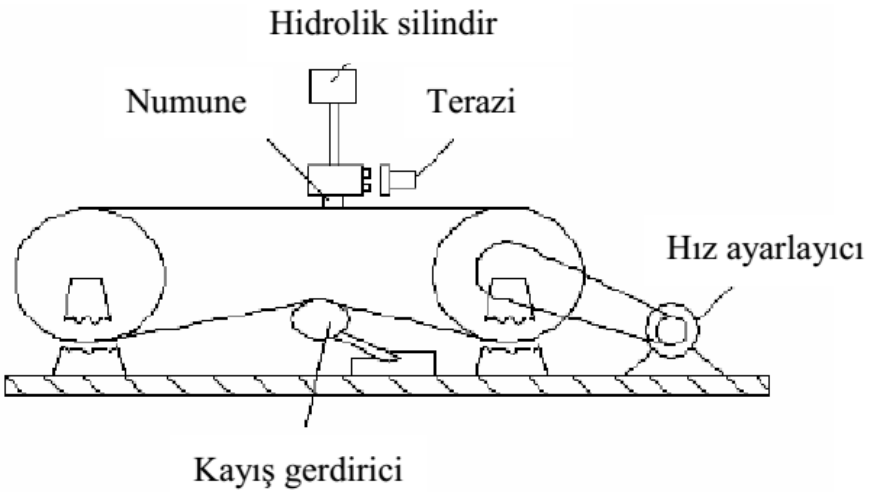


Şekil 1. Pin-on disk cihazının şematik görünüşü

4.2 Levha - Kayış Cihazı

İki geniş silindir ve bu silindirlerin etrafından geçen bir kayış bu sistemi oluşturmaktadır. Sistemde kayış silindirlerin etrafından geçmektedir ve silindirleri birbirine bağlamaktadır. Silindirlerin etrafından dönen kayışın gerginliği bir gerdirme mekanizması ile ayarlanabilmektedir. Silindirlerden bir tanesi bir motora bağlıdır ve devri değiştirilerek kayışın hızı da değiştirilebilir. Şekil 2'de levha-kayış cihazı şematik olarak gösterilmektedir.

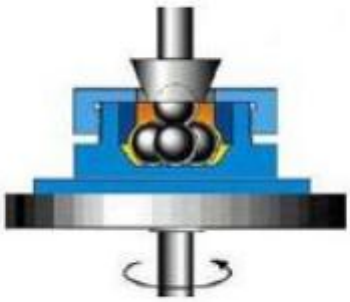
Kayış lastik malzemeden olabileceği gibi çelik şerit ve kompozit malzemeden de oluşabilir. Deneyde aşınmayı kayış yüzeyine yapıştırılan zımpara kâğıdı veya kayış yüzeyine kaplanan aşındırıcı sağlamaktadır. Deneyde aşındırılacak numune bir hidrolik sistem vasıtasıyla kayış üzerine bir kuvvetle bastırılır ve yük meydana getirilir. Kayış ve numune arasında oluşan sürtünme ile numune üzerinde aşınma meydana getirilir.



Şekil 2. Levha-kayış cihazının görünümü

4.3 Dört Bilya Düzeneği

Bu test yönteminde eşit çaplara sahip dört adet bilya numune kullanılmaktadır. Bu bilyaların üç tanesi deney sırasındaki şartlarda rahatça hareket edebilecekleri bir taşıyıcı içine yerleştirilirler ve üst taraftaki bilyaya göre izafi olarak hareket eder. Dördüncü bilya ise bir milin ağzında açılan bir yuvaya yerleşecek şekilde diğer bilyaların üzerindedir ve aşağıya doğru normal bir yük ile bastırmaktadır. Alttaki taşıyıcı döndürülerek milin ağzındaki bilyanın dönmesi sağlanır ve böylece bilyalar birbirine göre izafi hareket ederek aşınma oluşturulur. Bu test daha çok yağlama performansının değerlendirilmesinde kullanılır. Deney düzeneği, Şekil 3'de verilmiştir.

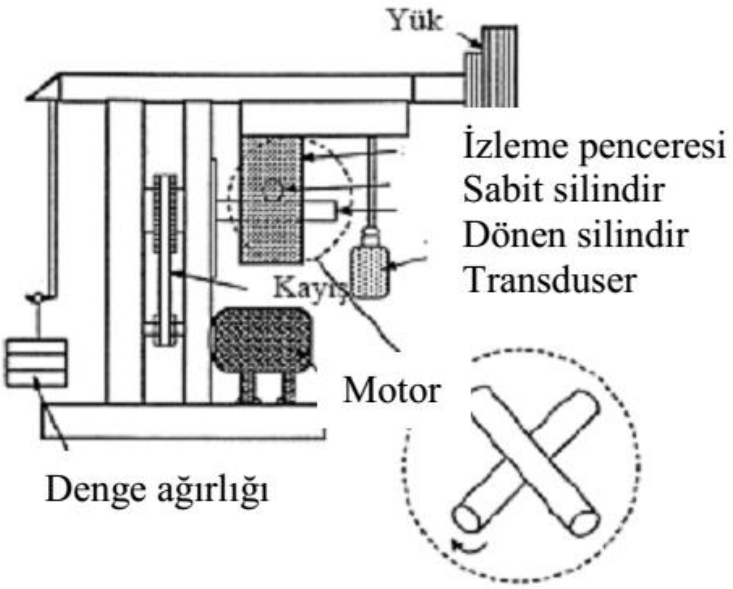


Şekil 3. Dört bilya deney düzeneği

4.4 Çapraz Silindir Deney Cihazı

Kağıt kesme, kumaş kesme, saç metal kesme işlemlerinde bıçakla metal arasında çok küçük temas alanı ve yırtılmalar meydana gelir. Saç metal kesme işlemi buna iyi bir örnek olarak verilebilir. Bu tür aşınmaların ölçümünde ASTM G78 Çapraz Silindir deney cihazı kullanılır. Bu deneyde daha çok takım çeliklerinde ve

kaplanmış yüzeylerde meydana gelen aşınmalar incelenmektedir. Cihaz kendi ekseni etrafında dönen bir silindir ve bu silindire çizgisel temas eden çarpı şeklinde konulmuş sabit bir silindirden meydana gelir. Dönen parçanın dış çapında meydana gelen yivin hacmi ölçülür. Sonra sabit parça üzerinde meydana gelen aşınma lekeleri ölçülür ve bunla birlikte sistemdeki toplam aşınma bulunur. Deney düzeneği Şekil 4'de verilmiştir.

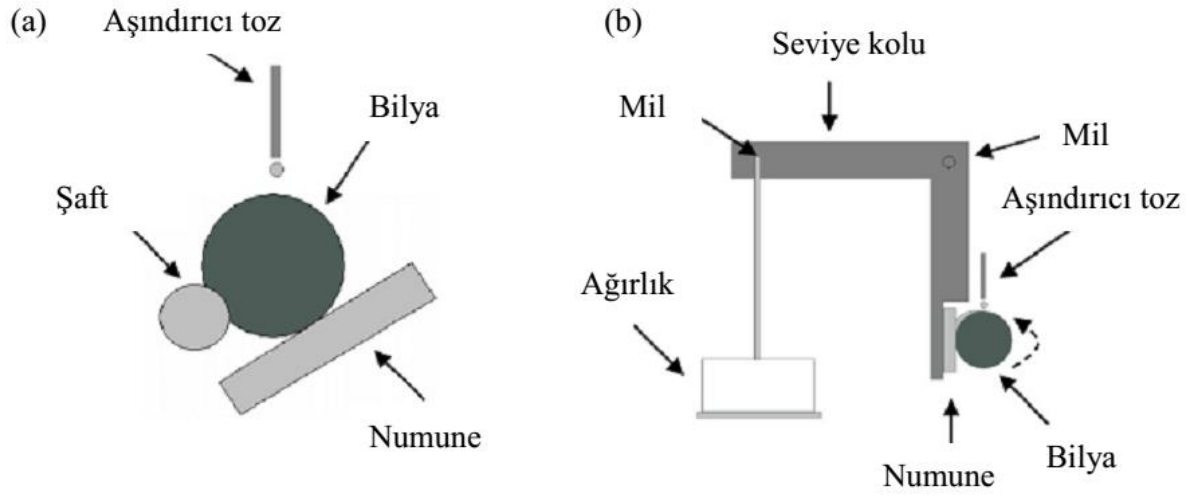


Şekil 4. Çapraz silindir deney düzeneği

4.5 Top Krater Testi

Son on yıldır top konfigürasyonu kullanılarak yapılan mikro abrazyon aşınma testi ince sert kaplamaların aşınma davranışlarını karakterize etmek için çokça kullanılmaktadır. İlk önceleri bu konfigürasyon sadece filmlerin kalınlığını ölçmek için kullanılırken, son zamanlarda aşınma çalışmalarına adapte edilmiştir. Bu test hızlı, uygun, küçük parçalar üzerine uygulanabilir, ve nispeten ucuz ekipman kullanırak yapılmaktadır. Eğer test şartları aynı şekilde kullanılırsa bu test konfigürasyonu araştırmacıların isteklerini karşılamaktadır. Bunun dışında güvenilir ve tekrarlanabilir ölçümleri garantiler. Bununla beraber aşınma oranları yükleme ve aşınma mekanizması test şartları değiştikçe (yük, kayma hızı) önemli ölçüde değişebilir. Mikroabrazyon aşıma testi sırasında iki aşınma modu elde edilebilir. Bunlar "three body abrazyon" ve "two body abrazyon" modlarıdır. Aşınma modu ayarlanan yüke, seçilen abrazive, top yüzey şartlarına göre değişebilir.

Bu test yönteminde dönen bir top (genellikle sertleştirilmiş çelik) abrasif süspansiyon varlığında numune yüzeyine bir yük ile basınç uygular. Aşınma izi kullanılan kürenin yüzeyini tamamlayıcı şekilde olur. Bu iz optik mikroskop ya da profilometre yardımıyla ölçülür. İki farklı mikro abrazyon test tezgahı vardır. Bunlar yükün uygulanma yöntemine göre değişiklik gösterir. Eğer top dönen bir mil üzerinde serbestçe dönüyorsa ve test parçasına kendi ağırlığını yüklüyorsa bu yönteme "free ball" yöntemi denir (Şekil 5a). Eğer top bir motor yardımıyla döndürülüyorsa ve yük bir teçhizat yardımıyla uygulanıyorsa bu yönteme "fixed ball" yöntemi (Şekil 5b) denir.



Şekil 5 Mikro abrazyon aşınma testi şeması

5) AŞINMA ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

5.1 Ağırlık Farkı Metodu

Bu yöntem hem ekonomiktir hem de hassas sonuçlar elde edilmesi sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık kaybı, genellikle 10^{-3} veya 10^{-4} hassasiyete sahip duyarlı terazilerde yapılır.

Ağırlık farkı metodunda aşınma sonucu meydana gelen ağırlık kaybı; aşınma miktarı gram veya miligram olarak ifade edildiğinde kat edilen sürtünme mesafesine karşılık olarak g/km veya mg/km cinsinden, birim alan için hesap edilecekse g/cm^2 cinsinden ifade edilir. Aşınma miktarı hacimsel olarak hesaplanmak istenirse malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine uygulanan yük dikkate alınarak, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından yola çıkılarak ağırlık kaybı hesaplanabilir. Ağırlık farkı ölçümünde en çok Eşitlik 1'de verilen bağıntı kullanılmaktadır.

- $Wa = G / dxMxS$ **(1)**

Wa = Aşınma oranı (mm^3 / Nm)

G = Ağırlık kaybı (mg)

M = Yükleme ağırlığı (N)

S = Aşınma yolu (m)

d = Malzeme yoğunluğu (mg / mm^3)

olarak verilmiştir. Aşınma oranının ters değeri de aşınma direnci (*Wr*) olarak kabul edilmiştir (Eşitlik 2).

- $Wr=1 / Wa$ **(2)**

Ağırlık farkı metodunda en çok kullanılan ölçme yöntemi tartı yöntemidir. Aşındırılan numune hassas terazide tartılarak aşınma miktarı bulunur. Bu yöntemde malzemenin tamamen temiz olmasına ve yüzeylerinde

herhangi bir yabancı maddenin kalmamasına dikkat edilmelidir. Tartı yönteminden farklı olarak ağırlık kaybı radyoaktif izleyiciler kullanarak da ölçülebilir. Bu yöntem kullanılarak deney esnasında aşınmanın meydana geldiği sırada da aşınma kaybı ölçümü yapmak mümkün olmaktadır.

5.2 Kalınlık Farkı Metodu

Bu yöntemde aşınma miktarı, aşınma sonucunda oluşan boyut değişikliğinin ölçülmesi ve ilk değerler ile karşılaştırılması suretiyle ölçülmektedir. Elde edilen kalınlık farkı değerlerinden gidilerek hacimsel kayıp değeri ve dolayısıyla birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanabilir. Bu yöntemde hassasiyeti arttırmak için hassas kalınlık ölçü aletleri (+1 μm duyarlılıkta) kullanılarak ölçüm yapılmalıdır. Kalınlık farkı metoduna dayanan ölçümler çoğu zaman aşınmanın nasıl olduğu hakkında net bir bilgi veremediği için daha çok hacimce meydana gelen değişimler dikkate alınmaktadır.

5.3 İz Değişim Metodu

Bu yöntemde aşınma yüzeyinde plastik deformasyon ile geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Bu izin oluşumu için en çok Vickers veya Brinell sertlik ölçme uçları kullanılır. Deney boyunca oluşturulan bu izin bir boyutunun değişimi izlenir ve mikroskop vasıtasıyla ölçülerek değerlendirilir.

Ay İ (2010) *Aşınma Sonucu Doğan Hasarlar*, Ders Notu, Balıkesir Üniversitesi, 55 s.

Akbulut H (2005) *Abrasiv Aşınma Ders Notları*, T.C. Sakarya Üniversitesi, 46 s.

Blau PJ ve Budınskı KG (1999) Development and use of astm standards for wear testing, *Wear*, 225: 1159-1170.

Erdem S (2006) Yüksek Karbon İçeriğine Sahip, Yüksek Kromlu, Manganlı Ve Alaşımsız Düşük Karbonlu Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 65 s

Gök MS (2008) Düşük Ve Orta Karbonlu Çeliklerin Yüzeyine Tıg Kaynak Metoduyla Kaplanan Ostenitik Paslanmaz Çelik Tozunun Aşınma Direncine Karbür İçeriğinin Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 125 s.

Ibánez MJ, Gilabert J, Vicent M, Gómez P ve Munoz D (2009) Determination of the wear resistance of traditional ceramic materials by means of micro-abrasion technique. *Wear,* 267: 2048–2054.

Karaoğlu Y (2006) Bir Aşınma Test Cihazının Tasarımı Ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi T.C.Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Eylül, 82 s.

KarabaĢoğlu M (2008) Aşınma Deney Cihazı Tasarımı Ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi ABD, Sakarya 88 s.

Kuş H (2007) Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Konya, 91 s.

Sarıkaya Ö (2007) *Aşınmaya Karşı Yüzey Mühendisliği Yöntemleri*, Sakarya, 280 s

Soydaş S (2006) Ünıversal Asınma Test Cıhazı Tasarımı Ve Imalatı. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisligi ABD, Kocaeli, 73 s.

Silva FJG, Casais RB, Martinho RP ve Baptista APM (2011) Role of abrasive material on micro abrasion wear tests. *Wear,* 271: 2632–2639.

URL-1 (2012) http://tr.wikipedia.org/wiki/C%C3%BCruf, 18.02.2012

Varol N (1994) Plastik Malzemelerde Aşınma. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Anabilim Dalı, Elazığ, 120 s.

Yıldız T, Gür AK (2006) *Aşınma Sistemleri,* Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

LABORATUVAR FÖYÜ

KURUMA, PİŞME KÜÇÜLMESİ, TOPLAM KÜÇÜLME TESTİ

GÜZ, 2026

KURUMA, PİŞME KÜÇÜLMESİ, TOPLAM KÜÇÜLME TESTİ

DENEYİN AMACI

Seramik malzemelerinin kuruma küçülme oranını belirlemektir. Böylece küçülme miktarı dikkate alınarak kalıbı, küçülme oranında daha büyük yapmaktır.

TEORİK BİLGİ

Döküm çamuru su ve kuru malzemeden oluşur. Döküm çamurunda yaklaşık % 20 – 35 su bulunmaktadır. Çamurdaki bu su, pişirme işleminden önce uzaklaştırılmalıdır. Çamurdaki suyun yaklaşık %15 i alçı kalıp tarafından emilir. Kalan su kurutma ile uzaklaştırılır. Seramik malzemedeki suyun uzaklaşması ile seramik bünyedeki katı taneler, suyun boşalttığı boşluğu doldurmak için birbirine yaklaşır. Bu yaklaşma nedeni ile bünyede küçülme oluşur. Suyun buharlaşma hızı yüksek olduğu zaman bu tanelerin hareketleri yavaş kalır ve böylece çatlaklar oluşur. Kurutulmuş bir seramik malzemenin nemi maksimum % 3 tür. Seramik çamurlarının kuruyunca dirençlerinin artmasına rağmen esneklikleri azalır. Tamamen kurumuş bir bünyede, bağlayıcı kuvvetler katıdır ve kırılma olmadan deformasyon olmaz. Seramik bünyenin kurutulması ile fiziksel bağlı su uzaklaşır. Seramik bünyedeki kristal bağlı su, kurutma işlemi ile uzaklaşmaz.

DENEYİN YAPILIŞI

Yaş numunelerin işaret çizgileri arasındaki mesafe kumpas ile ölçülür buna **plastik uzunluk** denir.

Numune 100 ^{o}C de sabit tartıma kurutulur buna **kuru uzunluk denir.**

$$Kuru\,Kuculme\% = \frac{Plastik\ uzunluk - kuru\ uzunluk}{Plastik\,uzunluk}$$

Tablo deney sonuçları

deney no	**plastik uzunluk**	**kuru uzunluk**
1		
2		
3		
ortalama		

PİŞME KÜÇÜLMESİ TESTİ

DENEYİN AMACI

Seramik malzemelerinin pişme küçülme oranını belirlemektir.

TEORİK BİLGİ

Seramik bünye, kil mineralleri, kuvars, fledspat ana bileşenlerden oluşur. Seramik ısıtılınca 600 ^{o}C civarında kil minerallerinde bulunan kristal başlı su uzaklaşır. Kristal suyun uzaklaşması ile seramik bünyede küçülme oluşur.

Seramik bünye 1100 ^{o}C civarına ısıtılınca, bünyedeki ince taneli kilin bir kısmı ve feldspat erimeye başlar. Eriyen taneler sıvılaşır ve ermeyen taneler arasındaki boşlukları doldurur. Böylece seramik bünyede küçülme oluşur.

DENEYİN YAPILIŞI

Kuru numunelerin boyutları kumpas ile ölçülür. Buna **kuru uzunluk denir.** Kuru sabit tartıma getirilmiş numuneler, bir fırında pişirilme 1100 ^{o}C sıcaklığında 60 dakika ısıtılır. Soğutulmuş numunenin iki işaret çizgisi arası kumpasla ölçülür, **pişmiş uzunluk denir.** Bu değerlerden kuru numunenin pişme küçülmesi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Pisme\,Kuculme\% = \frac{Kuru\ uzunluk - Pismis\ uzunluk}{Kuru uzunluk}$$

Tablo deney sonuçları

deney no	**Kuru uzunluk**	**Pişmiş uzunluk**
1		
2		
3		
ortalama		

Toplam küçülme

Yukarıdaki ölçümlerden

$$Toplam\ Kuculme\% = \frac{Plastik\ uzunluk - pismis uzunluk}{Plastik uzunluk}$$

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

LABORATUVAR FÖYÜ

PENETRANT SIVI İLE MUAYENE DENEYİ

GÜZ, 2026

2.2 Penetrant Sıvı Muayenesi

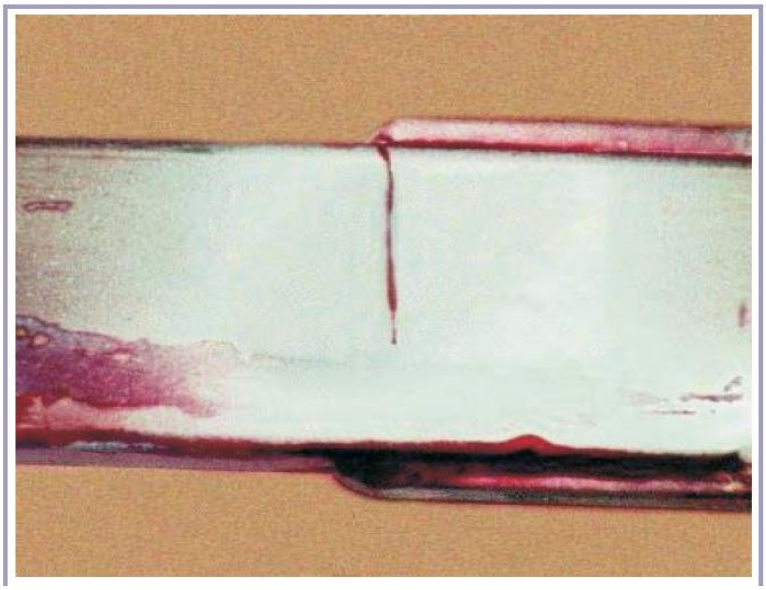
DENEYİN AMACI: Penetrasyon ile hata kontrolünü tanıtmak

KULLANILAN ALET, CİHAZ VE MALZEMELER: Muayene parçası, penetrant, developman, yüzey temizleyici, üstübü

TEORİK BİLGİ:

Temel ilkelere göre sıvı penetrasyon muayenesi, rijit ve gözeneksiz cisimlerin yüzeylerinde gözle görünmeyen çatlak ve hataların saptanmasında kullanılan tahribatsız malzeme muayenesi yöntemi olarak tanımlanır.

Yöntemin fiziksel ilkesi, cisim üzerine serbest olarak bırakılan bir sıvı damlası ile cisim yüzeyi arasındaki kohezyon kuvveti nedeniyle oluşan yüzey gerilimi ile açıklanır. Bu özellikten yararlanarak, yüzey süreksizliği içeren cismin üzerine ıslatma özelliği iyi olan bir sıvı sürüldüğünde, hatalı yerde sıvı kılcallık özelliğinden dolayı birikecek, bu sıvıyı belirgin hale getiren geliştiriciler ile de (developer) yüzey süreksizlikleri izlenebilecektir.



Şekil 1. Sıvı penetrant ile çatlak tespiti

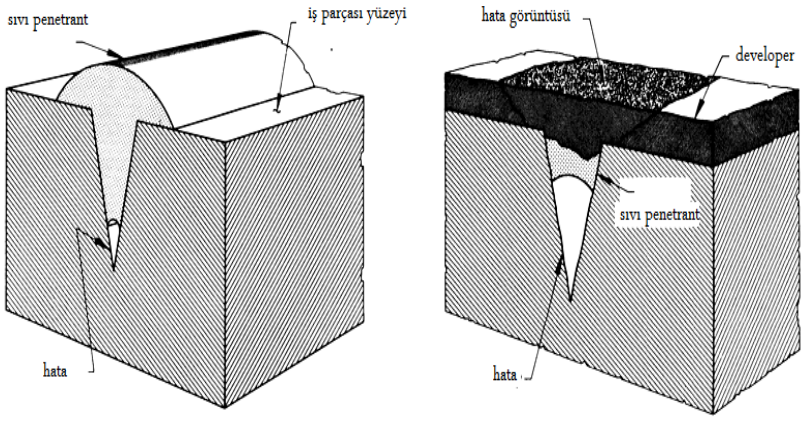
Değişik maksat ve yerlerde kullanılan üç ana sistem mevcut olup bunlar;

a) Su ile yıkanabilir sistem
b) Emülsiyonlayıcı sistem
c) Solvent ile çıkarılabilir sistem

Tatbik edilen işlemin şekli ile kullanılan penetrantın tipi ne olursa olsun, sıvı penetrant muayenesi beş sırayı gerektirir.

1. Yüzeyin hazırlanması: Muayene yapılmadan önce muayenesi yapılacak parçanın bütün yüzeyleri temizlenip tamamen kurulanacaktır. Muayenesi yapılacak sahanın en azından 2,5 cm ötesindeki sahada dahil olmak üzere çatlakların, aralıkların meydana çıkması için yağdan, sudan ve diğer kirlerden temizlenmiş olmalıdır.
2. Penetrasyon: Parça temizlendikten sonra sıvı penerant, yüzeye bir film tabakası teşkil edecek şekilde tatbik edilir. Bu tabaka yüzeydeki her bir açığa, çatlağa nüfuz edecek zaman kalmalıdır.
3. Fazla penetrantın alınması: Daha sonra yüzeydeki penetrantın fazlası alınarak yüzey, kullanılan penetrantın cinsine göre suyla veya bir eritici ile temizlenir.

4. Developman işlemi: Daha sonra yüzeye tatbik edilen developman işlemi ile aralara sızmış olan penetrantın etrafa yayılarak yüzeydeki çatlak ve oyukların görünmesi sağlanır.
5. Muayene: yeterli developman tatbikinden sonra yüzeydeki boşluklardan, başka penetrantın gelip gelmediğine bakılır. Gözle yapılan muayenede iyi bir beyaz ışık lüzumludur. Floresans ışık kullanıldığında yerin karanlık olması gerekir.



Şekil 2. Yüzey hatalarına penetrasyon sıvısının girmesi ve developer ile gözlenmesi

Sıvı Penetrant Testinin Avantajları

1. Parçaların yüzeylerinde bulunan çatlak, gözenek gibi süreksizliklerin tespitinde prosedürüne göre uygun yapıldığında iyi ve hassas sonuçlar verir.
2. Test malzemelerine kimyasal yönden zararı olmadıkça bütün metallere ve hatta cam, plastik, seramik gibi metal olmayan malzemelere de uygulanabilir.
3. Diğer tahribatsız muayene metotlarına göre ekonomik sayılabilecek bir yöntemdir.
4. Nispeten pratik ve kolay uygulanabilen ve çabuk sonuç alınabilen bir metottur.

Sıvı Penetrant Testinin Sınırları

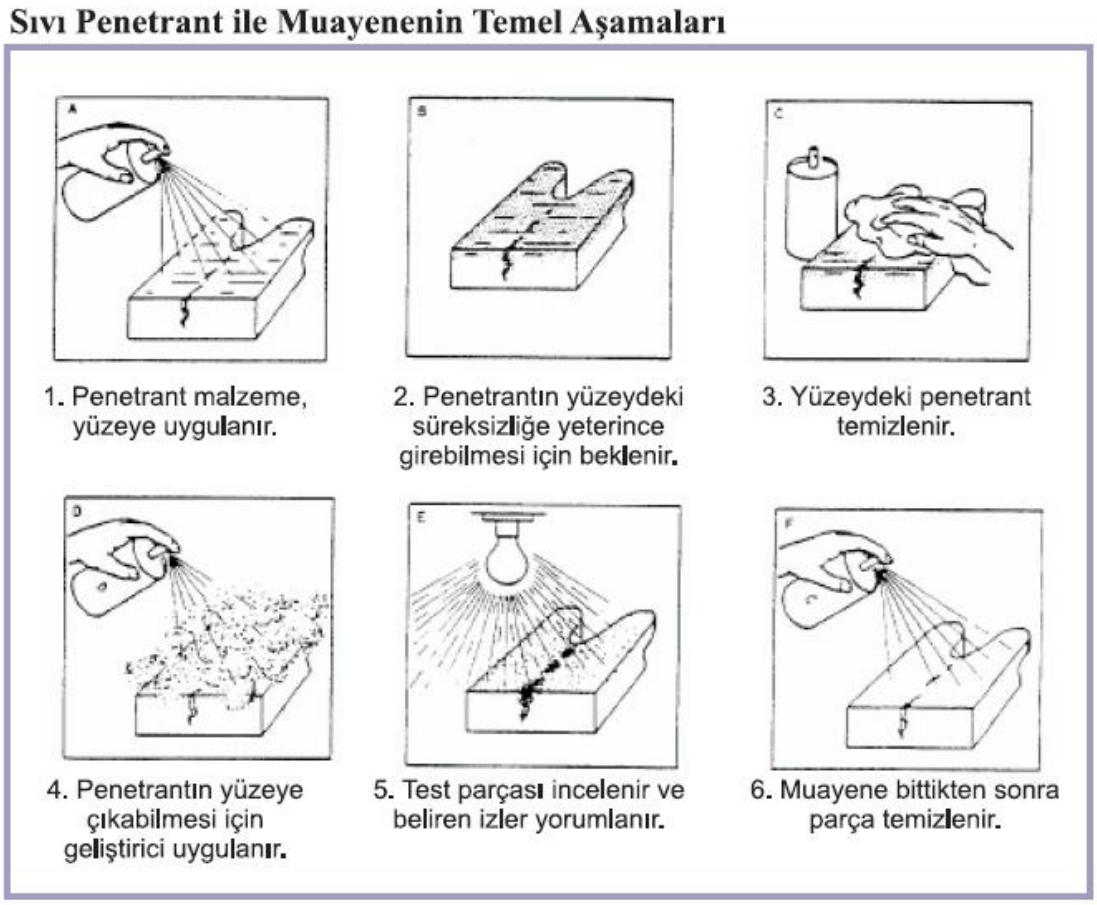
1. Sadece yüzeye açık süreksizliklerin belirlenmesinde etkilidir.

2. Yüzeyi kaplı, boyalı, pürüzlü parçalarda sağlıklı sonuçlar alınamaz

DENEYİN YAPILIŞI:

Deney parçası olarak yüzey hatası bulunan bir kalıp parçası kullanılır.

- Deney parçasının yüzeyi, yüzey temizleyici solvent ile temizlenir.
- Basınçlı tüp yardımı ile yüzeye penetrant tatbik edilir. Yüzey en az 15 dakika kurmaya bırakılır.
- Fazla penetrant üstübü yardımı ile yüzeyden temizlenir.
- Basınçlı tüp ile yüzeye developman tatbik edilir. En az 10-15 dakika beklenir.
- Yüzey gözlemlenir.
- Parça üzerindeki hataların yeri ve büyüklüğü üzerine yorum yapılır.



Şekil 3. Sıvı Penetrant ile Muayenenin Temel Aşamaları

İstenilenler: -Parça üzerindeki hatayı yorumlayınız.

- Penetrasyon yönteminde kullanılan 3 sistemi irdeleyiniz.