



T.C.

**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

MMM308 MALZEME LABORATUVARI II

DENEY FÖYÜ

Bahar Dönemi

İÇİNDEKİLER

GENEL GÜVENLİK KURALLARI.....	1
MALZEME LABORATUVARI DERSİ HAKKINDA BİLGİLENDİRME.....	1
MALZEME LABORATUVARI DERSİ RAPORU YAZIM KURALLARI.....	1
DENEY: PİROMETALURJİ.....	2
DENEY: DÖKÜM.....	7
DENEY: METALOGRAFİ.....	14
DENEY: KOROZYON.....	21
DENEY: ISIL İŞLEM.....	28
DENEY: SERAMİK SİNERLEME VE YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ.....	37
DENEY: BOYUT KÜÇÜLTME VE ELEK ANALİZİ.....	46

GENEL GÜVENLİK KURALLARI

1. Laboratuvara gelirken mutlaka kapalı ayakkabı ve beyaz çalışma önlüğü (diz boyu olacak şekilde) giyilmelidir.
2. Uzun saçlı öğrencilerin saçlarını mutlaka toplamaları gerekmektedir.
3. Laboratuvar içerisinde herhangi bir yiyecek ve içecek maddesi tüketilmemelidir.
4. Tütün ve tütün ürünlerinin laboratuvar içerisinde tüketilmesi yasaktır.
5. Çalışır durumdaki hiçbir cihaza, sorumlu öğretim elemanı aksini söylemedikçe dokunulmamalıdır.
6. Laboratuvar içerisinde mutlaka koruyucu ekipmanlar (gözlük, maske vb.) giyilmeli ve takılmalıdır.
7. Laboratuvar temiz kullanılmalı ve deney sırasında kullanılan teçhizat alındığı yere geri konulmalıdır.
8. Laboratuvarda kullanılan aletler laboratuvar dışına çıkarılmamalıdır.
9. Kimyasallar tehlike oluşturacak şekilde karıştırılmamalı, dikkatli bir şekilde kullanılmalı ve laboratuvar havalandırmasının işlevsel olduğu kontrol edilmelidir.
10. Tehlike anında çalışılan kimyasallar en yakın bankonun üzerine konulmalı, sakince laboratuvardan çıkılmalı ve sorumlu çalışana haber verilmelidir.
11. Deney yapılırken elektrik, su ve gaz tesisatlarının durumuna dikkat edilmelidir.
12. Cihazlarda arıza olması durumunda hemen laboratuvar sorumlusuna haber verilmelidir.

MALZEME LABORATUVARI DERSİ HAKKINDA BİLGİLENDİRME

1. Teorik ders kısmına katılmayan öğrenciler ilgili deneye giremezler.
2. Deneylerin telafisi yapılmayacaktır! Ancak sağlık problemi bulunması durumunda, sağlık raporu getiren öğrenciler giremedikleri o deneyin telafisini talep edebilirler.
3. Notlandırma; uygulamadan, rapordan ve final sınavından alınacak notlar değerlendirilerek yapılacaktır. Belirtilen bu aşamaların yüzdeleri sırasıyla; **uygulama %20, rapor %40 ve final sınavı %40** olacaktır.

MALZEME LABORATUVARI DERSİ RAPORU YAZIM KURALLARI

Deneye ait rapor;

- 1) Deneyin amacı
- 2) Deneyin yapılışı
- 3) Deneye ait sonuçların değerlendirilmesi
- 4) İstenenler kısımlarından oluşacaktır.

DENEY: PİROMETALURJİ

Deney sorumluları: Doç. Dr. Fatih APAYDIN, Arş. Gör. Süleyman CAN

1. AMAÇ

Bu deneyin amacı, pirometalurjik yöntemler hakkında bilgi sahibi olmak ve bu yöntemlerden karbo-termik redüksiyon işleminin uygulamasını görmektir.

2. TEORİK BİLGİ

Karbotermik Redüksiyon

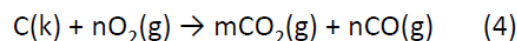
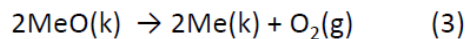
- Metal oksitleri karbürler ve nitrürlere dönüştürmek amacıyla kullanılan karbotermal redüksiyon işlemi, genellikle bir karbon kaynağının metal oksitle birlikte fırında yüksek bir sıcaklıkta ısıtılmasıyla gerçekleştirilir.
- Diğer bir ifade ile karbotermal redüksiyon bir sistemde, metal oksitlerdeki oksijenin karbon ile yüksek sıcaklıklarda uzaklaştırılması sürecidir.
- Metal oksitler karmaşık bir takım reaksiyonlar neticesinde redüklenmektedir. Metal oksitlerin karbotermal redüksiyon mekanizmaları farklı yollarla gerçekleşebilir. Bir oksidin redüksiyonu tek bir redüksiyon mekanizması ile açıklanamaz. Farklı redüksiyon mekanizmaları farklı koşullarda birbirinin yerini alabilir. Karbotermik redüksiyonların tanımlanmasında kullanılan 4 tane mekanizma vardır.

1. Mekanizma

- Aşağıda belirtilen 1. mekanizma, metal oksitlerin redüklenme mekanizmaları arasında en çok kabul gören ve tanınan mekanizma olmuştur.
- Mekanizma 1) Metal oksitlerin CO ile dolaylı redüksiyonu:
$$\text{MeO(k)} + \text{CO(g)} \rightarrow \text{Me(k)} + \text{CO}_2\text{(g)} \quad (1)$$
$$\text{CO}_2\text{(g)} + \text{C(k)} \rightarrow 2 \text{CO(g)} \quad (2)$$
- Bu tipteki redüklenme iki aşamada gerçekleşmektedir. Birinci aşamada (1) metal oksidin CO ile redüksiyonu gerçekleşirken sonrasında C ile CO₂'nin reaksiyonu (2) sonucunda tekrar CO üretimi gerçekleşir. Reaksiyon hızı, karbonun oksitlenme hızına ve sistemde oluşan gazın kütle transfer hızına bağlı olmaktadır. Oluşan gaz, tane gözenekleri boyunca sistemin dışına yayılmaktadır. CO₂/CO oranı ise karışımdaki metal okside ve karbon türüne bağlı olarak geniş bir aralıkta değişmektedir.

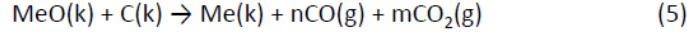
2. Mekanizma

- Metal oksidin oksijeninin ayrılması ve karbon tarafından oksijenin tutulması:



3. Mekanizma

- Karbon ile metal oksidin doğrudan redüksiyonu:



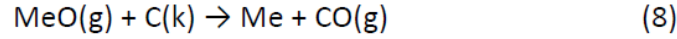
- Doğrudan redüksiyon reaksiyonları, karbon atomlarının reaksiyon kabuğu boyunca reaksiyon ara yüzeyine yayılım olayını gerçekleştirmesi ile oluşmaktadır. Metalik kısım, metal oksit ve karbon taneleri arasındaki temas noktalarında küresel tanecikler biçiminde görülmektedir.
- Doğrudan redüksiyon oluşabilmesi için CO ve CO₂ gazlarının tamamen sistemden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bunun içinde çok düşük basınçlar gerekmektedir. Reaksiyon kabuğu arasına karbon atomlarının yayılması, reaksiyon hızını sınırlamaktadır. Ayrıca, karbon ve metal arasında aşağıdaki reaksiyon gereğince karbür oluşmaktadır:



- Bu reaksiyon sonucu oluşan karbür, reaksiyon ara yüzeyine bir karbon taşıyıcısı olarak davranmakta ve sonuçta, karbür ve metal oksit arasında gerçek bir redüksiyon reaksiyonu yer almaktadır.

4. Mekanizma

- Metal oksit buharlaşması sonucu oluşan gaz fazının karbon ile redüksiyonu:

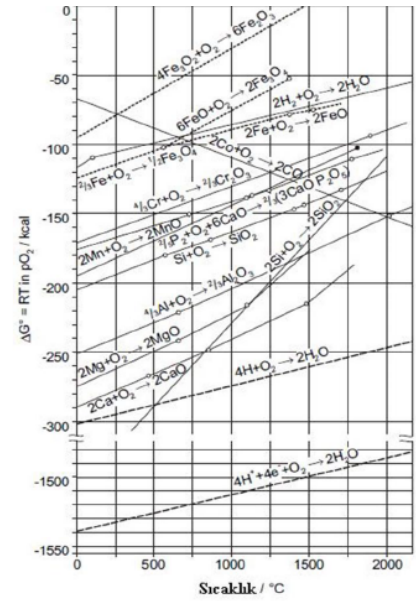


Kromitin Karbotermik Redüksiyonu

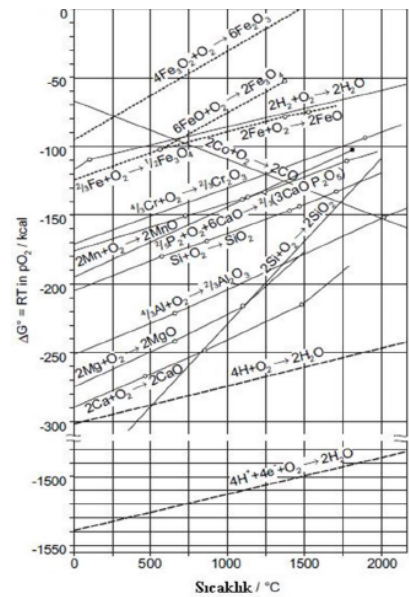
- Kromitin redüksiyonu, 1000°C ile 1500°C sıcaklıkları arasında gerçekleşir. Kromit spinelinin redüksiyonun birinci aşaması üç değerlikli demirin redüklenmesidir. Demir oksitlerin redüklenmesi $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ aşamalarını içeren çeşitli basamaklardan oluşur. Kromit spinelinin redüklenme mekanizması aşağıdaki aşamalardan oluşur.
 - a) Kromit ve karbon tanecikleri arasındaki temas noktasında katı-katı reaksiyonu
 - b) Ara yüzeyde gaz-katı reaksiyonu
 - c) Redükleyici gazın (CO) ve reaksiyon ürün gazının (CO₂) reaksiyon bölgesinden taşınımı
 - d) Redükleyici gazların kromit tanelerindeki sınır tabakalarına taşınımı
 - e) Fe^{+2} , Fe^{+3} , Cr^{+3} , O^{-2} gibi iyonların taşınımı

- Redüksiyon hızını kontrol eden faktörler;
 - a) tane sınırları boyunca kütle transferi
 - b) reaksiyon bölgesi boyunca kütle transferi
 - c) ara yüzeyde kimyasal reaksiyon
- Reaksiyon mekanizmalarının kontrolünü sağlayan iki temel yöntem vardır. Bunlar kimyasal reaksiyon yöntemleri ve difüzyon modelleridir.
- Eğer reaksiyon ürünleri yeterince porozsa, redüklenmiş ve redüklenmemiş bölgelerin ara yüzeyindeki süreç kimyasal reaksiyon kontrollüdür. Demir oksitlerin redüksiyonu poroz bir ürün verir, buda kimyasal reaksiyon kontrol mekanizmasına örnektir. Difüzyon modelinde ise, indirgeyici gazla bir tanenin etrafında bir sınır tabakası oluşur. Hem redüklenen gaz hem de reaksiyon ürünleri sınır boyunca difüze olmalıdır. Bu difüzyon modelinde, reaksiyon hızı ürün tabakasının kalınlığı ile ters orantılıdır.

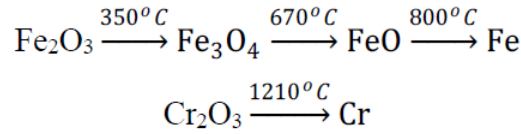
- Krom spinellerinde FeO , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , MnO ve Al_2O_3 gibi oksitler bulunur. Şekil 1'deki Ellingham Diyagramı ferrokrom üretiminde karşılaşılabilecek oksit oluşum reaksiyonlarına ait serbest enerjilerin sıcaklığa bağlı olarak değişimlerini göstermektedir.
- Ellingham diyagramında görüldüğü üzere Al_2O_3 kromit spineli içerisindeki en kararlı oksit, Fe_2O_3 ise en kararsız oksittir.
- Bu da Fe_2O_3 ün kolaylıkla, Al_2O_3 'ün ise güçlükle redüklenebileceğini göstermektedir.



- Ayrıca bir element, oksijen ile birkaç oksit oluşturuyor ise, bu elementin redüklenme eğilimi en düşük dereceli oksidine bağlı olacaktır. Çünkü düşük oksitler yüksek oksitlerden daha zor redüklenmektedir.
- Teorik olarak, daha kararlı oksit oluşturan bir element, daha az kararlı bir oksidin redükleyicisi olarak kullanılabilir.
- Bütün bu faktörler göz önüne alındığında 1400 °C de oksitlerin kararlılığı $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{MnO} > \text{SiO}_2 > \text{Cr}_2\text{O}_3 > \text{FeO} > \text{Fe}_3\text{O}_4 > \text{Fe}_2\text{O}_3$ şeklinde sıralanır. Buna göre demir ve krom oksitlerin üretiminde kullanılacak en uygun redükleyiciler karbon, silisyum ve alüminyumdur.



- Redükleyici olarak karbon kullanılması durumunda, oksitler aşağıdaki şekilde ve sıcaklıklarda redüklenebilir.

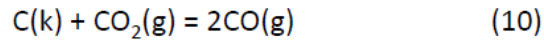


Reaksiyon oranının tespiti

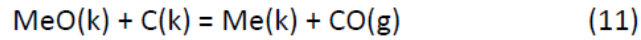
- Kromitte bulunan redüklenebilir oksitler göz önüne alınarak kromitin potansiyel redüklenme derecesi tespit edilebilir. Kromitin redüklenme derecesi için en kullanılan genel denklem,

$$\%R = \frac{\text{Giderilen Oksijen Kütlesi}}{\text{Giderilebi lecek Oksijen Kütlesi}} \times 100 \quad (9)$$

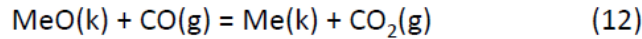
- Boudouard reaksiyonu,



şeklinde olup CO₂, karbonla temas halinde olduğunda 750°C nin üzerinde CO'e dönüşmektedir. Bu nedenle aşağıdaki reaksiyonlar sayesinde redüksiyon olayı gerçekleşmektedir;



veya



- Yine takip eden reaksiyon;



Reaksiyon oranının tespiti

- Mevcut reaksiyonlardan anlaşılacağı üzere redüksiyon esnasında her 28 gramlık ağırlık kaybı, 1 mol karbon monoksit oluştuğunu ortaya koymaktadır.
- Bu nedenle redüksiyon esnasındaki kütle kaybı miktarı, redüksiyon esnasında ortaya çıkan karbon monoksit miktarını göstermektedir.
- Bu değer de redüklenecek oksitlerden uzaklaşan (giden) oksijen miktarıyla, dolayısıyla redüksiyon derecesi ile doğrudan orantılıdır.
- Toplam redüklenebilir oksitlerden giden oksijen miktarı, reaksiyon stokiometrisi göz önüne alınarak ortaya çıkan karbon monoksitten hesaplanabilmektedir.
- Buna göre toplam oksijen kaybı aşağıdaki denklem vasıtasıyla redüksiyon derecesine dönüştürülmektedir;

$$\%R = \frac{\frac{16}{28} \text{CO}_{\text{MEYDANAGELEN}}}{\text{RO}_{\text{TOPLAM}}} \times 100$$

%R: redüksiyon derecesi, CO_{MEYDANAGELEN}:kromitin redükten ile karışımından üretilen karbon monoksitin toplam ağırlığı (sistemdeki ağırlık kaybıdır). RO_{TOPLAM} kromitteki redüklenir oksitlerden giderilebilir toplam oksijen miktarıdır.

Deneyin yapılışı

- 2 gr kromit cevheri aşağıdaki miktarda grafit (karbon) ile homojen olarak bir kroze de karıştırılır.

Numune Kodu	Kromit (gr)	Grafit (gr)	Toplam	Redükleme sonrası ağırlık
A	2	0,5	2,5	2
B	2	1	3	2,7
C	2	2	4	3,2
D	2	4	6	4,3

- Hazırlanan A, B, C ve D numuneleri argon atmosferinde bir tüp fırına 1300 °C'de 1 saat (5 °C/dk ısıtma ve soğutma hızında) karbotermik redüksiyon yapılır.
- Fırınlama öncesi ve sonrası ağırlık tartımları yapılır.
- Bu ağırlık azalışına göre % redüksiyon miktarı hesaplanır.

İstenenler

- Krom cevherinin kimyasal analizi aşağıdaki tablodaki kabul edilerek;

Bileşen	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Ateş kaybı
% miktar	46,72	5,57	1,82	13,33	15,3	15,2	0,21	1,87

1. Giderilebilecek oksijen kütlelerini
2. % Rüdüklenme miktarını hesaplayınız.

DENEY: DÖKÜM

Deney sorumluları: Doç. Dr. Burak ÖZTÜRK, Arş. Gör. Süleyman CAN

1. Deneyin Amacı

Döküm yoluyla parça şekillendirme işlemlerine uygun özellikte kum karışımının hazırlanması ve kum kalıplama işleminin öğrenilmesi.

2. Teorik Bilgi

Döküm, model kullanılarak elde edilen kalıp boşluğuna ergitilen metalin dökülmesi, dökülen metalin katılaşması ve oda sıcaklığına kadar soğuması ve döküm parçasının kalıptan çıkartılması işlemlerini içeren bir imalat yöntemidir.

2.1. Döküm Kalıpları

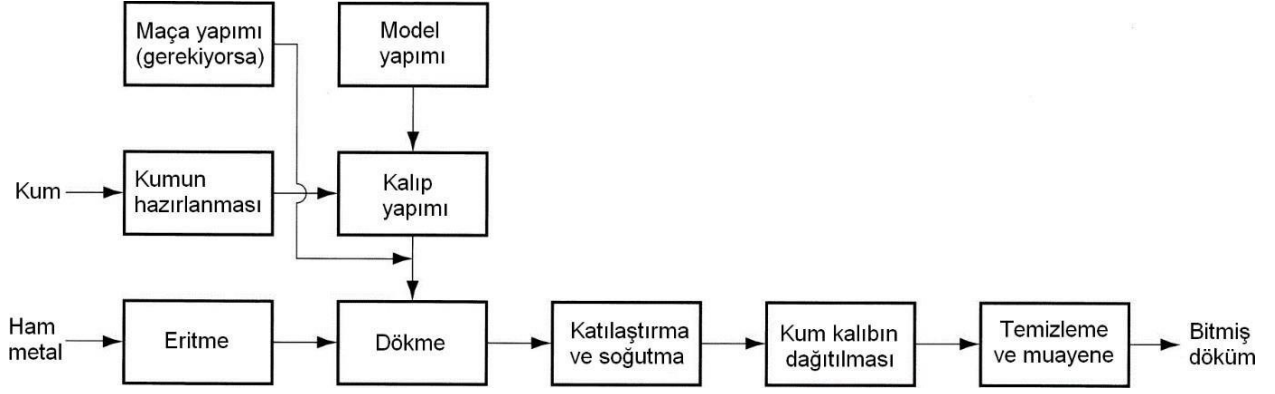
Metal dökümlerde kalıplar tek kullanımlık veya çok kullanımlık olarak imal edilir. Tek kullanımlık kalıpta her yeni bir döküm için yeni bir kalıp gerektirir. Kalıp yapmak için gerekli olan zaman döküm yapmak için gerekli olan süreden genellikle daha fazladır. Bu yöntemlerden biri olan kum kalıplama işleminde basit geometrideki parçaların üretimi için saate 400'den fazla kalıp ve döküm yapılabilir. Çok kullanımlık kalıpta ise kalıp malzemesi metal gibi dayanıklı bir malzemeden imal edilir. Çok kullanımlık kalıpların, tek kullanımlık kalıplara göre en önemli üstünlüğü yüksek üretim miktarlarında kullanılmasıdır.

Döküm yönteminde kullanılan kalıplama yöntemleri:

- Kum kalıplama
- Kabuk kalıplama
- Vakum kalıplama
- Köpük kalıplama
- CO₂ ile kalıplama vb.

2.2. Kum Kalıplama

Döküm yoluyla imal edilen parçaların büyük bir kısmı kum kalıplama işlemi kullanılarak şekillendirilirler. Kum kalıba döküm, sıvı metalin kum kalıp boşluğuna dökülmesi ve katılaşma işleminin tamamlanmasından sonra kum kalıbın kırılarak döküm parçasının çıkartılması ile yapılır.



Şekil 1. Kum kalıba döküm işlemi akış şeması

Kum kalıplama işleminde kullanılan karışım üç farklı bileşenden meydana gelir. Bunlar;

- Refrakter özelliği taşıyan kum taneleri,
- Kum içerisinde doğal olarak bulunan veya sonradan belirli oranlarda eklenen bağlayıcı,
- Bağlayıcı etkisi ile kum tanelerini bir birine bağlayan ve kumu uygun bir kalıpmalzemesi haline getiren sudur.

Genellikle kum kalıplama işleminde kullanılan harmanın bileşimde hacimsel olarak %90 kum, % 7 bağlayıcı madde ve %3 oranında su bulunur. Bağlayıcı olarak kil kullanıldığında nemli olan kalıp boşluğu yüzeyleri kurutulursa daha düzgün yüzeyler elde edilir.

Kalıp kumuna yapılan diğer ilavelerin temel amacı kalıp kumu özelliklerini geliştirmek için yapılır. Örneğin;

1. Silis tozu sıcak mukavemeti arttırmak.
2. Demir oksit sıcak mukavemeti arttırmak.
3. Fuel oil akışkanlık ve plastiklik özelliğini arttırmak.
4. Mısır unu yaş ve kuru mukavemeti arttırmak.
5. Pülverize kömür döküm sıcaklığında kum tanelerinin çevresinde gaz filmi oluşturarak birbirine kaynaşmasını engeller böylelikle kumun yeniden kullanılabilmesini sağlar.
6. Grafit tozu döküm yüzey kalitesini arttırmak için kullanılır çünkü yüksek yüzey gerilimi sayesinde sıvı metalin ıslatma özelliğini düşürür.
7. Perlit alümina silikat minerali olan perlit sayesinde yüksek sıcaklık kararlılığı artar.

A) Modeller

Dökülecek parçaların benzeri ve boyutu biraz daha büyük olan, kuma gömülerek sıvı metalin döküleceği kalıp boşluğunu oluşturan parçalara **model** denir.

Model yapımında dikkat edilmesi gereken hususlar;

1. **Çekme Payı:** Modeller, dökülecek metalden biraz büyüktür. Çünkü dökümü yapılacak olan sıvı metal katılırken kendini çeker ve parçanın boyutları küçülür ve bu nedenle modellerin çekme payı kadar büyük yapılması gerekir.
2. **İşleme Payı:** Teknik resimlerde boyutlar parçaların işlenmiş şekillerine göre verilir.

Zirkon, olivin, silikat kumları ısı genleşme katsayısı düşük olması sebebiyle dökümhanelerde tercih edilen diğer kalıp kumlarıdır. Soğuma hızının artırılması için kalıp kumu olarak yüksek ısı iletkenliğe sahip kromit kullanılır.

Kalıp kumları yeşil kum, kuru kum ve cidarı kurutulmuş kalıp kumları olarak sınıflandırılır.

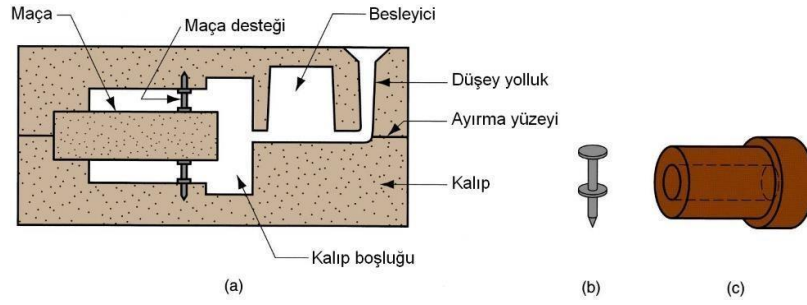
1. **Yeşil Kum Kalıp:** bu kalıp; kum kil ve sudan oluşur ve yeşil kelimesi kalıp kumunun nemli olduğunu ifade eder. Bu kalıp kumları optimum düzeyde esneklik, gaz geçirgenliği ve yeniden kullanılabilirlik özelliğine sahiptirler.
2. **Kuru Kum Kalıp:** organik bağlayıcılar kullanılarak imal edilirler ve 200 – 300 °C arasında fırında pişirilirlir. Pişirme işleminin amacı kalıp sertliğini ve mukavemetini artırmaktır. Yeşil kalıba nazaran daha iyi boyut hassasiyeti sağlanır ve üretim kapasitesi düşüktür.
3. **Cidarı Kurutulmuş Kalıp:** Bu kalıplar yeşil kum kalıp olarak üretilir ancak kalıp boşluğunu oluşturan yüzeylerin 10 – 20 mm derinlikte ısıtılarak kurutulması ile elde edilir. bu yüzeylerin mukavemetini artırmak için karışıma özel bağlayıcılar katılır.

C) Maçalar

Döküm parçaların iç boşluklarını veya modelin kumdan sıyırılması sırasında bozulabilecek kalıp kısımlarını oluşturmak için kullanılan kalıp elemanlarına maça denir. Maça malzemeleri çoğunlukla kumdur. Fakat bu kumlar kalıp kumundan farklıdır. En önemli farkta kalıp kumundaki kil yerine bağlayıcıların kullanılmasıdır.

İnorganik malzemelerden imal edilen; yanmaz yüksek sıcaklıklara dayanıklı maçalar, %2 ateş kili, %0,5 – 2 bentonit, %30 silis, %1 – 2 demir oksit harmanlanarak üretilir. Maça kumlarında su da bulunur, fakat su bağlayıcı görevi yapmaz. Fakat su katılmadığı takdirde bağlayıcılar görev yapmaz. Maça yapımı sırasında az su katılırsa maçalar piştikten sonra istenen özellik elde edilemezken, çok su katılırsa pişme süresi uzar, yüzeyde kabuklaşma olur ve bağlayıcılar katmerleşir. Bağlayıcıların özelliklerini ortaya çıkartmak için maçaların 2 ile 6 saat süreyle 200-250 °C sıcaklıkta pişirilmesi gerekir. Böylece sertleşmiş dayanıklı maçalar meydana gelir. Az pişen maçalar sarı, çok pişen maçalar koyu sarı-kahverengi renktedir.

Maçalar döküm esnasında sıvı metalin içinde kalırlar Sıvı metal maçanın üzerine ağırlığının 3-5 katı kadar bir kaldırma kuvveti etkisi uygular. Maça üzerine etki eden kaldırma kuvveti (F); basit olarak sıvı metal ağırlığı ile maça ağırlığı arasındaki farkın yerçekimi kuvveti ile çarpılması ile bulunur. İşte maçalara etki eden bu kuvveti karşılayacak şekilde desteklenmesi gerekir. Bunun için maçalar maça başlarıyla ve içlerinde teller yerleştirilerek asılmak suretiyle desteklenir.



Şekil 4. Maçanın kalıp boşluğu içinde desteklenmesi

Döküm sonrası maça kaynaklı hatalar;

1. Maçaların Yapışması: Maça kendisi, maça sandığından yapılırken sandığı yapışabilir. Bunun önüne geçmek için önceden yüzeyine benzin sürülür.
2. Maçalarda Karıncalaşma: Gaz geçirgenliği az olan maçaların yüzeyinde karıncalaşma oluşur.
3. Maçaların Yüzmesi: Maça başı yeterli yapılmayan, iyi şekilde desteklenmeyen maçalar, sıvı metalin içinde yüzebilir.
4. Maçaların Kırılması: Maçalarda yeterli mukavemet yoksa sıvı metal maçayı kırabilir.
5. Maçalarda Damarlar: Maçanın üzerindeki küçük çatlaklara sıvı metal girerek parça yüzeyinde çıkıntılı damarlar meydana gelmesine sebep olurlar.
6. Maçaların Çatlaması: Pişirme sırasında maçada çatlama olmuşsa o maçakesinlikle kullanılmamalıdır.

2.3. Metalin Isıtılması

Dökülecek olan metalin ergime sıcaklığına kadar ısıtılması için verilmesi gereken ısı miktarı bulunur. Ergime sıcaklığındaki metalin katı halden sıvı hale geçmesi için ergime ısısı verilmesi gerekir. Sıvı haldeki metalin döküm sıcaklığına ulaşması için gerekli olan ısı miktarı bulunur. Yoğunluğu ρ ve hacmi V olan metalin döküm sıcaklığına ulaşması için verilmesi gereken toplam ısı miktarı bulunur.

2.4. Tasarım İncelemeleri

- Yolluk, rezervuar ve maça uygun şekilde tasarlanmazsa kumda erozyon ve kumun parçaya yapışması söz konusu olur.
- Homojen bir şekilde yapılmayan sıkıştırma tolerans değerlerini değiştirir.
- Derecelerin kalıplama sırasında iyi hizalanmaması sonucu sızma ve tolerans hataları oluşur.
- Modelin kalıptan çıkabilmesi için uygun çıkma eğimi verilmelidir.
- Keskin köşelerden kaçınılmalıdır.
- Parça tasarımında küçük değişiklikler yapılarak gereksiz maça kullanımından kaçınılmalıdır.
- Yolluk tasarımı, kalıp ve parça göz önüne alınarak yapılmalıdır.

3. Deneyin Yapılışı

A) Kalıp Kumunun Hazırlanması

- Kalıp kumunun elenmesi
- Bağlayıcının ilave edilmesi
- Karışımın nemlendirilmesi

B) Kalıbın Hazırlanması

- Tezgâh üzerinin temizlenmesi
- Alt derecenin tezgâh üzerine sabitlenmesi
- Modelin alt yarımının derece içerisine yerleştirilmesi
- Model üzerine grafit tozunun serpilmesi
- Kum doldurma ve sıkıştırma işleminin yapılması
- Alt derecenin ters çevrilmesi
- Alt derece üzerine üst derecenin sabitlenmesi
- Model üst yarımın, alt yarımı üzerine kitlenmesi
- Model üzerine grafit tozu sürülmesi
- Besleyici veya çıkıcı, yolluğun yerleştirilmesi
- Kum doldurma ve sıkıştırma işleminin yapılması
- Alt ve üst derecenin bir birinden ayrılması
- Model, yolluk ve çıkıcının çıkartılması
- Yolluk ağzı açılması
- Kalıpta oluşan bozuklukların düzeltilmesi
- Alt ve üst derecenin birleştirilmesi ve döküme hazır hale gelmesi

4. Deney Ön Hazırlığı

Deney föyü ayrıntılı olarak incelenip, daha önceki döküm ders notları da dikkate alınarak teorik ön bilgiler çalışılacak. Bu amaçla konu ile ilgili kitaplardan, dergilerden, internet ortamından yararlanılarak aşağıdaki sorular cevaplanıp deney raporuna eklenecektir.

- 1) Kalıp kumundan beklenen özellikler nelerdir?
- 2) Kalıp kumuna hangi tür testler ve hangi amaçla uygulanır?
- 3) Kalıp kumunun yaş mukavemetini etkilen parametreler ve bu parametrelerin ne tür etkileri vardır?
- 4) Gaz geçirgenliği yaş mukavemetini etkilen parametreler ve bu parametrelerin netür etkileri vardır?
- 5) Yaş kum kalıba dökümün sizce diğer döküm yöntemlerine göre üstünlük nelerdir?
- 6) Sıvı metalin kum kalıp içinde kalıp boşluğunu doldurmadan katılaşmasını (sıvı metalin yürümemesi) engellemek için ne gibi tedbirler alınabilir?
- 7) Üretilen parçanın yüzey kalitesini ve boyut hassasiyetini artırmak için neler yapılabilir?

5. Kaynaklar

1. Yazıcıoğlu, O., Borat, O., Demetgöl, M., İmalat yöntemleri”, Seçkin yayın evi, Birinci Baskı, 2014, Ankara.
2. Aydın, M., Gavas, M., Yaşar, M., Altunpark, Y., “Üretim yöntemleri ve imalat teknolojileri”, Seçkin yayın evi, Birinci Baskı, Nisan, 2011, Ankara.
3. Groover, P. M., “Fundamentals of modern manufacturing”, 4th Edition.

DENEY: METALOGRAFİ

Deney sorumluları: Doç. Dr. Miraç ALAF, Arş. Gör. Süleyman CAN

Metalografi malzemelerin tüm fiziksel, kimyasal, elektronik ve mekanik özellikleri, bileşimlerinin yanısıra iç yapıları ile doğrudan ilgilidir. Bu nedenle,

- üretimde kalite kontrolü,
- yeni malzemelerin geliştirilmesi,
- dayanıklılık,
- hasar ve kazaların nedenini

araştırma gibi olaylarla karşılaşıldığında, malzemelerin iç yapısı hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Metallerin mikroyapısını inceleyen bu bilim dalına **METALOGRAFİ** denir.

Malzemelerin iç yapısını incelemeye amaç, Malzemede mevcut fazları miktarını ve dağılımını Tane boyut, şekil ve dağılımını Genel olarak yapı kusurlarının cinsini ve miktarını; Çatlak, Porozite, Segregasyon ve kalıntıları Saptamaktır. İç yapıyı incelerken

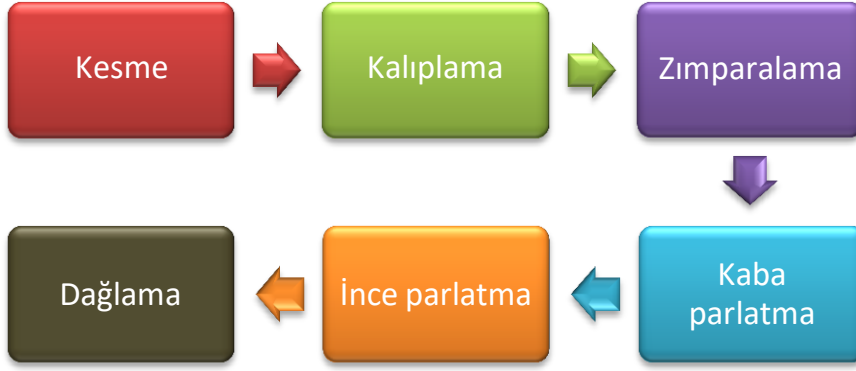
- hangi yöntemin ve
- hangi cihazın seçileceği,
- yöntem,
- mikroyapı etüdünün boyutuna karar verilmelidir.

Metalografi deneyi şu aşamalardan oluşur;

- Numunenin seçimi
- Numunenin hazırlanması
- Numunenin incelenmesi
- Sonuçların bir rapor haline düzenlenmesi

Metalografik incelemede seçilen numunenin bir değer taşıyabilmesi için bu numunenin gerek fiziksel özellik ve gerekse kimyasal bileşim yönünden **esas malzemeyi tam olarak temsil etmesi gerekmektedir**. Metalografik inceleme için numune alınmasında belirli kurallar olmayıp, bazı genel prensipler mevcuttur ve yerine göre kişi zeka ve bilgisini kullanır. Numunenin nereden alınacağı saptandıktan sonra en uygun bir kesici alet ile numune kesilir. Bunlar testere, keski, torna, kesici taş, çekiçle kırma ve oksiasetlenen ile ergitme olabilir. Bazı hallerde bunların birkaçı birden kullanılır. **Burada dikkat edilecek nokta, minimum yapı değişmesini sağlayacak yöntemin seçimidir.**

Numune hazırlama işlemi ise aşağıdaki Şekil 1’de gösterilen akış şemasındaki adımlar ile yapılır.



Şekil 1. Numune hazırlama işleminin adımları

- **Kesme**

Kesme işlemi el testeresi, torna motorlu testere gibi yöntemlerle yapılabilir. En ideal kesme yöntemi ise su soğutmalı döner disk kullanmaktır. Bunlara metalografik kesit alma diski denir. Her malzemeye uygun bir kesme diski vardır. Bu disklerin yapısında SiC, Al₂O₃, elmas tozları gibi aşındırıcı malzemeler bulunur ve bu nedenle bu disklere abraziv kesme diskidir.

Kesme işlemi sırasında oluşan ısı birikimlerini azaltmak için soğutucu sıvı kullanılmalıdır. Kullanılan soğutucu sıvı, numunede korozyona neden olmayacak türde yağ ve yağ karışımlarından oluşabilir. Bu sıvı hem fazla ısıyı hem de parçadan kopan partikülleri kesme bölgesinden uzaklaştırır. Eğer parça boyutları uygunsa, metalografik inceleme için kolaylık sağlayan numune boyutları; 25 mm boy ve 25mm çap olmasıdır. Daha ufak numuneler için kalıplama veya yataklama gerekir.



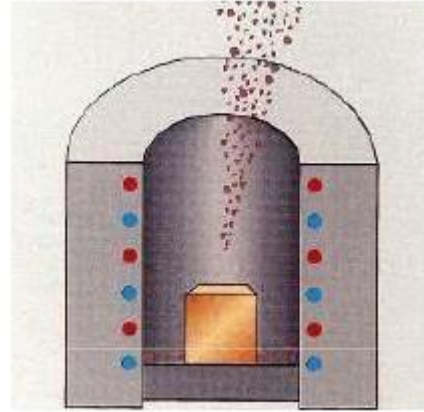
Şekil 2. Kesme Cihazları

- **Kalıplama**

İncelenecek numuneler şayet küçük veya biçimsiz şekilli ise zımparalama ve parlatma esnasında elde tutmak güçlük yaratır. Bu durumda numuneler genellikle kalıplanır. Aynı amaçla bazen metal kelepçeler de kullanılır. Tel, saç v.b numuneler kelepçelere tutturularak parlatma yapılabilir. Numuneyi kalıplarken iki farklı yöntemden biri uygulanabilir. Sıcakta ve basınç altında (compression) ve Soğukta (cold moulding) kalıplama şeklindedir.

Sıcak kalıplamada, cihaz içinde bir hazne bulunur. İnceleyeceğimiz numuneyi, yüzeyi aşağıya bakacak şekilde bakalit cihazının haznesine yerleştiririz. Daha sonra sıcak bakalit tozunu numune üzerine dökeriz. Burada numune tozlarının sıkışacağı da dikkate alınarak, sıkışma gerçekleşikten sonra, bakalitin boyu her zaman numune boyunu geçecek şekilde bakalit tozu dökülmesine ve bakalitin numunenin arka yüzeyini tamamen kapatması gerektiğine dikkat edilmelidir. Hazneye yerleştirilen numune ve bakalit tozları yaklaşık 150°C sıcaklık ve 30 MPa basınçta belirli bir süre bekletildikten sonra soğutulur ve dışarı alınır. Sıcak kalıplama için epoksi, akrilik ve bakalit reçineler kullanılabilir. Fakat en çok kullanılan bakalit olduğu için bu işlem “bakalite alma” olarak adlandırılmıştır.

Numuneye iletkenlik kazandırmak için bakalit tozu bakır veya demir tozu karıştırılarak kalıplanabilir. Aynı şekilde sertlik kazandırmak için ve parlatma yaparken kenar kısımların yuvarlaklaşmasının önlenmesi için cam tozu vs eklenebilir.



Şekil 3. Sıcak kalıplama işlemi

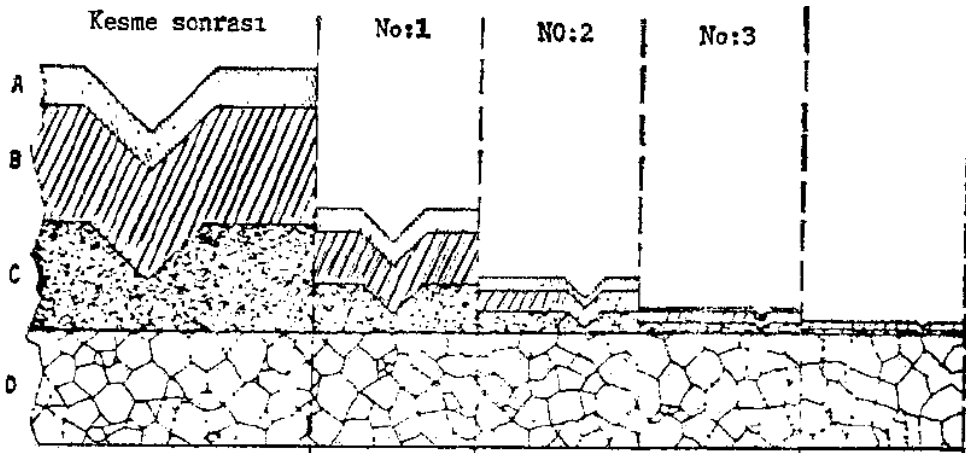
Soğuk kalıplama oda sıcaklığında yapılır. Dışarıdan basınç veya sıcaklık uygulanmaz. Reçine ve sertleştirici karıştırılarak kalıp içine ters konulmuş numunenin üzerine dökülür. Akrilik, polyester, epoksi reçineler kullanılabilir. Belirli bir süre sonra reçine donar ve numune kalıptan çıkartılır.



Şekil 4. Soğuk kalıplama işlemi

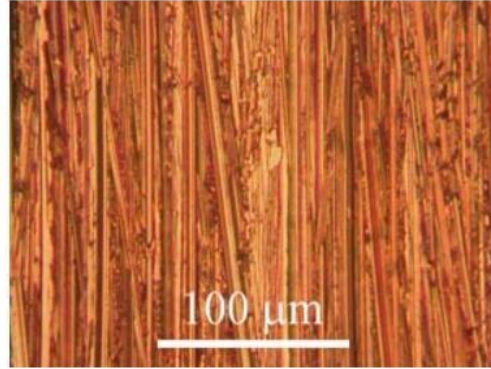
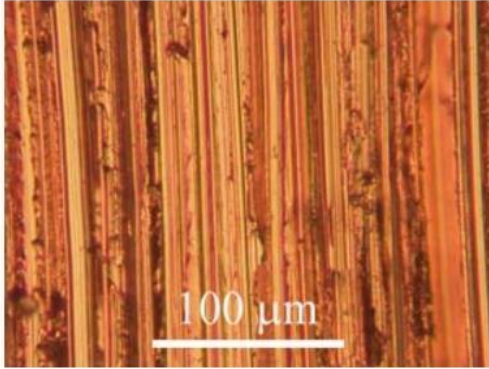
- **Zımparalama ve Parlatma**

Numuneler kesildikten ve kalıba alındıktan sonra mikroskopik inceleme için parlatılmaları gerekir. Parlatma işlemi, çeşitli parlatma kademeleri içerir. Her kademede, bir evvelki kademede kullanılan aşındırıcılardan daha ince aşındırıcı kullanılır ve böylece her kademenin numune yüzeyinde yarattığı deformasyon ve çizik minimuma indirilir. Numunelerin parlatılmasındaki başarı, parlatılacak malzemeye uygun yöntem ve aşındırıcının seçimine bağlıdır. Numuneler kesildikten ve kalıba alındıktan sonra, mikroskopik inceleme için parlatılmaları gerekir. Parlatma işlemi, çeşitli parlatma kademelerini içerir. Her kademede bir evvelki kademede kullanılan aşındırıcılardan daha ince aşındırıcı kullanılır ve böylece her kademenin numune yüzeyinde yarattığı deformasyon ve çizik minimuma indirilir. Numunelerin parlatılmasındaki başarı, parlatılacak malzemeye uygun yöntem ve aşındırıcının seçimine bağlıdır. Numunenin yüzeyinde, numuneyi kestığımız aletin izleri bulunur. Ayrıca kesme esnasında numunenin yüzeyi bir miktar deforme olur. Sekil el testeresi ile kesilmiş numunedeki yüzey durumunu sematik olarak göstermektedir



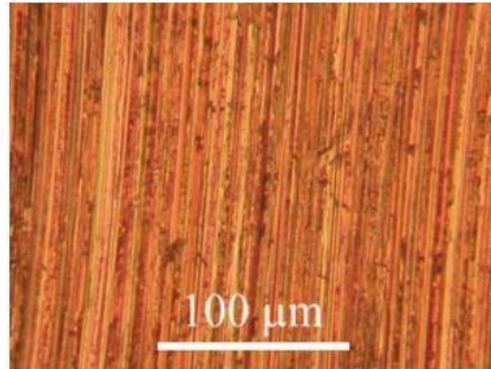
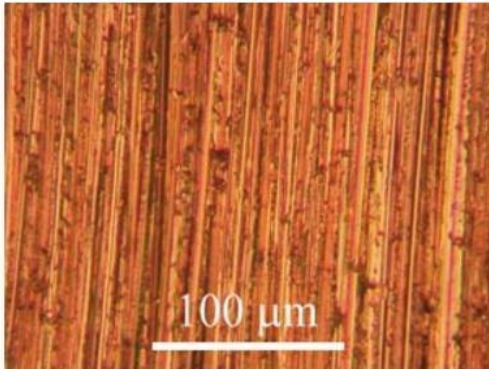
Şekil 5 El testeresi ile kesilmiş numunedeki yüzey durumu ve müteakip zımparalama kademelerinin bu bölgeye etkisi (A, B, C tabakaları kesme sonucu deformasyona uğrayan bölgeyi ve D orijinal içyapıyı göstermektedir).

Zımpara kağıtları birim alandaki aşındırıcı partikül sayısına göre numaralandırılmıştır. Dolayısıyla, partikül boyutu küçüldükçe birim alandaki partikül sayısı artar ve zımparanın nosu yükselir. Mesela, en kalın partikülleri içeren bir zımparanın numarası 80'dir ve partiküllerin tane boyut aralığı 210-177 mikrondur; halbuki 800 numaralı zımpara ince partiküllerden oluşmuştur (partikül boyut aralığı 15-11 mikron).



Copper specimen ground with 180 grit paper

Copper specimen ground with 400 grit paper



Copper specimen ground with 800 grit paper

Copper specimen ground with 1200 grit paper

Şekil 6. Farklı grit numaralı kağıtlarla zımparalama yapılmış bakır yüzeyleri

Parlatma işlemi mekanik, elektrolitik, kimyasal, otomatik parlatma yöntemlerin biriyle yapılır. Mekanik parlatma işleminde 150-600d/dk hızla dönen disklerden faydalanılır. Diskler plastikten yapılmış olup disklerin üzeri parlatma aşamasına göre çadır bezi, sert çuha, poplin, kadife, naylon vb. kumaş ile kaplanır. Kaba parlatmada aşındırıcı boyutu 15-1 µm arasındadır. İnce parlatmada ise 0,25-0,05 µm arasındadır. Aşındırıcı tozu diskler üzerine dökülür. Aşındırıcı olarak alümina Al_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO, Fe_2O_3 , elmas tozu gibi aşındırıcılar kullanılır. Elmas tozu macun, sprey ve süspansiyon halinde, diğerleri ise damıtık ile süspansiyon halinde kullanılır. Elmas tozu kumaş kaplı disk üzerine sürüldükten veya püskürtüldükten sonra özel yağlayıcı ile birlikte kullanılır.

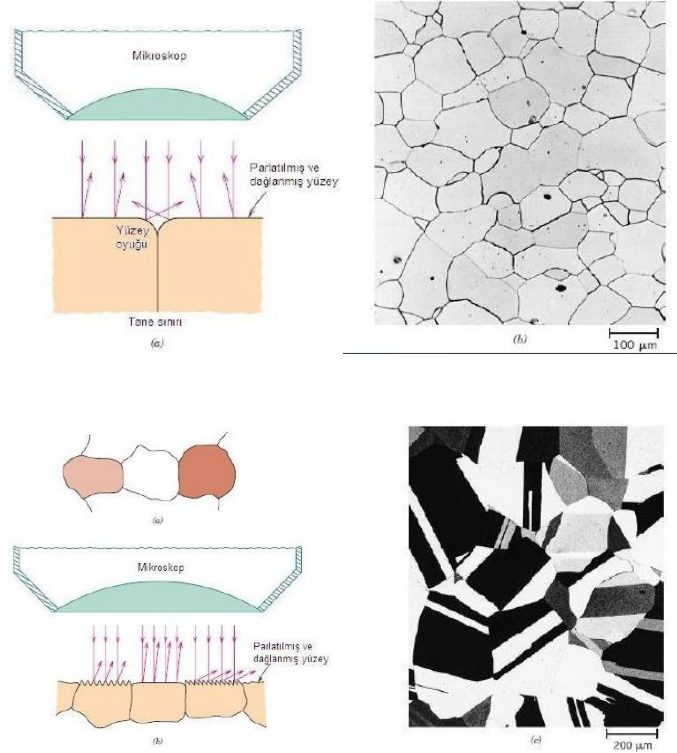
Zor parlatılan çok sert ve çok yumuşak numunelerin parlatılmasında elmas tozu daha iyidir. Parlatılmış numunelerde

- Dökme demirlerde grafitlerin yapısı ve dağılımı
- İnküzyonlar
- İçyapıda bulunan gözenekler
- Çatlaklar
- Taneler arası korozyon incelemeleri yapılabilir

İçyapıda bulunan fazların ve tane sınırlarının metal mikroskopunda görülebilmesi için **dağlama işlemi** gerekir. Dağlama kimyasal, elektrolitik veya fiziksel olabilir. Burada kimyasal dağlama açıklanacaktır.

- **Dağlama**

Parlatılmış numunenin yüzeyi ışığı eşit dağıttığından yapıdaki ayrıntılar ayırt edilemez. Bu nedenle yapıda kontrast oluşturulması gerekir. Bunun için uygulanan yöntem genel olarak **dağlama** (etching) denir. Genellikle kimyasal dağlama kullanılır. Mikroyapısal detayları ortaya çıkarmak için bir malzemenin yüzeyinde kimyasallar kullanılır. Tane sınırları dağlamaya daha elverişlidir. Tane sınırları siyah bölgeler olarak ortaya çıkabilir. Tane sınırları boyunca kristal yönlenmelerde değişim olduğu için ayırt edicidir. Tek fazlı malzemelerde, tanelerin kimyasal reaktiflikleri kristal yönlenmelerine göre farklılık gösterir. çok kristalli numunelerde ise dağlanma davranışı taneden taneye farklılık gösterir.



Şekil 6. Dağlama işlemi

Deneyin Yapılışı

Metalografi deneyi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında gerçekleştirilecektir. Öğrencilerin her birine düşük karbonlu elik, yüksek karbonlu elik, dökme demir veya demir dışı alaşımlardan her hangi biri verilerek metalografik numune inceleme yapması istenecektir. Metalografinin tüm adımları sırasıyla gerçekleştirilecek ve öğrenciler hazırladıkları numuneleri optik mikroskopta inceleyecektir.

Deney Sonunda İstenenler

Deneyde kullanılan sarflar, cihazlar, yöntemler adım adım anlatılacaktır. Herkes kendi numunesini nasıl hazırladığı optik mikroskopta elde ettiği sonucu ve çektiği optik mikroskop görüntüsünü deney raporuna koyacaktır.

DENEY: KOROZYON

Deney Sorumluları: Dr. Öğr. Üyesi Cihan KURU, Arş. Gör. Süleyman CAN

Deneyin Amacı

Bu deneyin amacı öğrencilere korozyonun oluşma mekanizmasını, korozyon hızı ölçümünü ve katodik korumayı öğretmektedir.

Teorik Bilgi

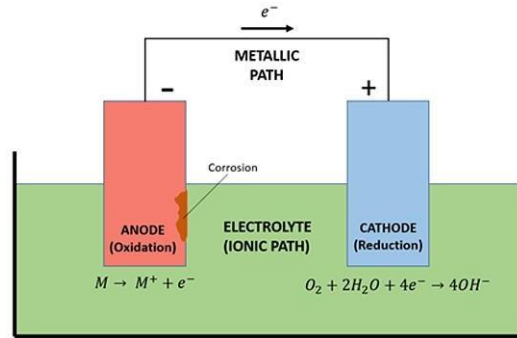
1. Korozyon Tanımı

Korozyon bir malzemenin (genellikle metaller) bulunduğu ortamla istenmeyen bir şekilde kimyasal reaksiyona girerek bozunması ve özelliklerini kaybetmesi olayıdır. Bu elektrokimyasal bir süreçtir ve yüzeyde başlar. Korozyon bir fabrikanın altyapısının ve makinelerin bozulmasına yol açabilir. Bu da üretimin durmasına, ürünlerin hatalı çıkmasına ve en önemlisi insan güvenliğinin tehlikeye girmesine neden olur. Bu tür bir durumla karşılaşmamak için ortamdaki korozyon etmenleri ve bozunma hızı ortaya çıkarıldıktan sonra periyodik aralıklarla korozyon kontrolleri ve bakımları yapılmalıdır.

2. Metaller Neden Korozyona Uğrar?

Doğada saf metal bulunmaz, metaller mineraller halinde bulunurlar ve saflaştırma işleminden sonra kullanılırlar. Doğada saf metallerin bileşikler halinde bulunmasının nedeni metallerin bu formlarının termodinamik olarak daha kararlı olmasından kaynaklanır. Aslında korozyona uğrayan saf metaller doğadaki bulunan kararlı formlarına geri dönmüş olur. Bir metali saflaştırmak için enerji kullanılır. Ancak korozyonda ise enerji açığa çıkar. Bu da korozyonun kararlı olan duruma yol açtığını gösterir.

3. Korozyonun Oluşum Mekanizması



Şekil 1. Galvanik korozyon hücresinin şematik gösterimi.

Şekil 1’ de bir korozyon sistemi şematik olarak gösterilmektedir. Bir korozyon sistemi anot, katot, elektroliti ve anotla katot arasındaki elektriksel bağlantıdan oluşur. Korozyon bir elektrokimyasal süreçtir, elektronların bir maddeden diğerine aktarılmasıyla oluşan bir kimyasal reaksiyon. Korozyon bir oksidasyon ve indirgenme reaksiyonu içerir. Bu reaksiyonlara yarı reaksiyonlar da denir. Elektron verme işlemine oksidasyon ve alma işlemine de indirgenme denir. Elektron veren elektrotta anot ve alan elektrotta da katot denir. Korozyonun gerçekleşebilmesi için anotla katot arasında bir potansiyel farkının bulunması gerekir. Bu potansiyel farkı elektronların korozyon hücresi boyunca hareket etmesini ve

reaksiyonların gerçekleşmesini sağlar. Bunlardan birinin elimine edilmesi korozyonu durdurur. Doğal ortamda korozyonun gerçekleşebilmesi için ortamın da iletken olması gerekir. Toprak ya da suyun korozifliği iletkenliği ile ilişkilidir. Bu yüzden deniz suyu daha koroziftir. Bir metali tatlı suya göre 10 kat daha hızlı korozyona uğratabilir. Korozyon anotta meydana gelir. Korozyona uğrayan elektrot iyonlar halinde çözültüye karışır.

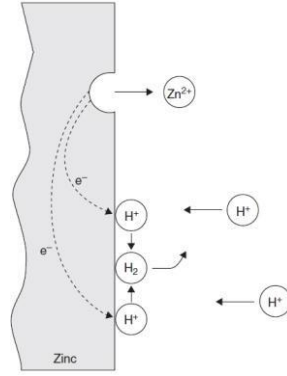
Bir elektrolit içerisinde daldırılmış aralarında elektriksel bağlantı olan farklı iki cins anot ve katottan oluşan korozyon sistemine galvanik çift denir. Her iki metal arasında, enerji seviyelerinin farklılığından dolayı bir potansiyel farkı oluşur ve korozyona neden olan etken bu potansiyel farkıdır. Galvanik çiftlerde daha aktif olan metal anot olur ve korozyona uğrayan taraftır. Daha az aktif olan metalin yüzeyinde ise indirgenme reaksiyonu gerçekleşir. Bu tür bir korozyona galvanik korozyon denir.

<i>Electrode Reaction</i>	<i>Standard Electrode Potential, V⁰(V)</i>
$\text{Au}^{3+} + 3e^{-} \longrightarrow \text{Au}$	+1.420
$\text{O}_2 + 4\text{H}^{+} + 4e^{-} \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.229
$\text{Pt}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Pt}$	~+1.2
$\text{Ag}^{+} + e^{-} \longrightarrow \text{Ag}$	+0.800
$\text{Fe}^{3+} + e^{-} \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$	+0.771
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^{-} \longrightarrow 4(\text{OH}^{-})$	+0.401
$\text{Cu}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Cu}$	+0.340
$2\text{H}^{+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{H}_2$	0.000
$\text{Pb}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Pb}$	-0.126
$\text{Sn}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Sn}$	-0.136
$\text{Ni}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Ni}$	-0.250
$\text{Co}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Co}$	-0.277
$\text{Cd}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Cd}$	-0.403
$\text{Fe}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Fe}$	-0.440
$\text{Cr}^{3+} + 3e^{-} \longrightarrow \text{Cr}$	-0.744
$\text{Zn}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Zn}$	-0.763
$\text{Al}^{3+} + 3e^{-} \longrightarrow \text{Al}$	-1.662
$\text{Mg}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Mg}$	-2.363
$\text{Na}^{+} + e^{-} \longrightarrow \text{Na}$	-2.714
$\text{K}^{+} + e^{-} \longrightarrow \text{K}$	-2.924

Tablo 1. Bazı metallerin standart elektrot potansiyelleri.

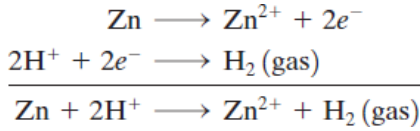
Yukarıdaki tabloda bazı metallerin standart hidrojen elektrot potansiyelleri görülmektedir. Bu tablodaki değerler metallerin aktifliklerini kıyaslamada kullanılabilir. Tabloda aşağıya doğru inildikçe metallerin aktifliği artmaktadır. Örneğin, magnezyum ve demirden oluşan bir galvanik çiftte magnezyum daha aktif olduğundan korozyona uğrayan taraftır.

Korozyon tek bir cins metalin yüzeyinde de gerçekleşebilir. Bu durumda sadece anot varmış gibi görünebilir. Ancak gerçekte durum böyle değildir. Metal yüzeyinde farklı aktifliğe sahip olan mikro düzeyde anot ve katot bölgeleri bulunur. Daha aktif olan bölgeler elektron vererek metal iyonları halinde çözültüye karışır. Ortaya çıkan elektronlar katot bölgelerine taşınarak burada indirgenme reaksiyonunda kullanılır (Şekil 2). Örneğin stresin bulunduğu bölgeler, tane sınırları, kristal hatalarının bulunduğu bölgeler anot gibi davranır ve korozyona uğrayan taraftır. Bunun yanında yüzeydeki oksijen konsantrasyonunun değişmesi, sıcaklığın değişmesi gibi etmenler de metal yüzeyinde anot ve katot bölgeleri meydana getirebilir.

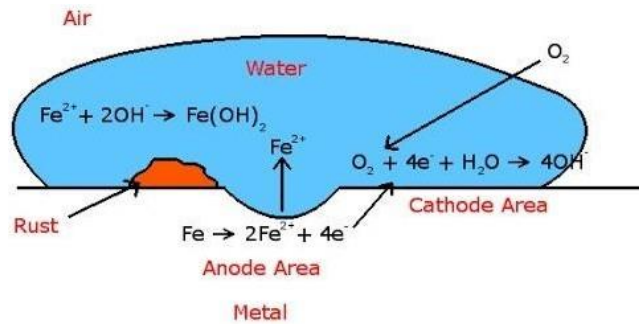


Şekil 2. Tek bir cins metalden oluşan korozyon sisteminin şematik gösterimi.

Asitlerde korozyon reaksiyonunda anot oksidasyon reaksiyonunda elektron kaybeder ve metal iyonları oluşur. Ortaya çıkan elektronlar katoda ve buradan da çözültideki hidrojen iyonlarına akar ve böylece indirgenme reaksiyonu oluşur. İndirgenme reaksiyonunun neticesinde hidrojen gazı ortaya çıkar.



Nötr çözültülerdeki korozyon reaksiyonu ise biraz daha karmaşıktır. Örneğin, demirin tuzlu sudaki reaksiyonunu inceleyebiliriz. Buna aynı zamanda demirin paslanma reaksiyonu da denir (Şekil 3). Anotta demir atomları oksidasyon reaksiyonu sonucu demir iyonları halinde çözültiye karışır. Ortaya çıkan elektronlar su ve oksijenle reaksiyona girerek OH^{-} iyonları oluşturur. Bu iyonlar daha sonra çözültiye karışan demir iyonlarıyla reaksiyona girer ve pas denilen demir hidroksit bileşiğini oluşturur. Pas demir yüzeyinde çökelekler oluşturarak yüzeyi belirli bir süre sonra pasifleştirir. Bu reaksiyonun gerçekleşmesi için suda çözülmüş oksijenin bulunması şarttır.

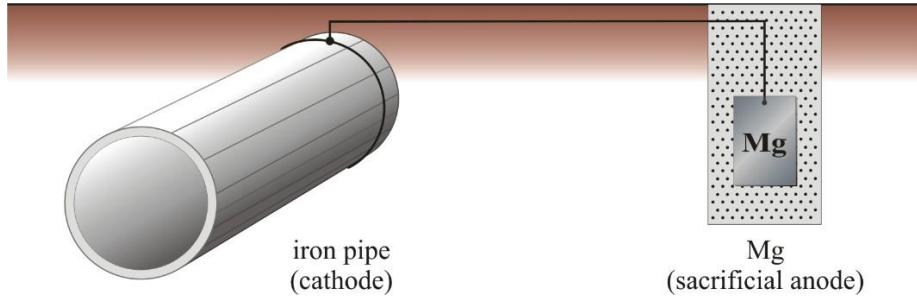


Şekil 3. Demirin paslanma reaksiyonu.

4. Katodik Koruma

Bilindiği gibi korozyon anotta meydana gelmektedir. Metallik malzemeyi katot yaparak korozyon engellenebilir. Bu iki şekilde sağlanabilir:

1-) Kurbanlı katodik koruma: Korumak istediğimiz malzemenin yüzeyi kendisinden daha aktif olan bir malzemeye kaplandığında ya da daha aktif olan bir malzemeye elektriksel bağlantı yapıldığında aktif olan malzeme anot görevi göreceğinden korunmak istenen malzeme katot durumuna geçer (Şekil 4). Bu durumda sadece kurban malzemede korozyon meydana gelir. En çok kullanılan kurban malzemeler magnezyum, çinko, alüminyum ve bunların alaşımlarıdır. Bunların içerisinde en etkili olanı magnezyumdur çünkü en aktif olan metal magnezyumdur. Genellikle toprak korozyonundan korunmak için yeraltı borularına uygulanır. Bunun yanında gemi gövdelerini, iskele ayaklarını korumak için de bu yöntem kullanılır. Kurban malzeme tükendiğinde yerine yenisi koyulur. Galvanize çelik kurban kaplamalı katodik korumaya güzel bir örnektir. Çelik sıcak daldırma yöntemi ile galvanize edilebilir.

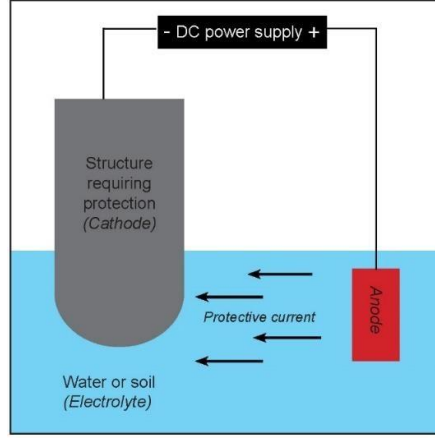


Şekil 4. Kurbanlı katodik koruma.

2-) Bir güç kaynağı ile katodik koruma:



Korozyon yukarıdaki reaksiyona göre gerçekleşir. Korozyona uğrayan metal bir güç kaynağının negatif kutbuna bağlandığında yani katot durumuna geçtiğinde güç kaynağı metale elektron sağlayacağından yukarıdaki reaksiyon tersine döner ve korozyon böylece engellenir (Şekil 5). Bu tür bir sistemde güç kaynağının negatif kutbuna bağlanan metal katot görevi görürken pozitif kutbuna ise grafit gibi bir inert elektrot bağlanır. Grafit anot olmasına rağmen korozyona uğramaz çünkü kimyasal olarak kararlıdır. Uzun süreli kullanım sağlar. Güç kaynağı olarak DC güç kaynakları kullanılır. Şehir şebekesi kullanılacaksa bir doğrultucu ile birlikte kullanılmalıdır. Bu tür koruma büyük yapılar ve uzun süreli koruma için daha uygundur.



Şekil 5. Bir güç kaynağı ile katodik koruma.

5. Korozyon Hızının Hesaplanması

Öncelikle elde edilen korozyon akımı değerleri kullanılarak Faraday Yasası'ndan g cinsinden 1 yılda ne kadar maddenin korozyona uğradığı hesaplanır.

$$W = \frac{I \cdot t \cdot M}{F \cdot n}$$

W: Korozyona uğrayan madde miktarı (g)

I: Korozyon akımı (A)

t: Zaman (saniye)

M: Korozyona uğrayan malzemenin molar kütlesi ($M_{Fe} = 55.85 \text{ g/mol}$)

F: Faraday sabiti (96500 A.s/mol)

n: oksidasyon reaksiyonunda ortaya çıkan elektron sayısı

Daha sonra korozyonun homojen bir şekilde gerçekleştiği varsayılarak korozyona uğrayan madde miktarı aşağıdaki eşitlikler kullanılarak kalınlık cinsinden hesaplanır. Elde edilen değer 1 yılda kalınlık cinsinden korozyon miktarıdır.

$$d = m / A \cdot t$$

d: özkütle (demirin özkütlesi= 7.87 g/cm^3)

A: numunenin alanı

t: kalınlık cinsinden korozyon miktarı

Deneyin Yapılışı

Deney 1. Çeliğin Korozyon Akımının Ölçülmesi

1. 50 mL' lik 1 M NaCl ve 0.5 M H₂SO₄ çözeltisi hazırlayın.
2. Hazırlanan NaCl çözeltisini korozyon hücresine boşaltın.
3. Bir parça çelik levha, Ag/AgCl ve karbon elektrotları korozyon hücresinde yerlerine yerleştirdikten sonra ölçüm için çalışma elektrotu, referans elektrot ve karşıt elektrot bağlantılarını yapın.
4. Ölçümlerde kullanılacak olan potansiyostat cihazını ve cihazı kontrol eden Gamry Framework arayüzünü çalıştırın.
5. Experiment>DC Corrosion>Tafel Scan seçin.
6. Default olarak verilen ölçüm parametrelerini kullanın.
7. Daha sonra elde edilen datadan Gamry Analyst programını kullanarak korozyon akımını elde edin.
8. Aynı deneyi çözeltiyi 15 dakika boyunca azot gazı ile doyurduktan sonra tekrar edin.
9. Elde edilen korozyon akımı değerlerini not edin.

Elektrolit	Korozyon akımı
Tuzlu su	
Azot gazı ile doyurulmuş tuzlu su	

Deney 2. Kurbanlı Katodik Koruma

1. Bir parça çeliği 0.5 M H₂SO₄ çözeltisine daldırın ve korozyon olayını gözlemleyin.
2. Daha sonra aynı çelik parçasını krokodil ile bir çinko parçasına elektriksel olarak bağlayın ve çözeltiye yerleştirin.
3. Gözlemlerinizi not edin.

Deney 3. Güç Kaynağı İle Katodik Koruma

1. Çelik parçasını ve karbon elektrotu 0.5 M H₂SO₄ çözeltisine daldırdıktan sonra sırasıyla bir güç kaynağının negatif ve pozitif kutbuna bağlayın.
2. Güç kaynağının uyguladığı voltaj değerini sıfıra ayarlayın ve gözlemlerinizi not edin.
3. Daha sonra güç kaynağının uyguladığı voltaj değerini yavaş yavaş arttırın ve gözlemlerinizi not edin.

Sorular

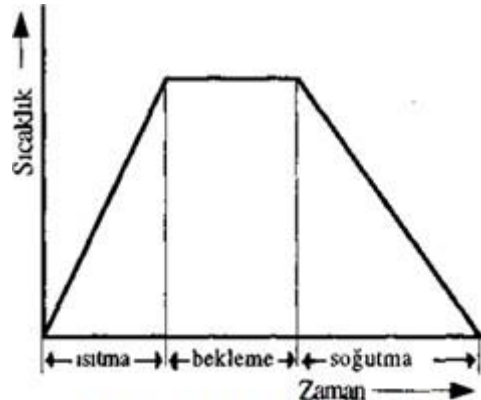
1. Deney 1' de elde edilen korozyon akımı değerlerini kullanarak korozyon hızını mm/yıl cinsinden hesaplayınız.
2. Deney 1' de azot ile doyurulmuş NaCl çözeltilisindeki korozyon akımının değerinin neden düşük çıktığını açıklayınız.
3. Deney 2' de çelik parçasının çinkoya bağlanmasından sonra neden çelik yüzeyinde gaz oluşumu gözlenmediğini açıklayınız.
4. Deney 3' te voltaj belirli bir değere ulaştığında çelik yüzeyinde gaz oluşumunun durma nedenini açıklayınız.
5. Korozyondan korunmak için kullanılan yöntemleri açıklayınız.

DENEY: ISIL İŞLEM

Deney sorumluları: Dr. Öğr. Üyesi Şenol AVCI, Arş. Gör. Süleyman CAN

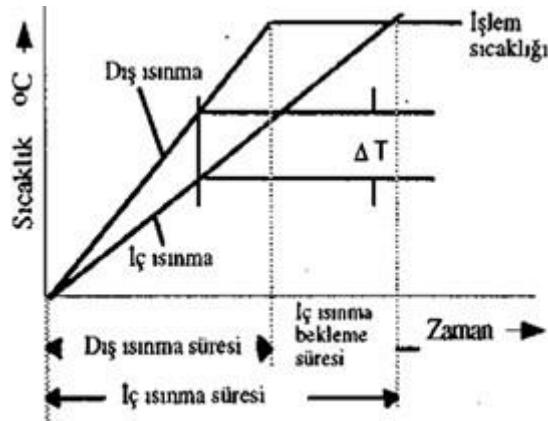
Isıl işlem teriminden, metal malzemelerde katı halde sıcaklık değişimleri ile bir ya da birbirine bağlı birkaç işlemle, amaca uygun özellik değişimleri anlaşılır.

Isıl işlemde bu tanıma uygun olarak, parçaların belirli bir sıcaklığa ısıtılması "ısıtma", bu sıcaklıkta uygunsüre tutma "bekleme" ve belirli bir programa uygun olarak sıcaklığın oda sıcaklığına düşürülmesi "soğutma" ile üç kademede özellik değişimleri sağlanır.



Şekil 1: Isıl işlem kademeleri

Isıtma, parçanın sıcaklığını, oda sıcaklığından ısıl işlemde öngörülen belirli bir sıcaklığa yükseltme işlemidir. Isıtma prosesinin herhangi bir anında, ısıtılan parçanın yüzeyindeki ve merkezindeki sıcaklık değerleri farklıdır. Isıtma ortamı ne olursa olsun, ortamın ısıtma gücüne bağlı olarak, parçanın yüzeyi belirli bir sıcaklığa ulaştığında, parçanın çekirdeği (merkezi), malzemenin boyutuna ve ısı iletme kabiliyetine bağlı olarak daha geç ısınacağından, sıcaklığı daha düşük olur (Şekil 2).



Şekil 2: Isıtmada iç-dış yüzey ısı farkı

Diğer bir anlatım ile, parçanın yüzeyi öngörülen belirli bir sıcaklığa geldiğinde, çekirdeğinin de aynı sıcaklığa gelmesi için, biraz daha fazla sürenin geçmesi gerekir. Bu nedenlerle, ısıtma işleminde parça yüzeyinin ısınması dış ısınma ve merkezinin ısınması iç ısınma olarak ayrılır. Oda sıcaklığından itibaren, parça yüzeyinin öngörülen işlem sıcaklığına kadar ısınması için geçen süre dış ısınma süresi, merkezinin işlem sıcaklığına gelmesine kadar geçen süre iç ısınma süresi ve parça yüzeyi işlem sıcaklığına geldikten

sonra, merkezinin işlem sıcaklığına gelmesi için geçen süre de iç ısınma için bekleme süresi olarak adlandırılır.

Isıtma işleminin herhangi bir anında, yüzey sıcaklığı ile merkezinin sıcaklığı arasındaki ΔT sıcaklık farkı (Şekil 2), malzemenin ısı iletme kabiliyeti azaldıkça, ısıtma hızı yükseldikçe malzeme boyutları büyüdükçe artar. Bu sıcaklık farkının artması büyük ısıl gerilmeler oluşturacağından, genellikle istenmez.

Sıcaklık farkını azaltmak amacıyla, öngörülen ısıtma, sıcaklığının altında bir ya da iki ayrı sıcaklıkta ara ısıtma yapılabilir. "Ön ısıtma" adı verilen bu işlemle, parçalarda daha düzenli ve homojen ısıtma sağlanır(Şekil 3), aynı zamanda iç ısınma için bekleme süresi kısılır. Ayrıca, ısıtma hızını azaltarak da, yüzey ve çekirdek arasındaki sıcaklık farkı azaltılabilir. Çeliklerin ısıl işleminde daha çok ön ısıtma tercih edilirken, döküm malzemelerde yavaş ısıtma da tercih edilmektedir.



Şekil 3: Kademe ısıtma

Isıtma sıcaklığı olarak da belirtilen işlem sıcaklığı, ısıl işlemde ulaşılması öngörülen en yüksek sıcaklıktır. Ancak ısıl işlem türüne bağlı olarak, ısıtma sıcaklığı terimi yerine, tavlama sıcaklığı, sertleştirme sıcaklığı, ostenitleştirme sıcaklığı, ani soğutma sıcaklığı, meneviş sıcaklığı, çözme sıcaklığı, yaşlandırma sıcaklığı ve çökeltme sıcaklığı gibi terimler de kullanılmaktadır.

Isıtma sıcaklığında yapılan, sıcaklığı sabit tutma işlemine, bekleme ve bu esnada geçen süreye de bekleme süresi adı verilir. Bekleme süresi, teorik olarak iç ısınmanın bitmesini müteakip soğutma başlangıcına kadar geçen süredir. Ancak, iç ısınmanın tam bittiği anın belirlenmesi ya da hesaplanarak kesin olarak bulunması çok zor olduğundan ve pratikte dış ısınmanın bittiği an kolayca ölçülebildiğinden, uygulamalarda daha çok dış ısınmanın bittiği an, bekleme süresinin başlangıcı olarak alınır.

Öngörülen sıcaklık değerinin hatalı olarak üzerine çıkılması ya da sürenin olması gerekenden fazla uygulanmasına aşırı ısıtma adı verilir. Yanma olayının dışında, her iki hatalı çalışma da tane kabalaşması adı verilen aynı soruna neden olduğu için, iki değişik olayın aşırı ısıtma olarak adlandırılması sakınca doğurmamaktadır.

Isıl işlemin üçüncü kademesi olan soğutma işlemi, parçanın ısıtma ortamında bırakılarak ortamla birlikte

soğuması, açık havada ya da belirli bir soğutma ortamında, oda sıcaklığına kadar sürekli ısı vererek sürekli soğutma tarzında olabileceği gibi, önce yağ daha sonra su veya hava ya da tersi olarak önce su sonra yağ gibi iki ya da üç değişik ortamda birbiri peşisıra değişik hızlarda soğuması kademeli soğutma, belirli bir sıcaklığa kadar sürekli soğutup, bu sıcaklıkta sıcaklık dengesi sağlanacak kadar beklendikten sonra soğutmaya devam edilmesi kesintili soğutma tarzında olabilir. Ayrıca, yüksek sıcaklıktan belirli bir sıcaklığa ısıtılmış banyo içerisine daldırıp, bu sıcaklıkta yapısal dönüşme yaptıracak şekilde bekleme ve tekrar sürekli soğutmaya devam etme olarak izotermik (eşısı) dönüşümlü soğutma tarzında da uygulama yapılabilir (Şekil 4).



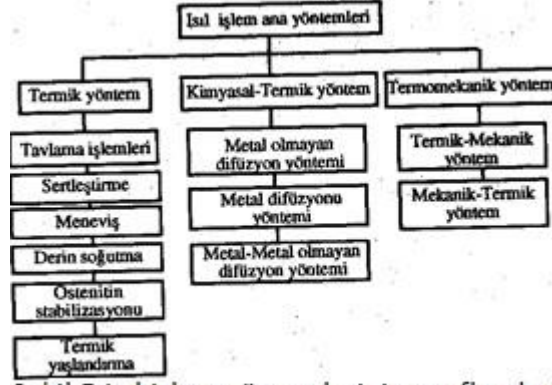
Çeliklerin sertleştirilmesinde yapılan hızlı soğutma işlemi de, ani soğutma olarak tanımlanır.

Bazı soğutma işlemlerinde, parça sıcaklığının sıfırın altına (negatif °C) düşürülmesi gerekebilir. Bu tür soğutmaya da, kriyojenik soğutma, aşırı soğutma, alçak soğutma, sıfırlı soğutma ya da derin soğutma denilmektedir.

Metal malzemelerde ısıl işlemlerle özellik değişimleri sağlanırken, malzemenin kimyasal bileşiminde değişiklik yapılmadan, kristal ya da kafes yapısında düzenlemeler yapılabilir. Termik yöntem ya da ısıl yöntem adı verilen bu tür ısıl işleme örnek olarak, difüzyon tavlama (homojenleştirme tavlama), kaba tane tavlama, gerilim giderme tavlama, yumuşak tavlama, normal tavlama gibi çeliklerdeki tavlama işlemleri ile sertleştirme ve meneviş işlemleri söylenebilir.

Malzemenin tümünde ya da yalnızca cidarında (yüzeyinde) kimyasal bileşimde değişim yapılarak, özellik değiştirme de mümkündür. Kimyasal-termik yöntem ya da kimyasal-ısıl yöntem adı verilen bu tür işlemlere örnek olarak sementasyon, nitrasyon, karbonitrasyon, sülfonitrasyon, sülfokarbonitrasyon, silisyumlama, borlama, metal ya da metal olmayan element ya da bileşiklerinin difüzyonu gösterilebilir. Ayrıca, teknolojik ve termik işlemler birbiri peşisıra uygulanarak mekanik-termik yöntem (Termomekanik yöntem) ya da mekanik-ısıl yöntem ile örneğin rekristalizasyon tavlama, toparlanma tavlama, patentleme tavlama ve bazı özel sertleştirme işlemleriyle özellik iyileştirilmesi yapılabilir.

Yukarıda ana hatları ile belirtilen yöntemler, çoğu zaman birbiri peşisıra uygulanabilmektedir. Şekil 5'te, ısıl işlem yöntemlerinin sınıflandırılmaları verilmiştir.



Şekil 5 Isıl işlem yöntemlerinin sınıflandırılması

ISIL İŞLEMDE DEĞİŞTİRİLEBİLEN ÖZELLİKLER

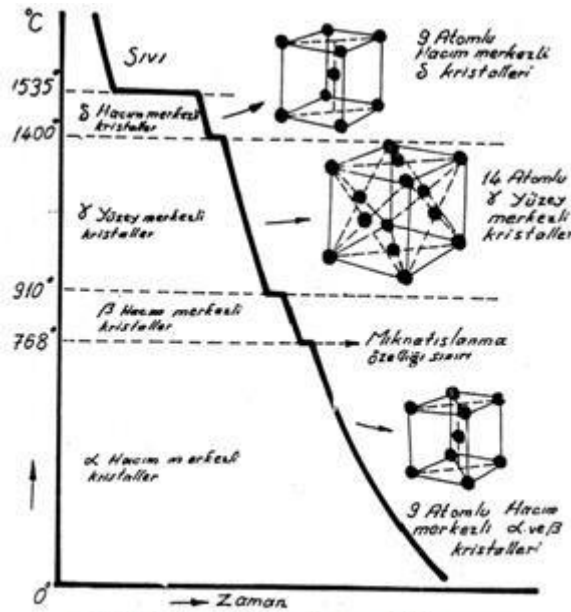
- Herhangi bir yöntemle sertleştirilmiş yapı yumuşatılabilir. Malzemede talaşlı ve talaşsız işlenebilirlik artırılır.
- Malzemenin iç yapısında, daha homojen ve ince yapılı taneler elde edilebilir
- Ötektik ya da ötektoid yapıdaki intermetalik bağlantılar, lamel halden küresel forma dönüştürülebilir.
- Tane sınırlarında bulunan lamel ya da plaka formundaki intermetalik bağlantılar parçalanır ve küresel forma dönüştürülebilir.
- Döküm ya da haddeleme sonrası yapıda kalabilen alaşım elementlerinin homojen olmayan dağılımı (makro ve mikro düzeyde bileşim farklılıkları), ısıl işlemle büyük ölçüde giderilebilir. Ayrıca, daha önceden ayrılmış özellikleri bozan partiküller tavlama ile parçalanarak, yapıda homojen faz elde edilebilir.
- Dökümden sonraki katılaşmada, tane sınırları arasındaki empürite (arıtılmayan elemanlar) bağlantılarından belirli bir sıcaklıkta çözülebilenleri, tane içerisinde homojen olarak dağıtılabilir. Çözülmeyen empüriteler ise parçalanarak, malzemedeki kötü etkileri azaltılabilir, ayrıca homojen dağılımları sağlanabilir
- Soğuk şekillendirme ile şekillendirme doğrultusunda uzamış kristaller, daha küçük ve küresel forma dönüştürülebilir. Malzeme yumuşatılır ve tekrar soğuk şekillenebilirlik özelliği kazandırılır.
- Kritik şekil değiştirme derecesinin altında soğuk şekillendirilmiş malzemelerde, pek az uzamış taneler, küresel biçime kavuşturulabilir ve şekillendirme öncesi özellikler, toparlanma ile yenidenkazandırılabilir.
- Talaşlı şekillendirilebilmeyi kolaylaştırmak amacıyla, tane kabalaşması sağlanabilir.
- Düşük karbonlu çeliklerde, ostenitik alandan uygun soğutma yapılarak, ferrite nazaran perlit oranı artırılarak, yani perlitleştirme yaptırılarak talaşlı şekillendirilebilirlik iyileştirilebilir.
- Soğuk şekillendirme, kaynak işlemi, döküm ya da sıcak şekillendirme sonucu yapılan soğutma esnasında ya da daha önce uygulanmış bir diğer ısıl işlem sonucu oluşmuş iç gerilmeler (artık gerilmeler) ısıl işlemle azaltılarak, malzemenin işlenmesinde ya da kullanımında sorun yaratmayacak seviyeye indirilebilir.
- Çeliklerde ostenit stabilleştirilmesi yapılmak suretiyle, kalite yükselmesi sağlanır, soğuğa ve korozyona dayanım artırılabilir.
- Emaye, laklama ve benzer yüzey kaplama işlemleri için malzeme yüzeyini hazırlamak amacıyla, parlak yüzey sağlanabilir.
- Yüze yabancı atom difüzyonu ile ya da dayanıklı bir oksit tabakası oluşturarak, atmosfere ve diğer korozif ortamlara karşı korozyon direnci artırılabilir.
- Katı halde dönüşüm meydana getirebilen alaşımlarda, yavaş soğumada meydana gelebilecek yapıların hızlı soğutma yapılarak engellenmesi ve tamamen farklı yeni yapıların oluşturulmasıyla (örneğin, çeliklerde martensitik ya da bainitik yapı teşekkülü), yüzeyde ya da tüm malzeme kesitinde önemli ölçüde sertlik artması sağlanabilir.

- Aşırı doymuş katı çözelti teşekkül ettirilir ve ardından sertliği yüksek parlıküller çökeltilerek (yaşlandırma, dinlendirme, ayrıştırma), çökeltme sertleşmesi yapılabilir.
- Difüzyon yoluyla, malzeme yüzeyine yeni atomlar nüfuz ettirilerek, çeliklerin yüzeylerinde nitrit bağlantıları gibi sert yüzey sağlanabilir ya da normal koşullarda yeterli sertleşmeyi yapmayan çeliklerde difüzyonla karbon nüfuz ettirmek suretiyle, yüzeyde yüksek sertlik değerlerine ulaşılması sağlanabilir.
- Döküm malzemelerde yapı yeniden düzenlenebilir. Örneğin, metastabil sistemde ilk katılaşmasını yapmış döküm parçalar, siyah ya da beyaz temper döküm haline gelecek tarzda işlem uygulanarak, mekanik ve teknolojik özellikleri çok iyi duruma getirilebilir.

Yukarıda özet olarak belirtilen özellik değişmelerinin çok büyük bir kısmı çeliklerde olabilmektedir. Demir esaslı döküm malzemeler ile diğer metal ve alaşımlarında ise bu durum kısmen gerçekleşebilir.

Saf bir demir parçası oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar ısıtıldığında kristalografik dönüşümlere uğrar ve iki farklı allotropik dönüşüm gösterir. Demirin allotropik değişiminde alınan/verilen ısıya dönüşüm gizli ısısı denir. Eğer bir demir numune kararlı bir hızla ısıtılırsa, sıcaklıktaki artış dönüşümün başlamasıyla kesilir ve sıcaklık dönüşümün tamamlanmasına kadar sabit kalır. Ergimiş demirin oda sıcaklığına soğutulması sırasında, dönüşümler ısıtmadakine yakın bir sıcaklıkta ters olarak meydana gelir. Bu dönüşümler sırasında ısı serbest hale geçer ve soğuma hızının azalmasına neden olur. Soğuma hızındaki bu değişiklik dönüşüm sürecinde devam eder.

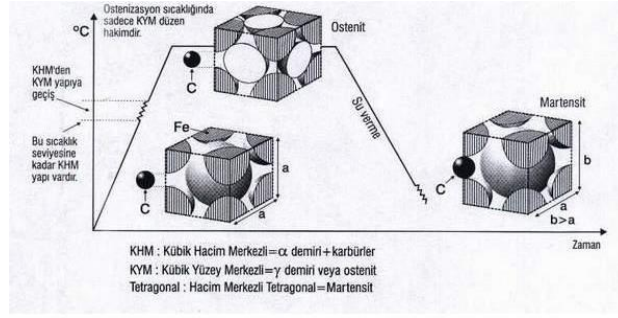
Ferrit ve Ostenit adı verilen demire ait iki faz ile bunların ısıtma ve soğutma sırasındaki dönüşüm sıcaklıkları ve kararlılık bölgeleri Şekil 6'a gösterilmektedir



Şekil 6: Demirin allotropi diyagramı

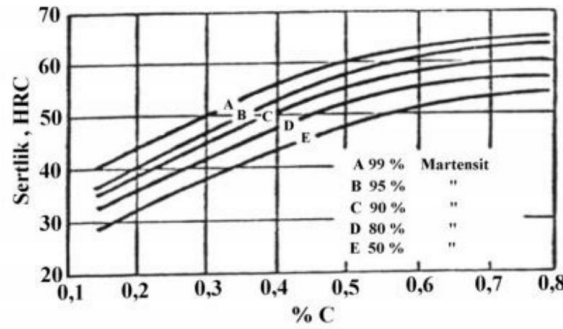
Çelik su verme amacıyla ısıtılmaya başlandığında, yapısı kübik hacim merkezli birim kafeslerden oluşmaktadır. Bu kafeste karbon atomu yoktur. 700 C'nin üzerindeki sıcaklıklara gelindiğinde, KHM'li hücreler sıcaklığın etkisiyle yavaş yavaş kübik yüzey merkezli kafes halini almaya başlar. Ostenitleme sıcaklığına gelindiğinde, çeliğin yapısı sadece KYM'li kafeslerden oluşmuştur. Karbon atomunun kafesin içine girmesi için boşluk doğmuştur. Bu malzemeye ani su verme yapılırsa yani aniden soğutulursa karbon atomunun kaçması için yeterli süre kalmaz bu sayede C atomu kafese hapsolür. Kafes, içerisinde

barındırdığı karbon atomları yüzünden çok gergin durumdadır. Oluşan bu sert yapıya martenzit adı verilir.



Şekil 7

Kritik soğuma hızı, TTT diyagramlarında burun noktasını kesmeden sağlanan en düşük soğuma hızıdır. Su verme işleminde uygulanan soğuma hızı, kritik soğuma hızından daha yüksek ise, perlit ve beyrit dönüşümü tamamen engellenerek martenzit yapısı oluşur. Eğer soğuma hızı kritik soğuma hızından daha düşük ise en son yapıdaki martenzitin miktarı ve buna bağlı olarak ta sertlik azalır. Bu yolla sağlanan sertlik değeri çeliğin karbon miktarına bağlıdır. Östenitleme işleminden sonra karbür olarak kalan karbon, martenzit reaksiyonunda yer almadığı için sertliğe etki etmez. Şekil 8, martenzit miktarı, sertlik ve karbon miktarı arasındaki ilişkiyi göstermektedir [6].



Şekil 8. Martenzit miktarı, sertlik ve karbon miktarı arasındaki ilişki.

Sertleşebilirlik

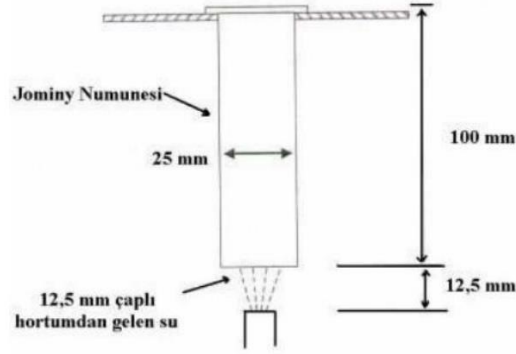
Sertleşebilirlik bir çeliğin su verme işlemiyle martensite dönüşümü sonucu sertleşme kabiliyetidir. Bu derinlik, martenzitin yüzeyden itibaren yarı miktarına indiği veya başka bir ifade ile %50 martenzit-beynitin mevcut olduğu mesafe olarak belirtilir

Günümüzde en yaygın kullanılan sertleşebilirlik deneyi Jominy tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde 25 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda silindirik bir çubuk kullanılır. Numune sertleştirme sıcaklığına ısıtılır ve bu sıcaklıkta genellikle 20 dakika tutulur. Numunenin bir ucunun yüzeyi Şekil de görüldüğü gibi su püskürtülerek soğutulur. Dolayısıyla çubuğun boyun ca su verilmiş uçtan itibaren soğuma hızı kademeli olarak azalır.

Çubuk soğuduğunda, çubuğun eksenine paralel ve ucundan itibaren 0,4 mm derinliğinden başlamak üzere taşlama ile iki paralel kesme yüzey elde edilir. Bu yüzeyler parlatıldıktan sonra yassı çubuk boyunca sertlikleri ölçülür. Bu sertlik değerleri ve su verilmiş uçtan itibaren olan eşdeğer mesafeleri bir diyagram üzerinde belirtilir. Bunlara Jominy eğrileri adı verilir.

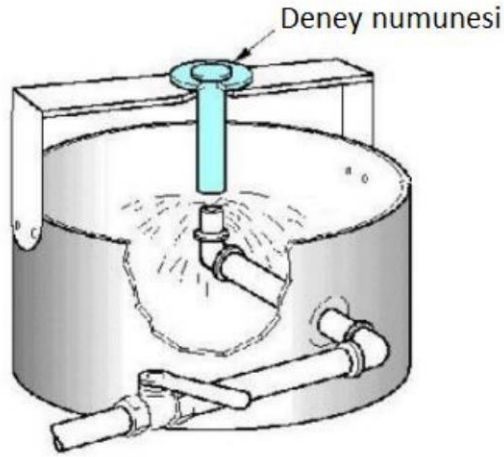
JOMINY DENEYİ

1. **Deneyin Amacı:** Çelik alaşımın su verme sonrası elde edilebilecek maksimum sertlik değerini ve sertleşme derinliğini belirlemektir (sertleşme kabiliyeti). TS 1381 EN ISO 642 2.
2. **Deney Malzemeleri Ve Ekipmanlar:** Deney numunesi ve boyutları: Jominy deneyi için 25,4 mm çapında ve 101,6 mm uzunluğunda silindirik bir çelik çubuk kullanılır (Şekil 9)



Şekil 9. Jominy uçtan su verme deney numunesi şekil ve boyutları

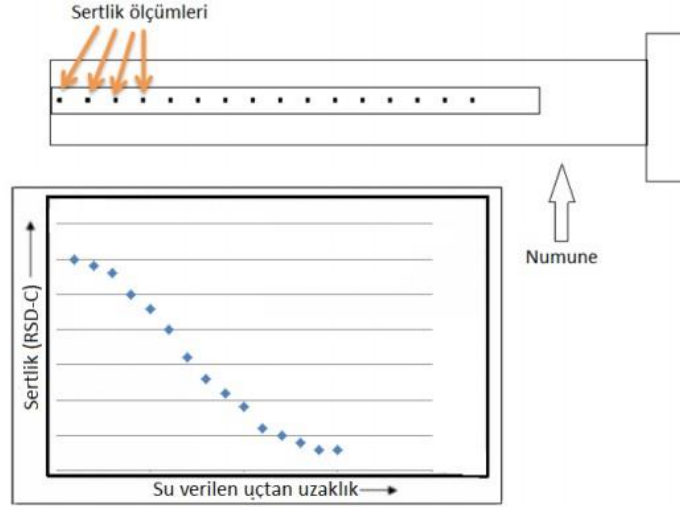
- Makro Vickers (30 kgf) ya da Rockwell C sertlik testi
- Fırın
- Jominy deney düzeneği



Şekil 10. Jominy deney düzeneği

3. **Deneyin Yapılışı:** Sertleşebilirliğin belirlenmesi amacıyla en yaygın kullanılan deney Jominy deneyidir. Bu deneyde 25 mm çapındaki 100 mm boyundaki silindirik bir numune Şekil 2’de gösterilen düzeneğe alın kısmından su ile soğutulur. Parça boyunca farklı soğuma hızları elde edilir. Numune su hortumundan 12,5 mm mesafede olacak şekilde yatay bir yüzey üzerine oturtulur. Su sıcaklığı 24-28 °C dir. Deney numunesi önce normalize edilir, verilen boyutlarda işlendikten sonra bileşimine göre uygun su verme sıcaklığına (ostenitleme sıcaklığı) kadar ısıtılır ve bu sıcaklıkta en az 30 dakika tutulur. Bu sürenin sonunda fırından çıkarılan numune süratli bir şekilde deney düzeneğine yerleştirilir ve bir ucundan su püskürtmek suretiyle soğutulur. Soğuma hızı, çelik çubuk boyunca su verilmiş uçtan itibaren kademeli olarak azalır. Çubuk soğutulduktan sonra eksenine paralel ve yüzeyden itibaren 0,4-0,5 mm derinliğinde talaş kaldırma

işlemi yapılarak düzgün bir yüzey elde edilir. Daha sonra bu yüzey kullanılarak, su verilmiş uçtan itibaren belli aralıklarla çubuğun sertliği ölçülür. Sertlik ölçümleri su vermenin yapıldığı alından başlanarak 1,5-1,5-2-2-2-2-2 mm olan mesafelerde yapılır. Toplam 15 mm' yi bulan bu noktalardan sonra 5'er mm



Şekil 11. Su verilen uçtan uzaklığa göre sertlik değişimi

aralıklarla ölçümler yapılır. Elde edilen sertlik değerleri mesafeye bağlı olarak bir grafik üzerinde belirtilerek, Jominy eğrileri elde edilir (Şekil 11).

- Sonuçlar Ve Yorumlama:** Çeliğin sertleşebilirlik özelliklerinin tarifi için, aşağıdaki metotlardan birisi kullanılır: a) Sertlik-su verme ucundan uzaklık değişim eğrisinin çizilmesi veya eğriye ait verilerin tablo halinde sunulması. b) Çeliğin alaşım miktarına bağlı olarak, su verme ucundan ve belirtilen bir mesafedeki sertlik değerleri üzerinden sertleşmenin sayısal olarak tanımı yapılabilir.
- Deney Raporu** Deney raporu aşağıdaki soruların cevaplarını içermelidir. a) Deney aşamalarını 5 madde ile özetleyiniz. b) 1020, 1040 ve 4140 çeliğinin elde edilen mesafe-sertlik verilerine göre sertleşebilirlik eğrisini çizin ve eğriler arasındaki farkı açıklayınız. c) Her bir mesafede oluşabilecek mikro yapıları çizin. d) Yüksek alaşımlı çeliklere neden Jominy deneyi uygulanmamaktadır? Açıklayınız.

KAYNAKLAR

- [1] [K.E. THELNİNG](#), ÇELİK VE ISIL İŞLEMİ -BOFORS EL KİTABI, Çeviren: ADNAN TEKİN, 1984
- [2] [M. Ali Topbaş](#), Çelik ve Isıl İşlem Atlası, 1998
- [3] Degarmo, E. Paul; Black, J T.; Kohser, Ronald A. (2003), Materials and Processes in Manufacturing (9th ed.), Wiley, p. 277, ISBN 0-471-65653-4.
- [4] Heine, R. W., Loper, C. R., & Rosenthal, P. C. (1955). Principles of metal casting. Tata McGraw-Hill Education.
- [5]. Metals Handbook, ASM.
- [6] Aydın, M., Gavas, M., Yaşar, M., Altunpark, Y., "Üretim yöntemleri ve imalat teknolojileri", Seçkin yayın evi, Birinci Baskı, Nisan, 2011, Ankara.

[7] İstanbul Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Föyü.

SORU: Ç1050 ve Ç1040 çelikleri için jominy deneyi yapılmış ve tablodaki veriler elde edilmiştir. Jominy eğrisini çiziniz ve yorumlayınız. Yorumunuzda iki çeliğin özelliklerini internetten araştırarak neden farklı eğri karakteri verdiğini vurgulayınız.

	Sertlik (HRC)	Sertlik (HRC)
Uçtan Mesafe (mm)	Ç1050	Ç1040
1,5	56	53
3	54	50
5	54	34
7	48	30
9	46	28
11	45	23
13	44	22
15	43	19
20	42	15
25	41	15
30	40	14
35	35	13
40	33	13
45	30	11
50	29	10
55	28	10
60	27	10
65	27	10

DENEY: SERAMİK SİNERLEME VE YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ

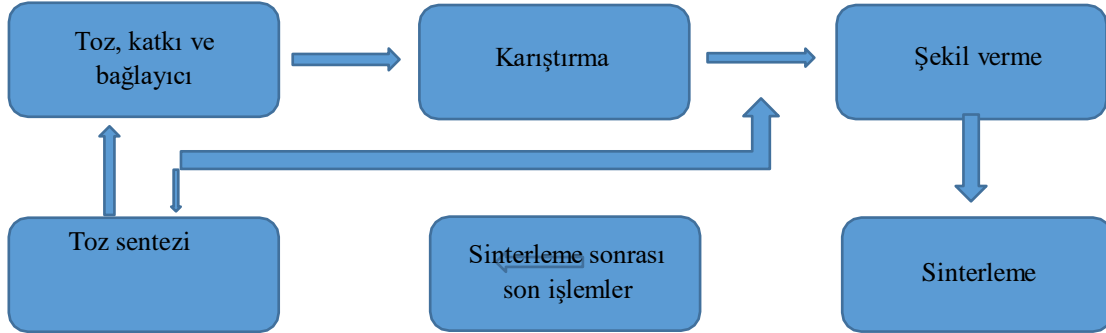
Deneysel sorumluları: Dr. Öğr. Üyesi Betül YILDIZ, Arş. Gör. Süleyman CAN

1.DENEYİN AMACI:

Bu deneyin amacı, malzemelerin üretim süreçlerinde önemli bir rol oynayan sinterleme sürecinin mekanizmasını, önemli parametrelerini, türlerini ve uygulamalarını öğrenmek, uygulamak ve yorumlamaktır.

2.TEORİK BİLGİ

Sinterleme, seramik ya da metal tozlarından, ısı enerjisi kullanılarak yoğunluğu kontrol edilebilen malzemeler ya da parçaların üretiminde kullanılan bir tekniktir [1]. Şekil 1'de sinterlenen parçaların üretim süreci şematik olarak verilmiştir.



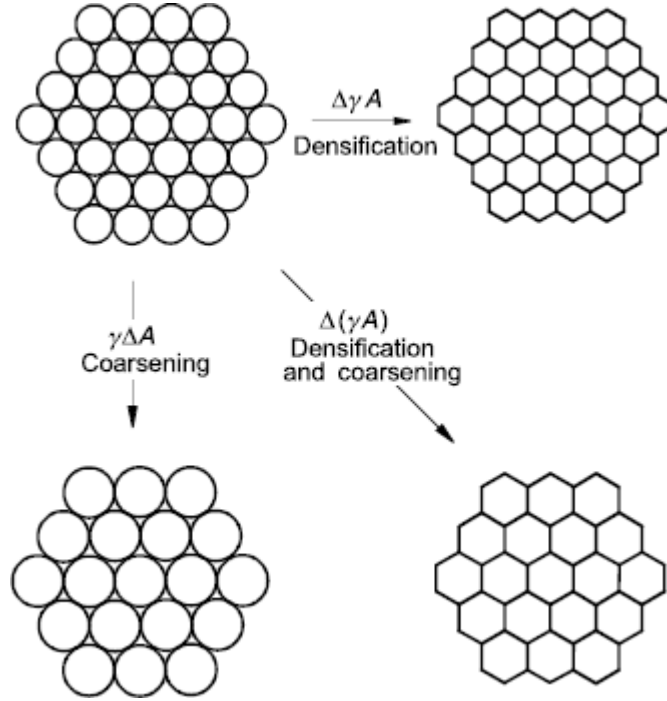
Şekil 1. Sinterleme ile üretim süreci [2].

Sinterleme prosesi ile mikroyapısal özelliklerin, sinterleme parametrelerinin modifikasyonu yoluyla değiştirilmesi amaçlanmaktadır. Burada bahsedilen mikroyapısal özellikler; tane boyutu, sinterlenmiş malzeme yoğunluğu ve diğer fazların (por vb.) dağılımıdır. Çoğunlukla sinterlemede amaç, tamamen yoğun ve küçük taneli mikroyapıya sahip malzeme üretmektir [2]. Sinterleme, yüksek sıcaklıklarda atomların yayını ve ince partiküllerin yüzey enerjisinin azalmasıyla gerçekleşir. Birim hacimdeki yüzey enerjisi partikül boyutu azaldıkça arttığından ince partiküller daha hızlı sinterlenir [3].

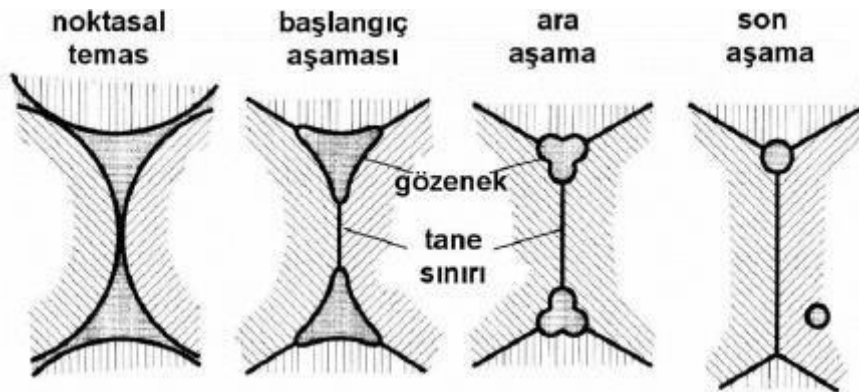
Sinterleme işleminin itici gücü, toplam yüzey enerjisinin azalmasıdır. Yüksek enerjili katı-gaz ara yüzeylerinin eliminasyonu ve düşük enerjili katı-katı ara yüzeylerinin oluşumudur. Böylece porlar elimine edilir. Malzeme taşınımı, yüksek enerjili bölgelerden düşük enerjili bölgelere doğru olur. Bu bölgelerden **konkav olan düşük, konveks olan ise yüksek enerjiye** sahiptir. Tozun **toplam yüzey enerjisi γA** olarak ifade edilir. Burada **γ özgül yüzey enerjisi, A ise toplam yüzey alanını** ifade etmektedir. Toplam yüzey alanının

değişimini ifade eden formül aşağıda verilmiştir [1]. Şekil 2 ve 3'te sırasıyla sinterleme sırasında meydana gelen temel olaylar ve gözenek yapısının sinterleme sürecinde değişim aşamaları gösterilmektedir.

$$\Delta G = \Delta(\gamma A) = \Delta\gamma \cdot A + \gamma \cdot \Delta A \longrightarrow \Delta\gamma \cdot A \text{ (yoğunlaşma)}, \gamma \cdot \Delta A \text{ (tane büyümesi)}$$



Şekil 2. Sinterleme sırasında meydana gelen temel olaylar (sinterlemenin itici gücü $\Delta(\gamma A)$ etkisi ile) [2].



Şekil 3. Gözenek yapısının sinterleme sürecinde değişim aşamaları [3].

Temel olarak sinterleme prosesi iki temel kategoriye ayrılır. Bunlar; sıvı faz ve katı hal sinterlenmesidir. Sıvı faz sinterleme için itici güç partiküller arası sıvının oluşturduğu kapileri basıncıdır [1].

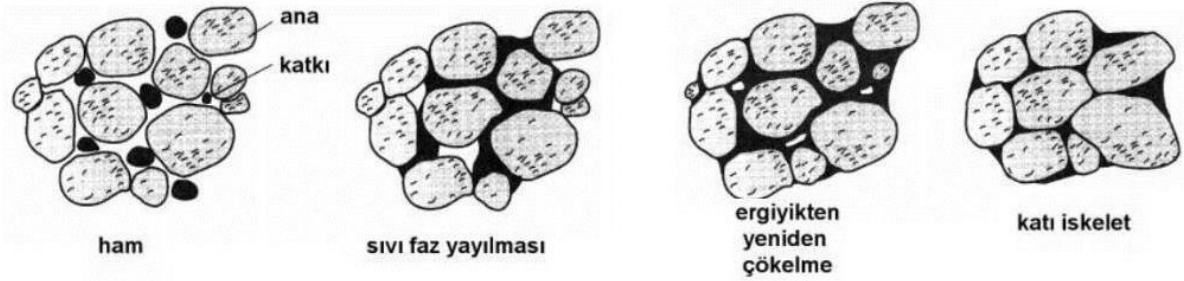
Etkili bir sıvı faz sinterlemesi için gereklilikler;

1. Yeterli miktarda sıvı faz olmalı
2. Katı fazın sıvı faz içerisinde yeterli çözünürlüğü olmalı
3. Sıvı, katıyı ıslatabiliyor olmalı ($\theta < 90^\circ$)

Sıvı faz katıyı ıslattığı zaman, her iki katı partikül arası boşluk kapiler olur ve burada önemli miktarda kapileri basınç gelişir. Young-Laplace eşitliğine göre;

$$\Delta P = 2\gamma^{LS}/r \longrightarrow \gamma^{LS} \text{ (sıvı-katı yüzey enerjisi), } r \text{ (partikül yarı çapı)}$$

Yukarıdaki formülde r değeri azalırsa ΔP değeri artar. Sıvı faz sinterlemesinde bu değişiklik sinterlenme hızını kontrol etmektedir [1]. Şekil 4'te sıvı faz sinterleme aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 4. Sıvı faz sinterleme aşamaları [3].

Katı hal sinterlenmesi 3 aşamada gerçekleşmektedir [1]. Bunlar;

1. İlk aşama

Difüzyon ve boyun oluşumu

Taneler arası temas ile tane sınırları oluşur

2. Orta aşama

Boyun büyümesi

Tane büyümesi

Yüksek çekme

Devamlı porların oluşumu

3. Son aşama

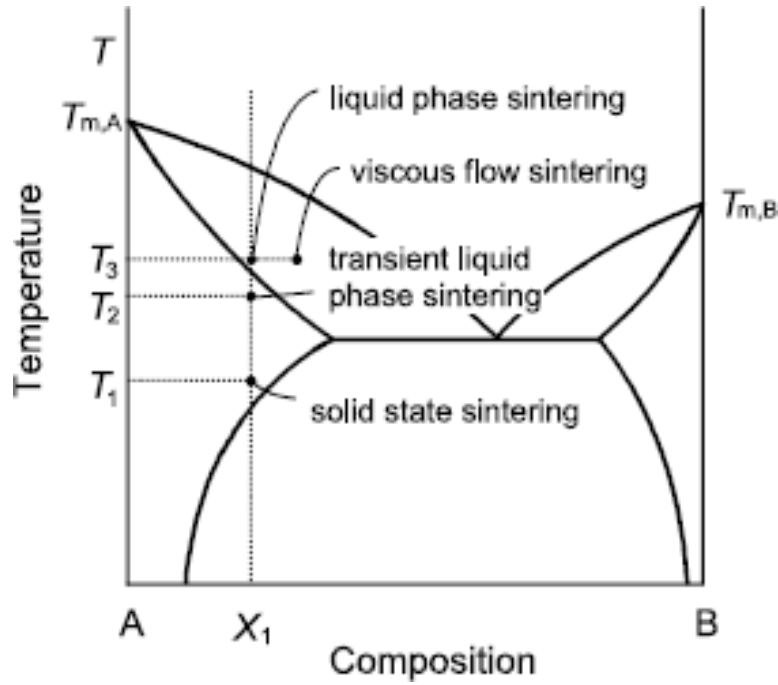
Tane büyümesi

Devamsız porlar

Tane sınır porlarının eliminasyonu

Tane büyümesi, sinterleme esnasında ortalama tane boyutunun süreç içindeki artışıdır. Tane, sinterleme esnasında tane sınırlarında yok olan porlar sebebiyle büyür. Tane büyümesine etki eden parametreler; yüzey difüzyonu ve buharlaşma-yoğuşma'dır [1].

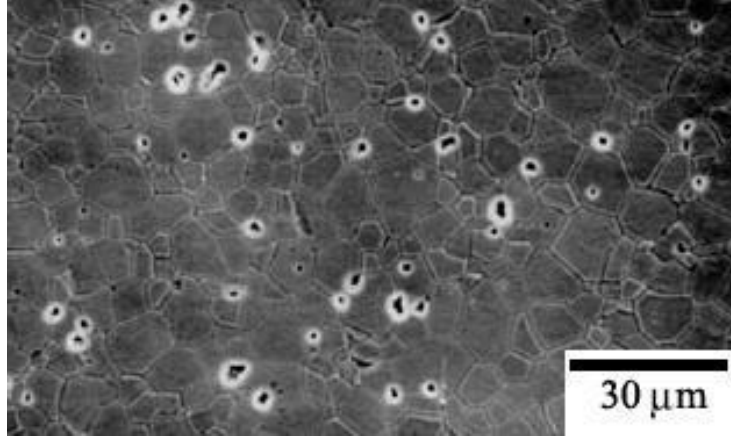
Önemli bir diğer sinterleme tekniği de **vitrifikasyondur**. Vitrifikasyon için hacimce en az %30 sıvı faz gereklidir. Boşlukları dolduracak yeterli miktarda sıvı faz olduğu için çözünme-çökme prosesine ihtiyaç yoktur. Islatma davranışı özellikle bu süreç için önemlidir. Porlar kapiler etkiyle dolacağı için ıslatma gereklidir. Vitrifikasyonda, pişirme esnasında viskoz silikat sıvısı oluşur ve gövde için bağlayıcı görevi görür. İyi bir sinterleme için sıvı fazın viskozitesi ve miktarı öyle ayarlanmalıdır ki; sıvı faz, yerçekimi ivmesine karşı koyarak bünyede herhangi bir çarpılma yaşanmaksızın sinterlenmenin tamamlanmasına yardım edebilsin. Vitrifikasyonda önemli parametreler viskozite ve sıvı-katı yüzey enerjisi farkıdır. Yüzey enerjisi farkı silikat sistemlerinde değişmediğinden bu sistemlerde değişken olarak kabul edilmez [1]. Şekil 5'te farklı sinterleme çeşitlerinin faz diyagramı üzerindeki gösterimi verilmiştir.



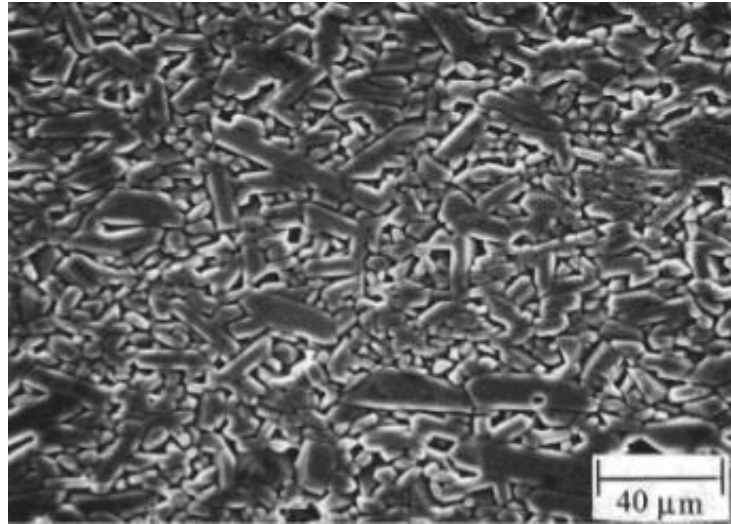
Şekil 5. Farklı sinterleme çeşitlerinin faz diyagramı üzerindeki gösterimi [2].

Yukarıdaki faz diyagramında görülen diğer sinterleme çeşitlerinden biri de geçici sıvı faz sinterlemesidir. Geçici sıvı faz sinterleme ise sıvı faz sinterleme ile katı hal sinterlemesinin bir kombinasyonu ile olmaktadır. Bu sinterleme tekniğinde, sinterlemenin erken periyodunda bir sıvı faz oluşur. Ama bu sıvı faz, sinterleme devam ettikçe katı fazın içerisinde kaybolur ve yoğunlaşma sağlanır [2]. Geçici sıvı faz sinterlemesi ile sinterlenen malzemelere örnek olarak SiAlON seramikleri verilebilir [4]. **Şekil 6'da** katı ve sıvı faz sinterlemesi ile elde edilmiş Al_2O_3 seramiklerinin mikroyapısı verilmiştir. Katı hal sinterlenmesiyle üretilen malzemede taneler keskin köşeli iken sıvı hal sinterlenmesiyle

Üretilen malzemede taneler daha oval hale gelmiş ve iğnemsii şekli taneler elde edilmiştir [2,4].



(a)



(b)

şekil 6. (a) Katı hal sinterlemesi ile elde edilmiş Al_2O_3 , (b) Sıvı faz sinterlemesi ile elde edilmiş Al_2O_3 [2,4].

Sinterlenmeyi ve mikroyapıyı etkileyen değişkenler malzemeye bağlı değişkenler ve sürece bağlı değişkenler olarak 2'ye ayrılmaktadır. Tablo 1 'de bu değişkenler özetlenmiştir.

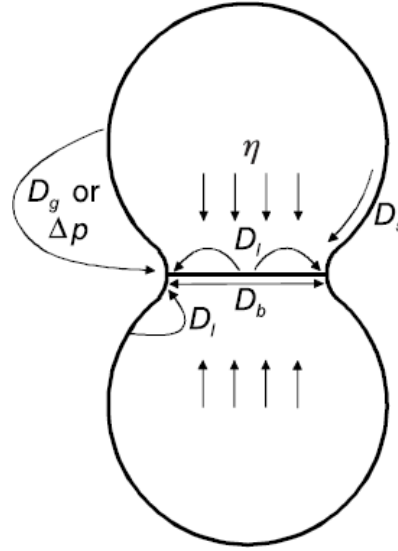
Tablo 1. Sinterlemeyi ve mikroyapıyı etkileyen değişkenler [2].

Malzemeye bağlı değişkenler	Toz: şekil, boyut, boyut dağılımı, topaklanma, karışabilirlik vb. Kimyasal: kompozisyon, safsızlık, stokiyometrik sapmalar, homojenlik vb.
Sürece bağlı değişkenler	Sıcaklık, zaman, basınç, atmosfer, ısıtma ve soğutma hızları vb.

Sinterlemede malzeme taşınımı farklı şekillerde olabilmektedir. Malzeme taşınım mekanizmaları Tablo 2’de malzeme kaynağı, taşındığı yer ve ilgili parametreler verilmiştir **Şekil 7’de** sinterleme sırasında malzeme taşınımının gerçekleştiği yollar şematik olarak gösterilmektedir [2].

Tablo 2. Sinterleme mekanizmaları [2].

Malzeme Taşınım Mekanizmaları	Malzeme Kaynağı (Nereden)	Malzemenin Taşındığı Yer (Nereye)	İlgili Parametreler	Yoğunlaşma
Latis difüzyonu	Tane sınırından	Boyun bölgesine	Latis difüzyonitesi (D_l)	Var
Tane sınırı difüzyonu	Tane sınırından	Boyun bölgesine	Tane sınırı difüzyonitesi (D_b)	Var
Viskoz akış	Taneden	Boyun bölgesine	Viskozite (μ)	Var
Yüzey difüzyonu	Tane yüzeyinden	Boyun bölgesine	Yüzey difüzyonitesi (D_s)	Yok
Latis difüzyonu	Tane yüzeyinden	Boyun bölgesine	Latis difüzyonitesi (D_l)	Yok
Gaz fazı taşınımı				
• Buharlaştırma-yoğuşma	Tane yüzeyinden	Boyun bölgesine	Buhar basıncı farkı (ΔP)	Yok
• Gaz difüzyonu	Tane yüzeyinden	Boyun bölgesine	Gaz difüzyonitesi (D_g)	Yok



Şekil 7. Sinterleme sırasında malzeme taşınımının gerçekleştiği yollar [2].

Sinterlemeye örnekler;

Sağlık gereçleri: 1200-1250 °C 7-12 saat %0,5 su emme hacimce %65 camsı faz

Porselen karo: 1200-1220 °C 50-60 dakika su emme %0,05 viskoz akış ile sinterlenir.

Manyezit: Katı hal sinterlenmesi ile sinterlenir.

SiAlON: ~1700-2000°C, geçici sıvı faz sinterlemesi

Cu: katı hal sinterlemesi

Sinterlenmiş malzemelerin yoğunluğunu ölçmek için en basit ve pratik tekniklerden birisi Arşimet prensibidir. Malzemelerin gerçek yoğunlukları He gaz piknometresi kullanılarak tespit edilmektedir.

2.1. Arşimet Prensibi

Seramik malzemelerde başta mekanik mukavemet olmak üzere, birçok özelliğine etki ettiği için gözeneklilik (porozite), yoğunluk gibi kavramlar önemli fiziksel özellikler olarak dikkate alınmaktadır. Seramik malzemelerin üretimleri sırasında genellikle teorik yoğunluğuna ulaşılacak istenir. Ancak bazı uygulama alanlarında dizel partikül filtreleri gibi ~%50 gözeneklilik istenmektedir.

Arşimet prensibi ile yoğunluk ölçümünde, bir maddenin sıvı içindeki ağırlığı, o maddenin kuru ağırlığı ile batmaya karşı gösterdiği direnç kuvvetinin farkına eşittir. Arşimet prensibiyle yoğunluk ölçümü için, sinterlenen numunelerin kuru ağırlıkları (W1) alınıp, gözeneklerin içinde kalan havanın uzaklaştırılması için yaklaşık 4 saat kaynatıldıktan sonra,

askıdaki ağırlıkları (W₂) ölçülür, sonrasında sıvı sızdırılmış haldeki ağırlıkları (W₃) ölçülerek aşağıdaki denkleme göre yığınsal yoğunluk hesaplamaları yapılır (ρ_{su}: suyun özkütlesi).

$$Yığınsal\ Yoğunluk = \frac{W_1}{W_3 - W_2} \times \rho_{su}$$

Su emme (%) = (W₃ - W₁) / W₁ x 100

Görünür katı yoğunluğu: numune kütlesi/görünen katı hacmi= [W₁ / (W₁ - W₂)] x ρ_{sıvı}

Görünür katı hacmi: katı hacmi + kapalı porların hacmi

% Görünür porozite: (açık porların hacmi/bulk hacmi) x100= [(W₃-W₁)/(W₃-W₂)]x100

Toplam porozite değerini hesaplamak için katının teorik yoğunluğundan faydalanılır.

% Toplam porozite: (1 - ρ_{bulk}/ρ_{teorik}) x 100

olarak hesaplanır ve buradan kapalı porozite miktarı da tayin edilebilir.

Hacim Kavramları:

Bulk (yığın) hacim: Malzemenin tümünün hacmi olup, cismin katı kısmı ile içerdiği açık ve kapalı porozitenin hacim toplamına eşittir.

Görünür Katı Hacim: Malzemenin katı kısmının hacmi ile kapalı porozite hacmini tanımlar.

Gerçek Hacim: Malzemenin yalnız katı kısmının hacmidir.

Yoğunluk Kavramları:

Bulk (yığınsal) Yoğunluk: Numune ağırlığının bulk hacme oranı olarak hesaplanır. Bulk hacim toz hacmi, partiküller arası boşluk hacmi ve kapalı ve açık gözenek hacmini içerir.

Görünür Katı Yoğunluk: Numune ağırlığının görünür katı hacme oranı olarak hesaplanır. Görünür hacim toz hacmi ve kapalı gözeneklerin hacmini içerir.

Gerçek (~Teorik) Yoğunluk: Numune ağırlığının gerçek hacme oranı olarak hesaplanır. Gerçek hacim toz partiküllerin hacmini içerir.

Göreceli (Relative)Yoğunluk: Bir maddenin yoğunluğunun, referans madde yoğunluğuna oranıdır. Birimsizdir.

2.2 Helyum Gaz Piknometresi

Helyum gaz piknometrisi, Arşimet'in akışkan taşması prensibini ve Boyle Kanunu'nu kullanarak hacim ve gerçek yoğunluğu bulmayı amaçlar. Ölçümlerin doğruluğunun maksimum olması için taşan akışkan, en küçükleri dışındaki tüm gözeneklere girebilen bir tesirsiz gaz olmalıdır. Bu nedenle, ölçümler için küçük atomik boyutları 0.25 nm çapındaki girinti ve gözeneklere yaklaşan Helyum gazı uygun görülmektedir. Helyum'un ideal gaz olarak davranışları da tercih nedenidir.

3. DENEYİN YAPILIŞI

- Hazırlanacak kompozisyonun tartımı
- Plenatory değirmende karıştırma/öğütme işlemi
- Döner kurutucuda kurutma işlemi
- Eleme işlemi
- Presleme (Kuru presleme-Soğuk izostatik presleme)
- Sinterleme işlemi
- Yoğunluk ölçümü (Ağırlık değişimi, Bulk yoğunluk, Açık ve kapalı gözenek tayini)

4. İSTENİLENLER

- Teorik bölüm için deney sırasında verilecek araştırma konusu araştırılıp yazılacak,
- Deney sırasında elde edilen veriler kullanılarak Ağırlık değişimi, Bulk yoğunluk, Açık ve kapalı gözenek miktarları hesaplanacak.
- Presleme basıncının/türünün sinterlenmiş ürün özellikleri üzerine etkisi tartışılacak.

KAYNAKÇA

1. Doç. Dr. Nurcan Çalış Açıkbaş, Sinterleme ders notları.
2. Kang, S. J. L. (2004). *Sintering: densification, grain growth and microstructure*. Butterworth-Heinemann.
3. German, R. M. (1984). Powder metallurgy science. *Metal Powder Industries Federation, 105 College Rd. E, Princeton, N. J. 08540, U. S. A, 1984. 279.*
4. Çalış Açıkbaş, N. Sialon Seramiklerinin Sinterleme Davranışı ve Mikroyapı Gelişimini Etkileyen Parametreler. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 39. Sayı, pp.31-42, 2017.
5. Seabaugh, M. M., Kerscht, I. H., & Messing, G. L. (1997). Texture Development by Templated Grain Growth in Liquid-Phase-Sintered α -Alumina. *Journal of the American Ceramic Society*, 80(5), 1181-1188.

DENEY: BOYUT KÜÇÜLTME VE ELEK ANALİZİ

Deney sorumluları: Prof. Dr. Özkan KÜÇÜK, Arş. Gör. Süleyman CAN

1. Deneyin Amacı

Boyut küçültme, katı maddelerin kesilerek, kırılarak veya öğütülerek küçük parçacıklara bölünmesi olup, çok önemli bir temel işlemdir. Deneyimizdeki amacımız, boyut küçültmeyi laboratuardaki çeneli kırıcı ile gerçekleştirmek ve bu kırılan taneciklerin elek analizini yapmaktır.

2. Teorik Bilgiler

Endüstride katı maddeler çeşitli amaçlar için çeşitli yöntemlerle ufaltılırlar. Parçacık boyutlarının küçültülmesi, katıların tepkimeye girme yeteneğini artırır, istenmeyen kısımlardan mekanik yollarla ayrılmayı sağlar ve katılara daha kolay işlenme olanağı verir.

Katılarda boyut küçültme baskı, vurma, aşındırma ve kesme şeklindedir. Genellikle baskı kaba kırmada kullanılırken vurma ile orta yada ince ürünler elde edilir. Aşındırma ile yumuşak ve aşındırıcı olmayan malzemeden çok ince ürünler elde edilir. Kesme işlemi ile belirli parçacık büyüklüğü ve şekli elde edilir

Boyut küçültme aygıtları, kırıcılar, öğütücüler, aşırı ince öğütücüler ve kesme makineleri olarak gruplara ayrılırlar. Kırıcılar; büyük katı parçalarını daha küçük parçalara kırarlar. Birincil bir kırıcı maden ocağından gelen tüm parçaları alır ve 15-25 cm lik parçalar halinde kırar. İkincil bir kırıcı ise bu parçaları yaklaşık 0,5 cm boyutuna küçüktür. Öğütücüler, kırılmış malzemeyi töz haline getirirler. Orta derece bir öğütücüden alınan ürün 16 mesh elekten geçmelidir. Kesiciler, belirli büyüklük ve şekilde 0,1-1 cm aralığında ürün verirler. Bu makineler işlerini tamamen farklı yollarla yaparlar. Yavaş baskı kırıcılara özgü bir harekettir. Öğütücüler vurma ve aşındırmayı bazen baskı ile birlikte uygularlar. Aşırı ince öğütücüler aşındırma ile çalışırlar. Kesme hareketi kesicilere özgüdür.

2.1 Boyut Küçültmenin Nitelikleri

İdeal bir kırıcı yada öğütücü;

1. Büyük kapasiteli olmalı
2. Birim nicelikte ürün elde etmek için küçük bir güç gerektirmeli
3. Belirli bir büyüklükte veya istenilen boyut dağılımında ürün vermelidir.

2.2. Parçalanmış Ürünlerin Özellikleri

Parçalanma, boyut küçültmeye karşılık bir terimdir. Küçük tanecikler büyük yüzey alanına sahip olmaları veya şekil ve boyutları sebebiyle istenirler. Parçalanmış tanecikler, kırmadan sonra aşınma ile düzleşmedikçe hemen hemen düzlem yüzeyleri ve keskin kenar ve köşeleri olan çok yüzlüler şeklindedir. Ana yüzeylerin sayısı değişebilir fakat çoğu zaman dörtle sekiz arasındadır. Taneciklerin uzunluğu genişliği ya da kalınlığı hemen hemen eşit olabileceği gibi

levha ya da iğne şeklinde de olabilir. Hemen hemen eşit birkaç yüzey içeren bir tanecik küresel varsayılabilir ve genel olarak parçacık boyutu için ‘çap’ terimi kullanılır.

2.3 Benzer Şekilli Tanecikleri Geometrisi

Bir tanecik düşünelim ve dikkatimizi büyüklük, hacim ve yüzey üzerinde toplayalım. Büyüklüğü nicel olarak ölçmek için, özgün uzunluk olarak önemli bir boyut seçmek gereklidir. Bir küp ya da küre için bir kenar uzunluğu ya da çap en kolay seçimdir. Düzensiz şekli bir tanecik için özgün boyutun seçimi istekseldir.

Özgün boyutun uzunluğu D_p olsun; buna tanecik çapı diyelim. Taneciğin hacmi D_p^3 ile, yüzeyi D_p^2 ile orantılıdır. Örneğin bir küpün hacmi D_p^3 ve yüzeyi ise $6D_p^2$ dir, kürenin ise $(\pi/6) D_p^3$ ve πD_p^2 dir. Her iki şekil için de Yüzeyin hacme oranı $6/D_p$ dir.

Herhangi bir şekildeki bir taneciğin hacmi;

$$V_p = aD_p^3 \quad (1)$$

ve yüzeyi

$$A_p = 6bD_p^2 \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada a ve b parçacığın şekline bağlı olan geometrik sabitlerdir. 1 ve 2 eşitliklerinden yüzeyin hacme oranı,

$$\frac{A_p}{V_p} = \frac{6(b/a)}{D_p} = \frac{6\lambda}{D_p} \quad (3)$$

$$\lambda = b/a \quad (4)$$

Burada şekil etmeni (λ) parçacığın büyüklüğüne bağlı değildir ve yalnızca şeklin bir fonksiyonudur. Küp ve küre için şekil etmeninin değeri bire eşittir. Değişik şekilli parçacıklar için birden büyük değer alır. Parçalanma ile elde edilen ürünler için bu değer yaklaşık 1,75 dir.

D_p çaplı, aynı şekilli taneciklerden oluşan bir örnekte, taneciklerin toplam hacmi m/ρ_p dir. Burada m, örneğin toplam kütlesi; ρ_p ise taneciklerin yoğunluğudur. Bir taneciğin hacmi aD_p^3 olduğuna göre, örnekteki taneciklerin sayısı N,

$$N = \frac{m/\rho_p}{aD_p^3} \quad (5)$$

Parçacıkların toplam yüzey alanı 2,4 ve 5 eşitlerinden

$$A = N \cdot A_p = \frac{m/\rho_p}{aD_p^3} \cdot 6bD_p^2 = \frac{6\lambda m}{D_p \rho_p} \quad (6)$$

2.4 Karışık Taneciklerin Büyüklükleri Ve Elek Analizi

Çeşitli büyüklüklerde ve yoğunluklarda tanecikler içeren karışımlara 1 den 6 ya kadar olan eşitlikleri uygulayabilmek için, karışım her biri sabit yoğunlukta ve yaklaşık olarak sabit

büyükte tanecikler içeren kesimlere ayrılır. Sonra her bir kesim tartılır, içindeki tanecikler sayılır yada mikroskopik yöntemlerle ölçülür. Her bir kesime yukarıdaki eşitlikler uygulanabilir ve sonuçlar toplanarak ilk karışımın özellikleri bulunur.

Karışımları yalnızca boyutlarına göre ayırtmak için en kolay ve çok yaygın yöntem, deney elekleri ile elemektir. Yöntem aynı yoğunluk ve şekilde olan 7,6 cm-0,0038 cm arasındaki büyüklüklerdeki taneciklere uygulanabilir. En çok kullanılan eleklerin delik boyut aralığı 2,5-0,0125 cm dir.

Tyler elekler dizisinde delik açıklığı 0,0074 cm olan 200 mesh elek temel alınır. Serideki her hangi bir eleğin delik açıklığının alanı, bir sonraki daha küçük eleğinkinin tam iki katıdır. O halde herhangi bir eleğin gerçek delik boyutunun, kendinden hemen sonraki daha küçük eleğinkine oranı $\sqrt{2}=1,41$ dir. Daha sık boyutlandırma için ara elekler vardır. Bunlardan her biri, bir sonraki daha küçük standart eleğinkinin $\sqrt{2}=1,189$ katı delik boyutuna sahiptir. Genellikle ara elekler kullanılmaz.

Burada çizelge 5 ile birlikte verilen Tyler elek serisi kullanılmaktadır. Ancak bir de DIN elek serisi vardır. Bu seride 1 cm deki delik sayısı mesh sayısı olarak tanımlanmıştır.

Uygulamalarda standart eleklerin bir dizisi, en küçük delikli en altta, en büyük delikli en üstte olmak üzere seri olarak üst üste yerleştirilir. Analiz, örneği en üstteki eleğe koyarak ve diziyi belirli bir süre mekanik olarak titreştirerek yapılır. Her bir elekte kalan parçalar alınır, toplam örneğin kütle yüzdelere çevrilir. En ince elekten geçen parçacıklar dizinin dibindeki bir tablada toplanırlar. Buna “elek altı” denir.

Elek analiz sonuçları, her bir elekte kalan madenin kütle kesrini delik boyutunun bir fonksiyonu olarak göstermek için çizelge haline getirilir. Herhangi bir eleğin üstündeki parçacıklar bir üstteki elekten geçtiğinden dolayı, bir elek artığının boyut aralığını tanımlamak için iki sayı gerekir. Bunlardan biri elenen kesimin içerisinden geçtiği elek, değeri üstünde kaldığı elek içindir. Böylece 14/20 gösterimi “14 mesh lik elekten geçer ve 20 mesh lik eleğin üstünde kalır” anlamındadır. Bu aynı zamanda -14+20 şeklinde de gösterilebilir. Bu şekilde çizelge haline getirilen bir analize AYRIMSAL (DİFERANSİYEL) ANALİZ denir. Tipik bir diferansiyel analiz tablo 1 de verilmiştir.

$\Delta\Phi_n$ simgesi n eleği tarafından tutulan, toplam örneğe göre kütle kesri için kullanılır. Dizinin üstünden başlanarak elekler sırayla numaralanır; bu nedenle n-1 eleği n eleğinin hemen üstündedir. Üst üste iki eleğin delik açıklıklarının ortalaması D_n ile verilir. Diferansiyel elek analizinde ortalama parçacık boyutu olarak bu değer kullanılır. D_{pn} simgesi ise n eleğinin delik açıklığını gösterir.

Elek analizinin ikinci türü TOPLAMLI (KÜMÜLATİF) ANALİZ dir. Toplamlı analiz ayrimsal analizden toplama ile elde edilir. Bu işlem en büyük delik açıklıklı elekte kalandan başlanarak gittikçe artacak şekilde ayrı ayrı eleklerde kalanları toplamak ve bu toplamları en son eklenen eleğin delik boyutuna karşı çizelge yada grafiğe geçirmekle yapılır. Eğer aşağıdaki bağıntı ile tanımlanırsa,

$$\phi = \Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 + \dots + \Delta\phi_n = \sum \Delta\phi_n \quad (7)$$

Toplam analiz ϕ ile D_p arasında bir bağıntıdır. Burada D_p , n eleğin delik boyutudur. ϕ niceliği ise örnekte D_p den daha büyük taneciklerin kütle kesridir. Tüm örnek için ϕ 'nin

değeri bire eşittir. Tablo 1 deki ayrımsal analize karşı gelen toplamlı analiz, tablo 2 de gösterilmiş ve şekil 1 de grafiğe alınmıştır. Ayrıca konuyu daha iyi anlaşılabilmesi için tablo 3'te bir örnek daha bulacaksınız.

Tablo 1. Ayrımsal elek analiz verileri

Tane Boyutu (mesh)	Dpn (cm)	$\Delta\Phi_n$
4/6	0,3327	0,0251
6/8	0,2362	0,1250
8/10	0,1651	0,3207
10/14	0,1168	0,2570
14/20	0,0833	0,1590
20/28	0,0589	0,0538
28/35	0,0417	0,0,210
35/48	0,0295	0,0102
48/65	0,0208	0,0077
65/100	0,0147	0,0058
100/150	0,0104	0,0041
150/200	0,0074	0,0031
Elek Altı	-	0,0075

Tablo 2. Toplamlı elek analiz verileri

Tane Boyutu (mesh)	Dpn (cm)	$\Delta\Phi_n$
4	0,4699	0,0000
6	0,3327	0,0251
8	0,2362	0,1501
10	0,1651	0,4708
14	0,1168	0,7278
20	0,0833	0,8868
28	0,0589	0,9406
35	0,0417	0,9616
48	0,0295	0,9718
65	0,0208	0,9795
100	0,0147	0,9853
150	0,0104	0,9894
200	0,0074	0,9925
Elek Altı	-	1,0000

Tablo 3. Elek analizi ile ilgili bir örnek

Tyler elek numarası(mesh)	Elekteki delik açıklığı (mikron)	Ortalama tanecik büyüklüğü (mikron)	Tutulan taneciklerin ağırlık yüzdesi	Büyük taneciklerin (elek üstü) toplamı yüzdesi	Küçük taneciklerin (elek altı) toplamı yüzdesi
6	3327		0,0	0,0	100,0
8	2362	2845	1,7	1,7	98,3
10	1651	2006	23,5	25,2	74,8
14	1168	1410	29,8	55,0	45,3
20	833	1000	21,7	76,7	23,3
28	589	711	10,5	87,2	12,8
35	417	503	6,2	93,4	6,6
48	295	356	2,8	96,2	3,8
65	208	252	1,7	97,9	2,1
100	147	178	1,0	98,9	1,1
150	104	126	0,5	99,4	0,6
200	74	89	0,2	99,6	0,4
200 geçen	-	-	0,4		

2.5. Elek Analizine Dayalı Hesaplamalar

Ayrımsal yada toplamı analiz her ikisi de, bir karışımın yüzey alanı ve tanecik sayısını hesaplamada kullanılır. Ayrımsal analiz kullanılırsa bir kesimdeki tüm taneciklerin büyüklüğünün eşit olduğu varsayımı yapılır ve bu büyüklüğü tanımlayan iki eleğin delik boyutlarının aritmetik ortalamasıdır. Buna göre, standart 10 ve 14 mesh eleklerin delik boyutu sırası ile 0,1651 ve 0,1168 cm dir ve 10/14 kesiminin $(0,1651+0,1168)/2=0,141$ cm çaplı eş boyutlu taneciklerden oluştuğu varsayılır. $\overline{D_n}$ simgesi bu şekilde aritmetik ortalama çaplar için kullanılır.

Toplamı analiz kullanılırsa D_p ye karşı Φ grafiğine sürekli bir fonksiyon gibi bakılır ve grafiksel integral alınır. Toplamı analize dayalı yöntem, ayrımsal analize dayalı olandan daha duyarlıdır. Çünkü toplamı analiz kullanıldığında bir kesimdeki tüm taneciklerin büyüklükçe eşit olduğu varsayımı yapılmayabilir. Bununla birlikte elek analizinin doğruluğu fazla değildir.

2.6. Karışımın Özgül Yüzeyi

Tanecik yoğunluğu ρ_p ve şekil etmenleri a ve b nin bilindiği ve bu niceliklerin parçacığın çapına bağlı olmadığı varsayılır. Ayrımsal analiz kullanılırsa, her kesimdeki parçacıkların yüzeyi 6 eşitliği ile hesaplanır ve tüm kesimlerin sonuçları toplanarak, örneğin birim kütlelerinin toplam yüzeyi yani özgül yüzeyi (A_w) bulunur.

$$A_w = \frac{6\lambda\Delta\phi_1}{\rho_p D_1} + \frac{6\lambda\Delta\phi_2}{\rho_p D_2} + \dots + \frac{6\lambda\Delta\phi_n}{\rho_p D_n} = \frac{6\lambda}{\rho_p} \sum_{n=1}^{nT} \frac{\Delta\phi_n}{D_n} \quad (8)$$

Burada alt indisler ayrı ayrı her elekte kalanı gösterir. nT elek sayısı D_n; D_{p_n} ve D_{p_(n-1)}' in aritmetik ortalamasıdır. Toplam işareti ayrı ayrı kesimlerin Δφ_n / D_n niceliklerinin hepsinin toplamı anlamına gelir.

Toplamli analiz kullanıldığında 6 eşitliği diferansiyel olarak yazılır ve toplam yüzey, φ =0 ve φ =1 sınırları arasında grafiksel integrasyonla bulunur.

$$Aw = \frac{6\lambda^{-1}}{\rho_p} \int_0^1 \frac{d\phi}{D_p} \quad (9)$$

Grafiksel integrasyon, apsiste Φ ye karşı ordinatta 1/D_p grafiğe alınarak φ =0 ve φ =1 arasında eğrinin altında kalan alanın ölçülmesiyle yapılır.

Özgül yüzey Aw, tüm karışım için ortalama bir tanecik boyutu ile ilgilidir. Bu ortalama boyuta HACİM YÜZEY ORTALAMA ÇAPI denir ve D_{vs} simgesiyle gösterilir.

$$D_{vs} = \frac{6\lambda}{Aw\rho_p} \quad (10)$$

2.7. Karışım Taneciklerin Sayısı

Bir karışımındaki taneciklerin sayısını, ayrımsal analizden hesaplamak için;5 eşitliği her bir kesimdeki taneciklerin sayısını hesaplama da kullanılır ve bunların tümünün toplanması ile örneğin birim kütledeki tanecik sayısı, yani özgül tanecik sayısı (Nw) elde edilir.

$$Nw = \frac{\Delta\phi_1}{a\rho_p D_1^3} + \frac{\Delta\phi_2}{a\rho_p D_2^3} + \dots + \frac{\Delta\phi_n}{a\rho_p D_n^3} = \frac{1}{a\rho_p} \sum_{n=1}^{nT} \frac{\Delta\phi_n}{D_n^3} \quad (11)$$

Toplamli analiz kullanılması durumunda 11 eşitliği aşağıdaki şekle çevrilebilir:

$$Nw = \frac{1}{a\rho_p} \int_0^1 \frac{d\phi}{D_p^3} \quad (12)$$

2.8.İnce Taneciklerin Boyut Dağılımı

Genel olarak öğütülmüş bir ürünün ince boyutlar için D_p ye karşı φ grafiğinin eğiminin, tanecik çapı (D_p)'nin üslü bir fonksiyonu olduğu bulunmuştur. Bu matematiksel olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$-\frac{d\phi}{dD_p} = BDp^k \quad (13)$$

Burada B ve km sabitlerdir. Eksi işareti φ artarken D_p nin azalması sebebiyle konmuştur. Bu eşitlik, doğru eleme yapıldığında, elde edilen analiz verileri ne kadar küçük boyutlar gösterirse gösterebilir kullanılır.

13 eşitliği $\phi = \phi_1$ ve $\phi = \phi_2$ sınırları ve bunlara karşı gelen $Dp = Dp_1$ ve $Dp = Dp_2$ sınırları arasında integre edilirse aşağıdaki eşitlik bulunur.

$$\phi_2 - \phi_1 = \frac{B}{k+1} \left(Dp_1^{k+1} - Dp_2^{k+1} \right) \quad (14)$$

k sabiti örnekteki çok ince boyutların bağıl önemine bağlıdır. Değeri öğütülmüş ürün için yaklaşık -0,5 ile 0,1 arasında değişir. Daha büyük k değerleri Dp_1 ve Dp_2 çapları arasındaki kesimde çok küçük tanelerin daha az önemli olduğunu gösterir. Eğer ürün aşırı öğütülmüş ise ince parçacıklar ön plana geçer ve k küçülür. B sabiti, tüm ürünün Dp_1 ve Dp_2 çapları arasında düşen kesrinin bir ölçüsüdür.

B ve k sabitleri ayrımsal elek analizinden aşağıdaki yöntemle bulunur. Serideki herhangi bir eleğin delik açıklığının hemen onun altındaki eleğine oranının sabit bir değer olduğu varsayılır. Tyler elek serisi bu varsayımı karşılar. Dp_n ve $Dp_{(n-1)}$ sırası ile n ve (n-1) eleklerinin delik boyutları ise, n. Elekteki kütler kesri $\phi_n - \phi_{n-1}$ dir ve 14 eşitliği n eleği için aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\phi_n - \phi_{n-1} = \Delta\phi_n = \frac{B}{k+1} \left(Dp_n^{k+1} - Dp_{(n-1)}^{k+1} \right) \quad (15)$$

$Dp_{(n-1)}$ ile Dp_n arasındaki oran "r" ise,

$$Dp_{(n-1)} = r Dp_n \quad (16)$$

Burada $r > 1$ dir. 16 eşitliği yardımı ile 15 eşitliğinden $Dp_{(n-1)}$ yok edilirse

$$\Delta\phi_n = \frac{B(r^{k+1} - 1)}{k+1} Dp_n^{k+1} = B' Dp_n^{k+1} \quad (17)$$

$$\text{Burada } B' = \frac{B(r^{k+1} - 1)}{k+1} \quad (18)$$

Ayrımsal elek analizi, $\Delta\phi_n$ ile Dp_n arasındaki gerekli ilişkiyi verir. 17 eşitliği logaritmik olarak şöyle yazılabilir.

$$\log \Delta\phi_n = (k+1) \log Dp_n + \log B' \quad (19)$$

B' ve k sabitleri Dp_n ye karşı $\Delta\phi_n$ nin logaritmik koordinatlarda grafiğe geçirilmesiyle bulunur.

Özgül yüzey ve parçacık sayısının hesaplanması için 13 eşitliği 9 ve 12 denklemleri ile birlikte kullanılır. 9 ve 13 denklemleri arasında $\Delta\phi_n$ nin yok edilmesi ve integrasyon Aw özgül yüzey alanını verir.

$$Aw = - \frac{6\lambda B}{\rho_p} \int_{Dp_1}^{Dp_2} Dp^{k+1} dDp \quad (20)$$

$$A_w = \frac{6\lambda B}{\rho_p k} (D_{p_1}^k - D_{p_2}^k)$$

Bu eşitlik k=0 için belirsizdir. Bu durumda,

$$A_w = \frac{6 \times 2,303 B \lambda}{\rho_p} \log \frac{D_{p_1}}{D_{p_2}} \quad (21)$$

Eşitliği kullanılır. 12 ve 13 denklemleri arasında $\Delta\phi$ nin yok edilmesi ve sınırlar arasında integral alma N_w ; karışımın birim kütledeki parçacık sayısını verir.

$$N_w = - \frac{B}{a \rho_p} \int_{D_{p_1}}^{D_{p_2}} \frac{dD_p}{D_p^{3-k}} \quad (22)$$

$$N_w = - \frac{(2-k) a \rho_p}{\rho_p} \left(\frac{D_{p_2}^{2-k}}{2} - \frac{D_{p_1}^{2-k}}{2} \right)$$

ÖRNEK 1. Tablo 1 ve 2 de verilen elek analizleri, kırılmış bir kuvars örneğine aittir. Parçacıkların özgül ağırlığı 2,65 ve şekil etmenleri a=2 ve b=3,5 dir. Özgül yüzey (cm^2/g) olarak ve özgül tanecik sayısı (tanecik/g) olarak nedir?

ÇÖZÜM 1. İnce boyutlar için $\overline{D_n}$ ye karşı $\Delta\phi_n$ nin bir logaritmik grafiği şekil 2 de gösterilmiştir. açıkça görüldüğü gibi, 0,0417 cm den daha küçük çaplar için, veriler 19 eşitliğine uyar. O halde bu sınır değerden daha küçük tanecikleri ilgilendiren hesaplamalarda 14 den 22 ye kadar olan eşitlikler kullanılabilir. 0,0417 cm den daha büyük tanecikler için 8 den 12 ye kadar olan eşitlikler kullanılmalıdır.

λ sabiti $3,5/2=1,75$ dir. 0,4699-0,0417 cm boyut aralığındaki hesaplamalar için ayrımsal analiz doğrudan doğruya kullanılırsa, 8 eşitliği aşağıdaki gibi yazılır.

$$A_w =$$

$$A_w = \frac{6 \times 1,75}{2,65} \sum \frac{\Delta\phi_n}{D_n} = 3,96 \sum \frac{\Delta\phi_n}{D_n}$$

11 denklemleri ise,

$$N_w = \frac{1}{2 \times 2,65} \sum \frac{\Delta\phi_n}{D_n^3} = 0,189 \sum \frac{\Delta\phi_n}{D_n^3}$$

Bir elekte kalanlar için o kesimi tanımlayan eleklerin delik boyutlarının aritmetik ortalaması (\overline{D}) ekte verilen delik boyutlarından hesaplanır. Sonra $1/\overline{D}$ ve $1/D^3$ büyüklükleri her kesim için hesaplanarak $\Delta\phi_n$ değerleri ile çarpılır ve sonra da $\Delta\phi_n/\overline{D}$ ve $\Delta\phi_n/D^3$ toplamları bulunur. Bu hesaplar tablo 4 te gösterilmiştir.

Tablo 4. Örnek 1 için Aw ve Nw nin bulunması

Mesh	$\overline{D_n}$ (cm)	$\Delta\phi_n$	$1/\overline{D_n}$	$1/\overline{D_n^3}$	$\Delta\phi_n/\overline{D_n}$	$\Delta\phi_n/\overline{D_n^3}$
4/6	0,4013	0,0251	2,49	15,5	0,063	0,4
6/8	0,2844	0,1250	3,52	43,5	0,439	5,4
8/10	0,2006	0,3207	4,98	124	1,599	39,7
10/14	0,1409	0,2570	7,10	358	1,824	92,0
14/20	0,1000	0,1590	10,0	1000	1,590	159
20/28	0,0711	0,0538	14,1	2800	0,757	150
28/35	0,0503	0,0210	19,9	7860	0,417	165
					6,690	611,0

$$Aw=3,96 \times 6,69=26,5 \text{ cm}^2$$

$$Nw=0,189 \times 611=115 \text{ tanecik}$$

Aw ve Nw nin hesaplanması için toplamlı analiz kullanılırsa 9 ve 12 eşitlikleri aşağıdaki şekli alır.

$$Aw=3,96 \int_0^{0,9616} \frac{d\phi}{D_p}$$

$$Nw=0,189 \int_0^{0,9616} \frac{d\phi}{D_p^3}$$

Eşitlikleri grafiksel olarak integre etmek için $1/D_p$ ve $1/D_p^3$ değerleri ϕ ' ye karşı grafiğe geçirilir ve $\phi = 0$ ve $\phi = 0,9616$ sınırları arasında eğrilerin altında kalan alanlar ölçülür. Bu grafikler Şekil 3 ve 4'de gösteriliyor. Şekil 4'de grafiğin bütün bölümlerinde en yüksek duyarlılığı elde edebilmek için $\phi = 0,7$ ve $\phi = 0,925$ 'de ordinatın skalasında değişiklik yapılmıştır. İntegrallerin sayısal değerleri sırasıyla 6,71 ve 626 bulunur. Buna göre, $Aw=(3,96)(6,71)=26,6 \text{ cm}^2$

$$Nw=(0,189)(626)=118 \text{ tanecik}$$

bulunur. Sonuçlar ayrımsal analize dayalı hesaplamalardan bulunanlara oldukça yakındır.

35 mesh elekten geçen kesimde taneciklerin alanı ve sayısının bulunması için 13 eşitliğindeki k ve b sabitlerinin bulunması gerekir. Bu sabitler Şekil 2'deki eğriden bulunur. Eğrinin doğrusal kısmının eğimi, $k+1= 0,886$ 'dır. Böylece $k=-0,114$ olarak bulunur. B' nün değerini bulmak için eğri üstündeki herhangi bir noktanın koordinatları kullanılabilir. Örneğin; $\Delta\phi_n=0,004$ olduğu zaman $D_{pn}=0,01$ 'dir. Bu değerler 19 eşitliğinde yerine konulursa,

$$\log(0,04)= 0,886 \log(0,01)+ \log B'$$

buradan $B' = 0,237$ olarak bulunur. Tyler elek serisi için $\sqrt{2}=1,414$ olduğuna göre 18 eşitliğinden

$$B = \frac{(0,237)(0,886)}{(1,414)^{0,886} - 1} = 0584$$

bulunur.

Elek altı kesiminin en büyük boyutlu taneciği 0,0074 cm delik açıklığından geçer. Bu kesim için ϕ ile D_p nin ilişkisinin 13 ve 14 eşitliğine uyduğu varsayılırsa, elek altındaki en küçük taneciklerin çapı aşağıdaki gibi bulunur.

$$0,0075 = \frac{0,584}{0,886} \left(0,0074^{0,886} - D_p^{0,886} \right)$$

$$D_{p2} = 0,00072 \text{ cm}$$

0,0417-0,00072 cm boyut aralığına sahip kesimin alanı 20 eşitliğinden hesaplanırsa,

$$A_w = \frac{6 \times 0,584}{2,65(-0,114)} \left(0,0417^{-0,114} - 0,00072^{-0,114} \right)$$

$$A_w = 9,7 \text{ cm}^2$$

Tüm örneğin toplam alanı = 26,6 + 9,7 = 36,3 cm²/g olarak bulunur. 22 eşitliğinden,

$$N_w = \frac{0,584}{2,114 \times 2 \times 2,65} \left(0,00072^{-2,114} - 0,0417^{-2,114} \right)$$

$$N_w = 229400 \text{ tanecik}$$

Buna göre tüm örnekteki toplam tanecik sayısı = 118 + 229400 = 229518 tanecik/g olarak bulunur.

3. Deney Düzenegi

Deneyde bir çeneli kırıcı ile maddemizi kırdıktan sonra kırılan ürünün elek analizi yapılacaktır. Kırma işlemine geçilmeden önce kırıcının iyice temizlenmesi gerekir. Çünkü daha önceden aynı makinede başka bir madde kırılmış olabilir ve bu da bizim maddemize karışarak hatalara sebep olabilir. Makinemizin temizlendiğinden emin olduktan sonra elde etmek istediğimiz ürün boyutu için kırıcımızın ayarlarının yaparız. Kırıcıyı çalıştırdıktan sonra, çeneli kırıcı içerisine kırmak istediğimiz maddeden bir miktar boşaltılır. O miktar kırıldıktan sonra dikkatli bir şekilde biraz daha boşaltırız. Bu işlem elemek istediğimiz miktar bitene kadar devam eder.

Kırma işlemi tamamlandıktan sonra çeşitli mesh sayılarına sahip elekler daha önce anlatıldığı gibi en üste en büyük delikli (en küçük mesh sayılı) elek gelecek şekilde yerleştirilir. Sonra elekler titreşim makinesine yerleştirilerek sıkıca üzeri kapatılır. Bu makinede elekler titreşim vasıtasıyla elenerek çeşitli boyutlara ayrılır. Bu boyutlar hesaplamalarda kullanılmak üzere kaydedilir.

4. Sonuçlar

Burada deneyden elde edilen sonuçlar tablo halinde sunulur. Ayrıca örnek birde verildiği gibi daha sonraki hesaplamalarda kullanılmak üzere bir tablo daha hazırlanır. Bu tablodaki

verilerle şekil 2,3 ve 4 dekine benzer grafikler çizilir. Burada tablolar numaralandırılarak tablo üst yazıları belirlenir.

5. Hesaplamalar

Burada ayrımsal analiz ve toplamlı analiz yöntemleriyle kaba taneciklerin özgül yüzey ve özgül tanecik sayıları hesaplanacak ayrıca hacim yüzey ortalama çapı bulunacaktır. Ayrıca,

- Tutulan toplamlı kesim –delik açıklığı
- log delik açıklığı-log elek üstünde kalan kesim
- Tutulan toplamlı kesim-1/Dp
- Tutulan toplamlı kesim-1/Dp³

Grafikleri çizilecektir.

6. Tartışma ve Yorum

Elde edilen sonuçlar tartışılacak ve yoruma gidilecek varsa deney eksikleri ve hataları belirtilecektir. Elek analizi sonuçlarına göre ince taneciklerin oluşup oluşmadığı saptanıp sonucu yorumlanacaktır.

Semboller

$\Delta\phi_n$: n eleği tarafından tutulan toplam örneğe göre kütle kesri

$\overline{D_n}$: iki eleğin delik açıklıklarının ortalaması

D_{pn} : n eleğinin delik açıklığı

D_p : tanecik çapı

ϕ : Örnekte D_p den daha büyük taneciklerin kütle kesri

ρ_p : tanecik yoğunluğu

λ : şekil etmeni

A_w :özgül yüzey

N_w :örneğin birim kütledeki tanecik sayısı

B, k : sabit

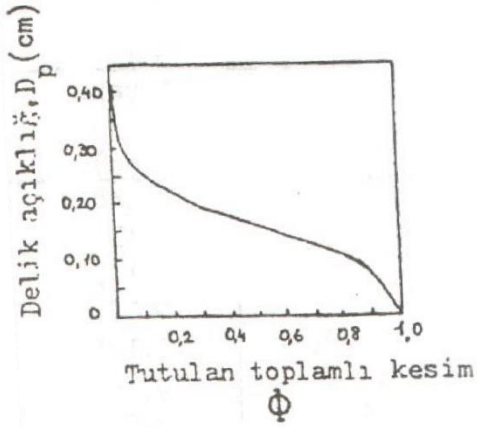
R : $D_{p(n-1)}$ ile D_{pn} arasındaki sabit oran

Kaynaklar

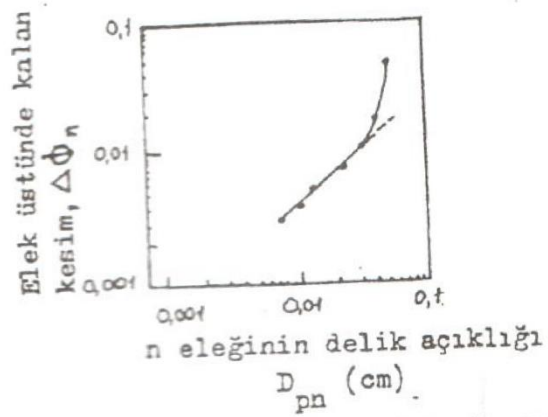
-Çataltaş, İ., Kimya Mühendisliğine Giriş, İnkılap ve Aka Yayınevi, İstanbul, 1987

-Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Temel İşlemler Laboratuvarı Ders Notları, Ankara, 1978

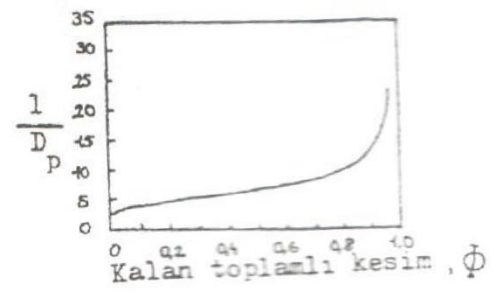
-İstanbul Teknik Üniversitesi Temel İşlemler Laboratuvarı Ders Notları, İstanbul, 1986



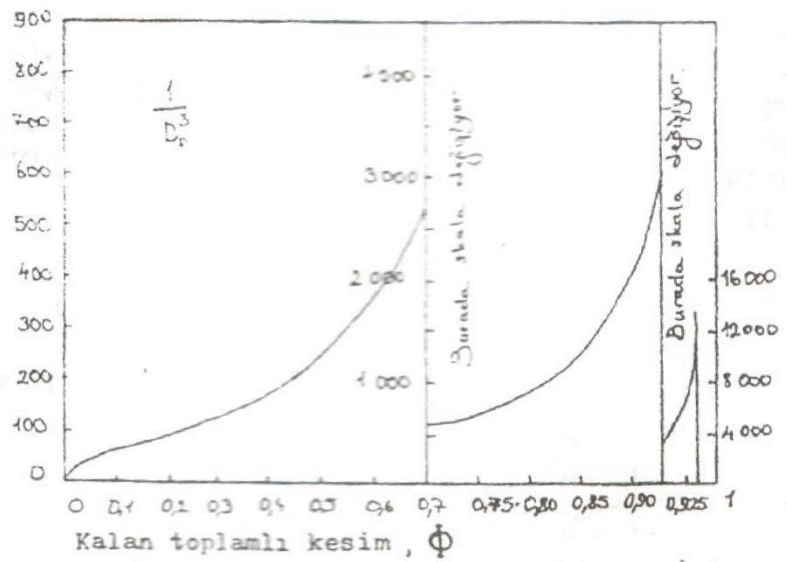
Şekil 1 : Toplamı elek analizi



Şekil 2 : Örnek 1 için $\log D_{pn}$ ye karşı $\log \Delta\Phi_n$ nin grafiği



Şekil 3 : Grafiksel integrasyon, örnek 1 için parçacıkların yüzeyi

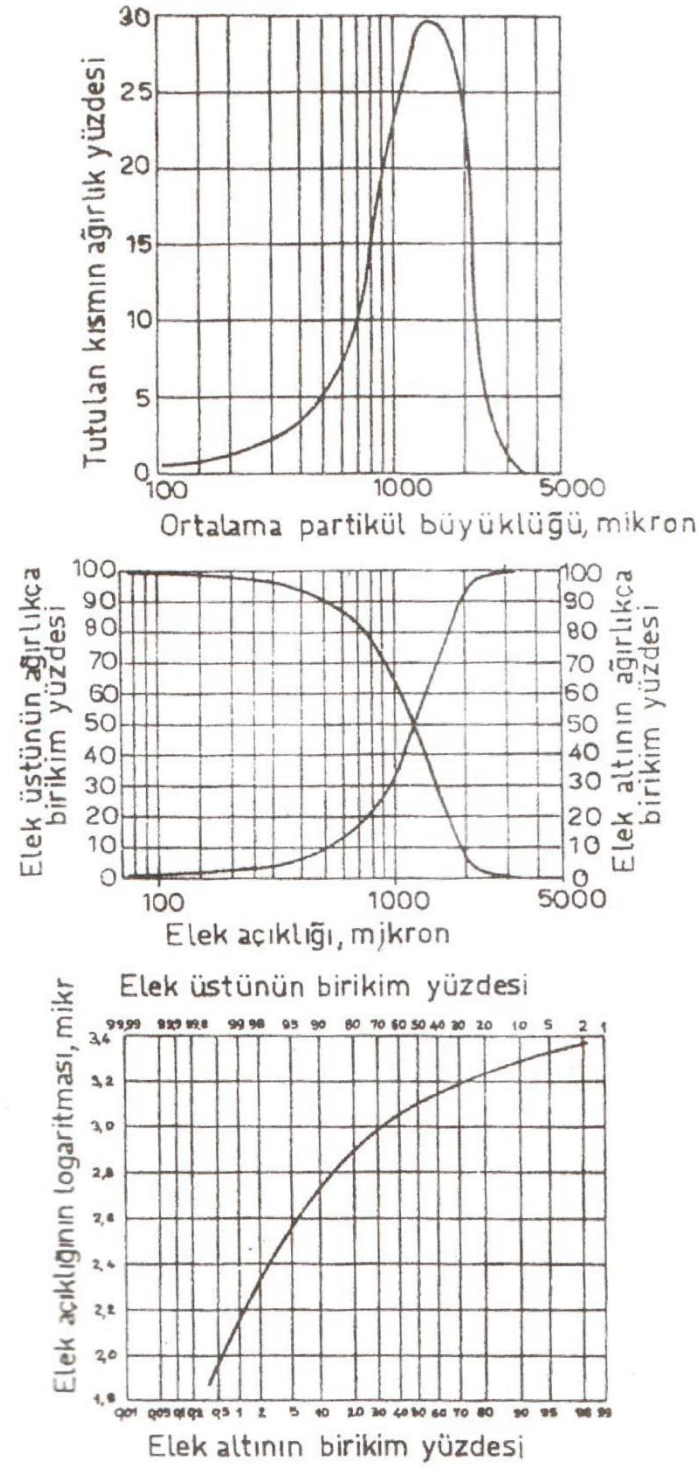


Şekil 4 : Grafiksel integrasyon, örnek 1 için parçacıkların sayısı

Tablo 5. Tyler standart elek serisi

Mesh sayısı	Net delik açıklığı (in)	Net delik açıklığı (mm)	Yaklaşık delik açıklığı (in)	Tel çapı (in)
	1,050	26,67	1	0,148
+	0,883	22,43	7/8	0,135
	0,742	18,85	¾	0,135
+	0,624	15,85	5/8	0,120
	0,525	13,33	½	0,105
+	0,441	11,20	7/16	0,105
	0,371	9,423	3/8	0,092
2 ½ +	0,312	7,925	5/16	0,088
3	0,263	6,680	¼	0,070
3 ½ +	0,221	5,613	7/32	0,065
4	0,185	4,699	3/16	0,065
5 +	0,156	3,962	5/32	0,044
6	0,131	3,327	1/8	0,036
7 +	0,110	2,794	7/64	0,0328
8	0,093	2,362	3/32	0,032
9 +	0,078	1,981	5/64	0,033
10	0,065	1,651	1/16	0,035
12 +	0,055	1,397		0,028
14	0,046	1,168	3/64	0,025
16	0,039	0,991		0,0325
20	0,0328	0,833	1/32	0,0172
24 +	0,0276	0,701		0,0141
28	0,0232	0,589		0,0125
32 +	0,0195	0,495		0,0118
35	0,0164	0,417	1/64	0,0122
42 +	0,0138	0,351		0,0100
48	0,0116	0,295		0,0092
60 +	0,0097	0,246		0,0070
65	0,0082	0,208		0,0072
80 +	0,0069	0,175		0,0056
100	0,0058	0,147		0,0042
115 +	0,0059	0,124		0,0038
150 +	0,0041	0,104		0,0026
170 +	0,0035	0,088		0,0024
200	0,0029	0,074		0,0021

+ işaretli elekler ara eleklerdir ve standart elek serisindeki eleklerin arasına konulmuştur. Bu eleklerin konulması ile ardı ardına gelen iki eleğin delik açıklıkları oranı $1/\sqrt{2}$ değil de $1/\sqrt[4]{5}$ olmaktadır.



Şekil 5. Elek analizini değişik gösterilme metodları