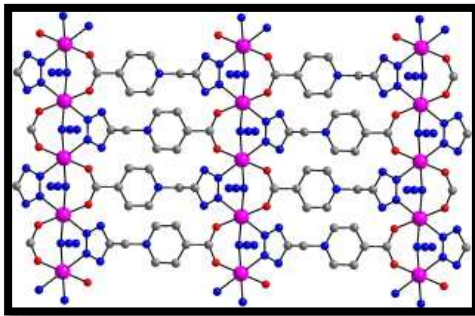
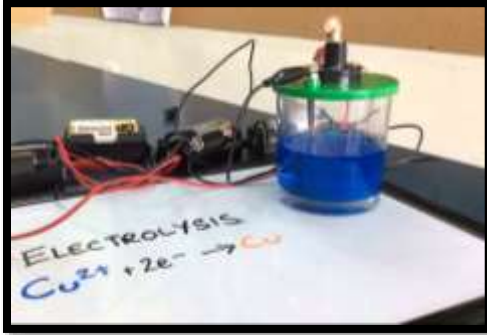




T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KİMYA-METALURJİ FAKÜLTESİ



METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



MEM3961 LABORATUVAR-1 DENEY FÖYÜ 2021-2022 GÜZ

İÇİNDEKİLER

LABORATUVAR GÜVENLİĞİ TALİMATLARI.....	1
1. TOZ METALURJİSİ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2. ÇÖKELME SERTLEŞMESİ	44
3. KOROZYON.....	23
4. KARBOTERMİK REDÜKSİYON.....	27
5. TERMOSET POLİMERLER: DOYMAMIŞ POLYESTER REÇİNELERİ.....	38
6. MEKANİK TESTLER	44
7. LİÇ VE SEMENTASYON.....	56
8. GERİ DÖNÜŞÜM	63
9. İNDİRGENME ELEKTROLİZİ.....	70
10. KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ.....	80



LABORATUVAR GÜVENLİĞİ TALİMATLARI

GENEL LABORATUVAR GÜVENLİĞİ



Prof.Dr. Nilgün Kuşkonmaz



Laboratuvarlar;

*İçerisinde bulundukları malzeme ve ekipmanlar sebebiyle çeşitli biyolojik, kimyasal ve fiziksel tehlikeler barındırmaktadır.

* Laboratuvarında bulunan/çalışan herkesin, temel laboratuvar güvenliği hakkında bilgi sahibi olması, potansiyel tehlikelere karşı farkındalığa sahip olması ve acil durumlarda ne yapacaklarını veya yapmayacaklarını bilmesi gerekmektedir.

Laboratuvar güvenliği

•Laboratuvarında bulunan/çalışan kişinin ve çalışma materyallerinin güvenli olması ve korunması için; belirli laboratuvar kurallarının, yöntemlerin, altyapı ve cihazların kullanılmasıdır.



Laboratuvar ortamında çalışanların sağlık ve güvenliği için temel güvenlik kurallarına uyulması büyük önem taşımaktadır.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
LABORATUVAR GÜVENLİĞİ TALİMATLARI



NEDEN LABORATUVAR ÇALIŞMA GÜVENLİĞİ?

Kimyasal maddelerle
tehlikesiz ve güvenli
çalışmak

Kendini ve arkadaşlarını
tehlikeden korumak

Çevre kirliliğine karşı
duyarlı olmak

Olası tehlikeleri
tanımak ve uyarılar
yardımıyla bu
tehlikelerden
korunmak

Kişisel Koruyucu Ekipman (KKE)

Laboratuvarda çalışılırken uzun beyaz önlük giyilmeli ve laboratuvar boyunca önünün ilikli tutulmalıdır.

Laboratuvarda rahat ve düz ayakkabı giyilmeli ve özellikle açık ayakkabı giyilmemelidir.

Çalışmanın niteliğine göre gerektiğinde eldiven ve koruyucu gözlük kullanılmalıdır.

Laboratuvar çalışanlarının analizler sırasında kullandıkları katı veya sıvı kimyasallardan oluşan toz ve sıvı zerreciklerden etkilenmelerini önlemek amacıyla dizayn edilmiş kullanımı pratik, cilde uyumlu maskelerdir.



Laboratuvar dışına laboratuvarda kullanılan önlük, eldiven, vb. ile çıkılmamalıdır.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
LABORATUVAR GÜVENLİĞİ TALİMATLARI



LABORATUVARDA UYULMASI GEREKEN TEMEL KURALLAR

Laboratuvarda sigara içilmemeli



Laboratuvarda yangın söndürücülerin yeri ve nasıl kullanılacağı öğrenilmelidir.

Laboratuvarda yemek, içmek ve gıda malzemelerini bulundurulmamalı laboratuvar ekipmanları bu amaçla kullanılmamalıdır.



Çalışma sırasında saçlar uzun ise mutlaka toplanmalıdır.



Laboratuvarda çatlak ve kırık cam eşyalar kullanılmamalıdır.



Laboratuvarda çalışılırken ağız yoluyla sıvı çekilmemelidir

Laboratuvarda bulunan hiç bir kimyasal madde koklanmamalı veya tadılmamalıdır.

Deri yoluyla hastalıkların bulaşma riskinden dolayı laboratuvar ortamında çalışılırken açık yaralar mutlaka yara bandı ile kapatılmalıdır.



LABORATUVARDA UYULMASI GEREKEN TEMEL KURALLAR

Laboratuvarda başkalarının da çalıştığı düşünülerek gürültü yapılmamalı, asla şaka yapılmamalı



Katı haldeki maddeler şişelerden daima temiz bir spatül veya kaşıkla alınmalı, aynı kaşık temizlenmeden başka bir madde içine sokulmamalı



Şişe kapakları hiçbir zaman alt tarafları ile masa üzerine konulmamalı, aksi takdirde, kapak yabancı maddelerle kirleneceği için tekrar şişeye yerleştirilince bu yabancı maddeler şişe içindeki saf madde veya çözelti ile temas edip, onu bozabilir.

Kapaklı ve tıpa ile kapatılmış kaplardaki madde kesinlikle ısıtılmamalı, üzerinde ateşe dayanıklı işareti taşımayan kaplarda ısıtma ve kaynatma yapılmamalı





Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
LABORATUVAR GÜVENLİĞİ TALİMATLARI



LABORATUVARDA UYULMASI GEREKEN TEMEL KURALLAR

Şişelerden sıvı akıtılırken etiket tarafı yukarı gelecek şekilde tutulmalıdır. Aksi halde şişenin ağzından akan damlalar etiketi ve üzerindeki yazıyı bozar. Şişenin ağzında kalan son damlaların da şişenin kendi kapağı ile silinmesi en uygun şekildir

Kimyasallar taşınırken iki el kullanılmalı, bir el kapaktan sıkıca tutarken, diğeri ile şişenin altından kavranmalı

Desikatör taşınırken mutlaka kapak ve ana kısım birlikte tutulmalı.
Desikatör kapakları ara sıra vazelin ile yağlanmalı



Paslanmamaları için metalik yapılı laboratuvar araçları nemli bırakılmamalıdır

LABORATUVARDA UYULMASI GEREKEN TEMEL KURALLAR

Asit, baz gibi aşındırıcı-yakıcı maddeler deriye damladığı veya sıçradığı hallerde derhal bol miktarda su ile yıkanmalı

Sülfürik asit, nitrik asit, hidroklorik asit, hidroflorik asit gibi asitlerle bromür, hidrojen sülfür, hidrojen siyanür, klorür gibi zehirli gazlar içeren maddeler ile çeker ocakta çalışılmalı



Derişik asitlerle çalışırken son derece dikkatli olunmalıdır. Asitler genelde derişik konsantrasyonda bulunmaktadır. Dolayısı ile asistan gözetiminde cam baget yardımı ile asit yavaşça su içerisine dökülüp seyreltilmelidir. **Dikkat!! asla asit üzerine su eklemeyiniz.**

Her zaman önce SU sonra ASİT eklenmeli

Asit, baz gibi aşındırıcı yakıcı maddeler deriye damladığı veya sıçradığı hallerde derhal bol miktarda su ile yıkanmalıdır



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
LABORATUVAR GÜVENLİĞİ TALİMATLARI



LABORATUVARDA UYULMASI GEREKEN TEMEL KURALLAR



Sıcak cam kaplar-potalar, eldiven veya maşa ile tutulmalı



Elektrik kabloları yürüme güzergahına engel olmayacak şekilde düzenlenmeli



Elektrikli ekipman kullanmadan önce ellerin ve ilgili alanın kuru olduğundan emin olunmalı

Elektrik prizlerine herhangi bir şey sokulmamalı



Deney sırasında beklenmeyen bir durum ortaya çıktığında laboratuvardaki ilgiliye/sorumluya hemen haber verilmelidir.



Laboratuvarda görevli kişiye danışmadan deney bırakılıp gidilmemelidir

LABORATUVAR CİHAZ/EKİPMANININ KULLANIMINDA UYULMASI GEREKEN KURALLAR

Hassas Terazî

- Su terazisindeki hava kabarcığı ortalanmalıdır.
- Terazinin yatay pozisyonu kontrol edilmelidir.
- Hassas terazî üzerine ve etrafına kimyasal madde dökülmemesine özen gösterilmelidir. Dökülen kimyasal maddeler fırça ile temizlenmelidir.
- Kullanılmadığı durumlarda cihaz stand by konumunda, kapakları kapalı ve yüksüz olmalıdır.

Çeker Ocak

- Derişik asit, baz ve uçucu çözücülerle, zehirli gazların ve buharların solunmaması için çeker ocak içinde çalışılmalıdır.
- Çeker ocaklar kullanılmadan önce havalandırma sistemi çalıştırılmalıdır.
- Çeker ocakta yapılan her türlü işlem sırasında koruyucu gözlük kullanılmalıdır.
- Organik bileşiklerle çalışılırken ısıtım uygulaması sadece çeker ocaklarda gerçekleştirilmelidir.
- Çeker ocakla çalışılırken kimyasal maddeler, çeker ocağın ön kısmından en az 15 cm içeriye konulmalıdır ve çeker ocağın camı mümkün olduğunca kapalı tutulmalıdır.
- Patlayıcı/yanıcı kimyasal maddeler ile çeker ocak içinde çalışırken kullanılacak tüm ekipmanların elektrik bağlantısı önceden yapılmalıdır.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deneysel Föyü
LABORATUVAR GÜVENLİĞİ TALİMATLARI



Etüv/Fırın

- Sıcaklık ayarı değiştirmemelidir.
- Cihazların kapakları uzun süre açık bırakılmamalıdır.
- Plastik eldiven kullanılmamalıdır. Yüksek sıcaklıkta çalışılırken maşa ve/veya ısıya dayanıklı eldiven kullanılmalıdır.
- Çözücülerle yıkanan malzemeler, patlama riski nedeniyle kurutulmak üzere etüve konulmamalıdır.
- Plastik malzemeler etüve konulmamalıdır.
- Numune kaplarının ve maşanın fırın cidarına değmemesine dikkat edilmelidir.

Gaz Tüpleri

- Gaz tüpleri devrilmelerini önleyecek şekilde zincirle sabitlenmelidir.
- Gaz tüpleri, tüp taşımak amacıyla özel olarak tasarlanmış taşıyıcılarla taşınmalıdır.
- Gaz tüplerinin taşıma esnasında veya kullanılmadıklarında kapakları kapalı tutulmalıdır.
- Gaz tüplerinin bağlantıları laboratuvar teknik elemanlarınca yapılmalıdır.
- Boş gaz tüpleri işaretlenmeli ve laboratuvar yönetimi bilgilendirilmelidir.
- Bağlantı hortumları, regülatör vs. sık sık olarak kontrol edilmelidir.

Manyetik Karıştırıcı/Isıtıcı

- Isıtıcı yüzeye plastik/lastik malzemeler konulmamalıdır.
- Isıtıcı yüzeye herhangi kimyasal madde dökülmemesine dikkat edilmelidir.
- Sıcak ısıtıcı yüzeyine dokunulmamalıdır.
- Çözeltinin dışarıya sıçramasını önlemek ve magnetin düzgün bir şekilde dönmesini sağlamak için karıştırma hızı yavaşça artırılmalıdır.

Laboratuvardan ayrılmadan önce;

Kullanılmış kaplar, her ne suretle olursa olsun kirli bırakılmamalıdır. İçindeki maddelerin kuruyup yapışmasına imkan verilmemelidir. Temizleme işlemi bittikten sonra kaplar ve diğer malzemeler yerlerine yerleştirilmeli, deney masası/seti temizlenmelidir.

Kullanılan tüm şişelerin kapaklarının kapalı olduğu kontrol edilmeli



Laboratuvarda yapılan deneyler sona erdiğinde, kullanılan elektrikli malzeme çekilmeli ve su vanaları kapatılmalıdır.



FİŞİ PRİZDEN ÇIKARIRKEN
KABLODAN DEĞİL,
FİŞTEN TUTUP ÇEKİN

Bu işlemler sonunda, ilgili/sorumlu bilgilendirilmeli ve birlikte son kontrol yapıldıktan sonra, ilgili/sorumlunun izni ile laboratuvardan çıkılmalıdır.





Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
LABORATUVAR GÜVENLİĞİ TALİMATLARI



BAZI ÖZEL KİMYASALLARA AİT GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

Her kimyasalın etiketinde çeşitli uyarı, risk ve önlem bilgileri bulunmaktadır. Kullanmadan önce, etiket dikkatle okunmalı, anlaşılamayan işaret ve ibareler laboratuvar sorumlusuna sorulmalıdır.

Eski Etiket Tehlike Sembolleri (Tehlikeli Kimyasallar Yönetmeliği)			Yeni Etiket Risk Piktogramları (EU GHS Düzenlemeleri)		
Tehlike İbaresini	Referans Harf	Sembol	Risk Kategorileri	Uyarı İbaresini	Risk Piktogramı
Patlayıcı	E		Patlayıcı	Tehlike Uyarı	
Çok kolay alevlenir	F+		Alevlenir sıvılar	Tehlike Uyarı	
Kolay alevlenir	F		Oksitleyici sıvılar	Tehlike Uyarı	
Oksitleyici	O		Basıncı altındaki gazlar, Sıkıştırılmış gazlar	Uyarı	
-	-	-	Cildi tahriş edici	Tehlike Uyarı	
Aşındırıcı	C		Metal aşındırıcı	Tehlike Uyarı	
Çok toksik	T+		Akut zehirlilik	Tehlike	
Toksik	T		Akut zehirlilik	Uyarı	
Zararlı	Xn		Cildi tahriş edici	Uyarı	
Tahriş edici	Xi		Karsinojenik	Tehlike Uyarı	
-	-	-	Suçlu çevre için zararlı	Uyarı	
Çevre için tehlikeli	-		Ozon tabakası için zararlı	Tehlike	Piktogram Yok
-	-	-			

Material Safety Data Sheet
Hydrochloric acid MSDS

Section 1: Chemical Product and Company Identification	
Product Name: Hydrochloric acid	Contact Information:
Catalog Codes: SLH1462, SLH3154	ScienceLab.com, Inc. 14025 Smith Rd. Houston, Texas 77396
CAS#: Mixture.	US Sales: 1-800-901-7247 International Sales: 1-281-441-4400
RTECS: MW4025000	Order Online: ScienceLab.com
TSCA: TSCA 8(b) inventory; Hydrochloric acid	CHEMTREC (24HR Emergency Telephone), call: 1-800-424-9300
CI#: Not applicable.	International CHEMTREC, call: 1-703-527-3887
Synonym: Hydrochloric Acid; Muriatic Acid	For non-emergency assistance, call: 1-281-441-4400
Chemical Name: Not applicable.	
Chemical Formula: Not applicable.	



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
LABORATUVAR GÜVENLİĞİ TALİMATLARI



Laboratuvar Kazalarında İLK YARDIM

Laboratuvar kazalarının olabileceği genellikle hesaba katılmaz. Oluşabilecek bu tür kazaların en aza indirilmesi veya önlenmesi için gerekli önlemlerin alınması birinci şarttır.



Bölgesel Yıkama Üniteleri :

- Kimyasal maddeler, cilt ile temas ettikleri durumlarda yanık oluşumuna sebep olabilirler. Bu gibi durumlarda, oluşacak zararı en aza indirmek için kimyasal madde derhal bol su ile yıkanarak uzaklaştırılmalıdır. Kullanımı kolay duşlar ve banyolar bu amaç doğrultusunda geliştirilmiştir.
- Asit dökülmeleri için kabartma tozu, baz dökülmeleri için sirke veya borik asit uygulanabilir.



Ağız Yoluyla Olan Zehirlenmeler:

- Ağız yolu ile gerçekleşen zehirlenmelerde ilk yardım, kaza geçiren kişi/kişilerin hızlı bir şekilde ilk yardım merkezine ulaşımı sağlanmalıdır.

Laboratuvar Kazalarında İLK YARDIM



Solunum Sistemi Üzerinde İritan Etkili Gazlarla Zehirlenmeler:

- Krom, brom, HCl gibi kimyasalların buharları doğrudan solunduğunda zehirlenmelere yol açar.
- Kişi bulunduğu ortamdan uzaklaştırılarak temiz hava alması sağlanmalıdır.
- Bu durumda zehirlenen kişinin hemen en yakın sağlık kuruluşuna nakli sağlanmalıdır.



Yanıklar:

- Yanık bölgenin hemen soğutulması ve ciddi risk yaratan enfeksiyonlardan korunmasıdır. Bu amaçlarla kullanılacak en etkili ürünler çeşitli boylardaki steril sargılardır. Yanık sonrası meydana gelen acı ve travmayı bertaraf etmede oldukça etkilidirler.
- Ödem oluşabileceği düşünülerek yüzük, bilezik, saat gibi eşyalar çıkarılır.
- Yanmış alandaki deriler kaldırılmadan giysiler çıkarılır.
- Su toplamış yerler patlatılmaz. Yanık bölgelere bandaj yapılmamalıdır.
- Kazazedenin en kısa sürede acil servise nakli sağlanmalıdır.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
LABORATUVAR GÜVENLİĞİ TALİMATLARI



Yangında yapılacak işler:

Öğrenciler

- Panik yapmayın
- Yanıcı, patlayıcı maddeleri uzaklaştırın
- Sorumluya haber verin
- Eğer bir kişi alev aldıysa yere yatırın yangın battaniyesi ile üzerini örtün.
- Yangın söndürücülerini kullanmak konusunda eğitilmiş değilseniz yangına müdahale etmeyin, uzaklaşın
- Açık pencere ve kapıları kapatın
- Laboratuvarı boşaltın
-

Laboratuvar sorumluları

- Paniği engelleyin
- Yanıcı, patlayıcı maddeleri uzaklaştırın
- Yangına söndürücü ile müdahale edin. Alevi boğmaya çalışın
- Eğer bir kişi alev aldıysa yere yatırın yangın battaniyesi ile üzerini örtün
- Öğrencileri tahliye edin
- Yangın alarmını çalıştırın
- Açık pencere ve kapıları kapatın
- Duruma göre 110 'u arayın
- Ağır yangın durumunda 112'yi arayın
- Bölüm ve Fakülte yöneticilerine haber verin

Yangın Tipi	Söndürücü
 A sınıfı yangınlar: Kâğıt, ahşap, kumaş, kâğıt gibi katı madde yangınları	 Su yada A, B, C sınıfı yangın söndürücü kullan. Oksijenle teması kes (Boğma)
 B sınıfı yangınlar: Akaryakıt, çözücü, tiner gibi yanıcı ve parlayıcı sıvı yangınları	 Köpük, A, B, C sınıfı yada CO ₂ tip yangın söndürücü kullan
 C sınıfı yangınlar: Metan, propan, LPG gibi yanıcı ve parlayıcı gaz yangınları	 A, B, C sınıfı yada Halon 1301 veya Halon 1211 kullan
 D sınıfı yangınlar: Magnezyum, alüminyum, sodyum gibi metal yangınları	 Kum yada A, B, C, D sınıfı yangın söndürücü kullan. Köpük ve su asla kullanma!
 E sınıfı yangınlar: Elektrik yangınları	 CO ₂ tipi söndürücü kullan. Su ve köpük asla kullanma!



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
LABORATUVAR GÜVENLİĞİ TALİMATLARI



Depremde

Öğrenciler	Laboratuvar sorumluları
<ul style="list-style-type: none">- Panik yapmayın.- Yanıcı, korozif kimyasalların yakınında iseniz hemen uzaklaşın.- Yakınızdaki banko, masa vb. ağırlık merkezi yere yakın eşyaların yanına eğilin, kollarınızı başınızın üzerine koyun, başınızı bacaklarınızın arasına eğerek bekleyin.- Depremden sonra laboratuvarı terk edin ve sorumlular aksini söylemedikçe girmeyin.- Gerekliyse acil çıkışları kullanarak binayı terkedin.	<ul style="list-style-type: none">- Panik yapmayın,- Yanıcı, korozif kimyasalların yakınında iseniz hemen uzaklaşın,- Yakınızdaki banko, masa vb.ağırlık merkezi yere yakın eşyaların yanına eğilin, kollarınızı başınızın üzerine koyun, başınızı bacaklarınızın arasına eğerek bekleyin.- Depremden sonra laboratuvarda çalışanları tahliye edin.- Laboratuvarın güvenli olup olmadığını kontrol edin değilse içeri kimseyi almayın. Gerekli önlemleri alın veya alınması için yönetimi bilgilendirin.



YARARLI & GÜVENLİ DENEMELER



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü



1. DENEY: TOZ METALURJİSİ

LABORATUVAR GÜVENLİĞİ TALİMATLARI

1. Çanta, palto, mont vb. malzemeler mümkün olduğunca laboratuvara getirilmemelidir. Bu grup malzemelerin laboratuvara getirilmesi halinde, malzemeler laboratuvar sorumluları tarafından belirlenen yerlerde muhafaza edilmelidir.
2. Çalışma esnasında saçlar uzun ise mutlaka toplanmalı, sallantılı küpe ve bilezik vb. takılmamalıdır. Ellerde kesik, yara ve benzeri durumlar varsa bunların üzeri ancak su geçirmez bir bantla kapatıldıktan sonra laboratuvarında çalışılmalı, Laboratuvarında giyilecek ayakkabıların burnu açık olmamalıdır.
4. Laboratuvarında çalışıldığı sürece gözü ve cildi korumak amacıyla kişisel koruyucu ekipmanlar eldivenler, maskeler, göz/yüz koruyucular, işitme koruyucu, çalışma giysisi)kullanılmalıdır.
5. Laboratuvarında herhangi bir şey yenilip içilmemeli, çalışırken eller yüze sürülmemelidir.
6. Ecza dolabında neler bulunduğu, yangın söndürme cihazının nasıl çalıştığı bilinmelidir. Bu konuda görevliden bilgi edinilmelidir.
7. Laboratuvarında, başkalarının dikkatini dağıtıcı hareketler yapılmamalıdır. Laboratuvarında oyun oynanmamalı ve asla şaka yapılmamalıdır.
8. Laboratuvarında çalışmalar için laboratuvar defteri tutulmalıdır. Yapılan çalışma ve gözlemler mutlaka bu deftere kaydedilmelidir
9. Çeşmeler, gaz muslukları ve elektrik düğmeleri, çalışılmadığı zamanlarda kapalı tutulmalıdırlar.
10. Paslanmamaları için metalik yapılab laboratuvar araçları nemli bırakılmamalıdır.
11. Atılacak katı maddeler laboratuvar içerisinde belirlenen çöp kutularına atılmalıdırlar.
12. Laboratuvarında meydana gelen her türlü olayı, laboratuvarı yönetenlere anında haber verilmelidir.
13. Laboratuvarı yönetenlerin izni olmadan hiçbir madde ve malzeme laboratuvardan dışarı çıkarılmamalıdır.
14. Kullanıldıktan sonra her bir eşya, alet veya cihaz yöntemine uygun biçimde temizlenmelidir. Laboratuvardan çıkınca eller mutlaka yıkanmalıdır.
15. Mikroskop kullanımdan önce objektif ve oküler kısmı her kullanımdan önce ve sonra bir bez yardımıyla dikkatlice merceğe zarar vermeden temizlenmelidir.
16. Tüm asitler ve alkaliler sulandırılırken daima suyun üzerine ve yavaş yavaş dökülmeli, asla tersi yapılmamalıdır.
17. Asit, baz gibi aşındırıcı - yakıcı maddeler deriye damladığı veya sıçradığı hallerde derhal bol miktarda su ile yıkanmalıdır. Olaydan mutlaka laboratuvar sorumlusu bilgilendirilmelidir.
18. Elektrikle uğraşırken eller ve elektrik düğme ve prizleri kuru olmalıdır. Elektrik fişleri kordondan çekilerek çıkarılmamalıdır.



1. DENEY: TOZ METALURJİSİ

1. TOZ METALURJİSİ

Deneyin Amacı: Metal ve metalsel alaşımların tozlarını ergitmeden, basınç ve sıcaklık yardımıyla, dayanıklı cisimler haline getirilmesidir. Sinterleme denilen bu ısıl işlem, ergitmenin yerini tutmakta ve kullanılan metal tozunun ergime noktasının altındaki bir sıcaklıkta yapılmaktadır. Tek bileşenli tozların sinterlenmesinde, sinterleme sıcaklığı malzemenin ergime sıcaklığının altında (yaklaşık olarak ergime sıcaklığının %80'i) bir sıcaklık alınabilir. Çok bileşenli sistemlerde ise sinterleme sıcaklığı, bileşenlerden ergime sıcaklığı en düşük olanın ergime sıcaklığının hemen altında seçilebilir. Bu tür sinterleme işlemlerine katı faz sinterlemesi denir. Ayrıca çok bileşenli sistemlerde sinterleme sıcaklığı bileşenlerden en az birisinin ergime sıcaklığının üstünde alınabilir, bu tür sinterleme işlemlerine de sıvı faz sinterlemesi denir.

Neden Toz Metalurjisi İmalat Yöntemi?

T/M ile imal edilen parçalar bu yöntemin tercih edilmiş sebebine bağlı olarak iki ana grupta incelenebilirler.

1.Grup: Başka yöntemlerle de imal edilebildikleri halde T/M yönteminin daha ekonomik olduğu parçalar.

2.Grup: Başka yöntemlerle imalatı mümkün olmayıp T/M'nin tek alternatif olduğu parçalar

Toz Metalurjisi Süreçleri

Toz metalurjisi tekniği temel olarak 3 kademedir oluşmaktadır.

1. Toz üretimi,
2. Presleme (Toz partiküllerini çeşitli işlemlerle tek parça komponent haline getirilmesi),
3. Sinterleme ve gerekiyorsa ikincil işlemler ile nihai parça üretimi

BÖLÜM 1.1 GÖRÜNEN YOĞUNLUK (YAŞ YOĞUNLUK)

1.1.1 DENEYİN AMACI: Tozun gevşek, sıkıştırılmamış haldeki yoğunluğunun belirlenerek standartlara uygunluğunun tespiti.

1.1.2 KULLANILAN ALET, CİHAZ VE MALZEMELER: Terazî, metal tozu, standart deney tertibatı

1.1.3 TEORİK BİLGİ VE DENEYİN YAPILIŞI:

Yığılma yoğunluğu tozun gevşek (sıkıştırılmamış) haldeki yoğunluğudur (g/cm^3). Bu yoğunluğu belirlemek için tozun boyutları ve şekli standartlarla belirlenmiş bir huniden akıtılarak altındaki silindirik kabı serbest bir düşümle doldurması sağlanır. Huni çıkış ağzı ile silindirik kabın üst yüzeyi arasındaki yükseklik de sabit bir değerdir.

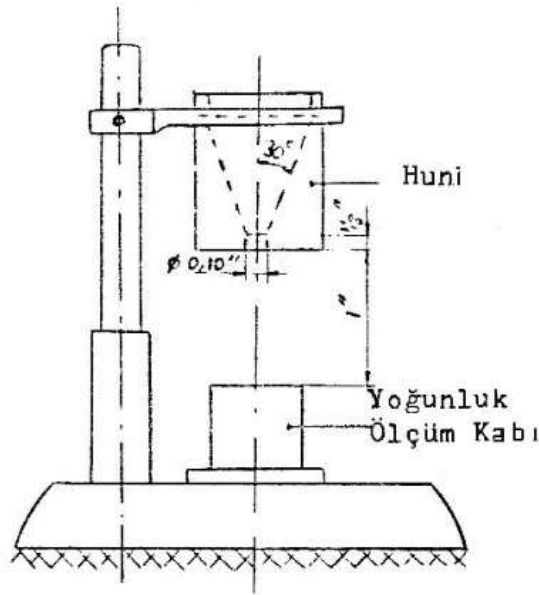
Taşar şekilde doldurulmuş olan silindirik kabtaki tozun fazlası dikkatlice sıyrılarak içindeki toz tartılır. Deney kabı hacmi de bilindiğinden ($25 cm^3$) yığılma yoğunluğu kolaylıkla (g/cm^3) olarak hesaplanır. Bu deneyin ISO standart numarası 3923'tür. Burada deneyle ilgili bütün koşullar ve



1. DENEY: TOZ METALURJİSİ

deneyin yapılışı belirlenmiştir. Şekil 1’de bu deney için kullanılan donatım ölçüleri şematik olarak verilmiştir.

Su atomizasyonu ile üretilen paslanmaz çelik tozların görünür yoğunluğu $2,80-3,20 \text{ g/cm}^3$ arasında değişir. Bu değer gaz atomizasyonu ile üretilen tozlar için 5 g/cm^3 ’e kadar çıkabilir. Bu değer bakır tozları için $2,80-3,00 \text{ g/cm}^3$, bronz tozları için $3,00-3,25 \text{ g/cm}^3$ arasında değişir. Yığılma yoğunluğu presleme (yoğunlaştırma) aşamasında tozun kalıbı doldurmasında çok önemli bir faktördür. Yığılma yoğunluğu toz tane şekline, büyüklüğüne ve dağılımına yakından bağlıdır. Toz tane şekli küreselden uzaklaştıkça taneler arası boşluk oranı azalır.



Şekil 1.1 Yığılma Yoğunluğunun Ölçülmesi.

BÖLÜM 1.2: AKICILIK TESTİ

1.2.1 DENEYİN AMACI: Tozlardan istenen akış süresinin belirlenerek standartlara uygunluğunun tespiti.

1.2.2 KULLANILAN ALET, CİHAZ VE MALZEMELER: Terazi, metal tozu, standart deney tertibatı, kronometre.

1.2.3 TEORİK BİLGİ VE DENEYİN YAPILIŞI:

Bu testin amacı X firmasına gelen hammaddelerden istenen akıcılık değerlerinin tespit edilmesidir.

Bu oran 50 gram tozun 2,54 mm’lik huniden geçmesi gereken süre olarak tanımlanır. Küresel şekilli paslanmaz çelik için 15 saniyelik bir akış süresine sahiptir. Bu oran düzensiz şekilli tozlar için 25-30 saniye arasında değişmektedir.

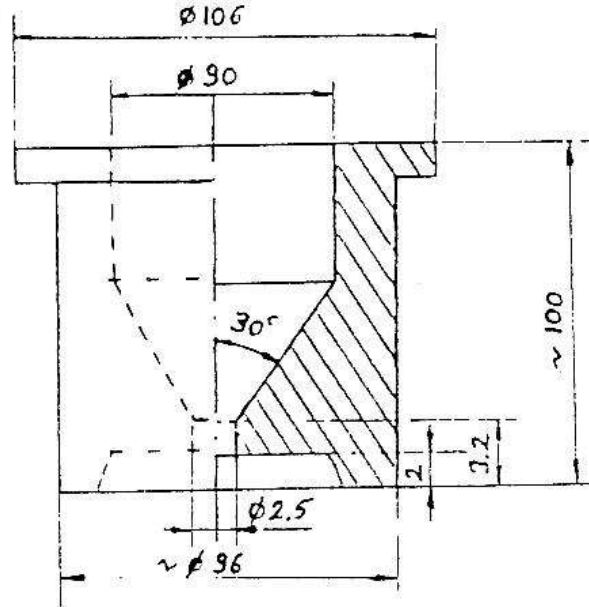
Akıcılık; bir toz türü ya da karışımının belirli bir miktarının boyut ve şekli önceden belirlenmiş bir huniden akma kabiliyetidir. Bu ölçümlerde genellikle 50 gr’lık toz örneğinin huniden akış



1. DENEY: TOZ METALURJİSİ

süresi saptanır ve bu değer tozun akıcılığı olarak kabul edilir. Huni boyutları ve şekli ile akış deliği boyutları (delik çapı ve uzunluğu) standartlarda belirtilmiştir (ISO 4490). Deney genellikle üç defa tekrarlanıp ortalama değer hesaplanır.

Akıcılık özelliği de tozun bilhassa tane iriliğine, özgül yüzey büyüklüğüne, toz tane şekline bağlıdır. Toz tane boyutu düştükçe akıcılık da artar.



Şekil 1.2 Akıcılığı Saptamaya Yarayan Bir Deney Hunisi Şematik Olarak Verilmiştir.

BÖLÜM 1.3: PRESLENEBİLİRLİK (GREEN DENSITY)

1.3.1 DENEYİN AMACI: Tozun presleme sonrası ve teorik yoğunluğunun tespiti.

1.3.2 KULLANILAN ALET, CİHAZ VE MALZEMELER: Terazî, metal tozu, pres, kumpas, kalıp.

1.3.3 TEORİK BİLGİ ve DENEYİN YAPILIŞI: Bu özellik, toz basınç altında iken elde edilen yoğunluğa karşılık gelir. Presleme sonrası ulaşılan yoğunluktur. Östenitik paslanmaz çelik tozları, martenzit olanlara nazaran daha iyi preslenebilirliğe sahiptir. Preslenebilirlik; akma sınırı, numunenin sertliği, taneciklerin yumuşaklığı, numunenin boşluk oranı, tanelerin şekli ve boyutunun bir fonksiyonudur.

Metal tozları kalıpta şekillendirildiği takdirde tozun serbest olarak kalıp boşluğunu çok iyi ve tam olarak doldurması (yüksek akıcılık kabiliyeti) istenildiği gibi, kalıp içinde soğuk olarak preslendiğinde de (zımbalandığında) teorik yoğunluğa olduğunca yaklaşması sağlanır.

Malzeme ne kadar yumuşaksa, preslenebilirliği de o derece yüksektir. Preslenebilirlik toz tanelerinin preslemede kendi aralarındaki ve tanelerle kalıp arasındaki sürtünmeye de yakından bağlıdır.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü



1. DENEY: TOZ METALURJİSİ

Parçanın teorik yoğunluğu: örneğin Fe için ulaşılan green yoğunluk $6,65 \text{ gr/cm}^3$ ise , Fe: $7,87 \text{ gr/cm}^3$: $(6,65 : 7,87) * 100 = \% 84,5 \rightarrow \% \text{ Teorik yoğunluğu verir.}$

% 84,5 Dolu

%15,5 Gözenek

BÖLÜM 1.4: ELEK ANALİZİ, BOYUT DAĞILIMI VE ORTALAMA TANE BOYUTUNUN HESAPLANMASI

1.4.1 DENEYİN AMACI: Farklı boyutlardaki toz partiküllerinin boyutlarına göre sınıflandırılması ve ortalama toz tane boyutunun hesaplanması.

1.4.2 KULLANILAN ALET, CİHAZ VE MALZEMELER: Metal tozu, farklı göz açıklığında elekler, terazi.

1.4.3 TEORİK BİLGİ ve DENEYİN YAPILIŞI: Belirli orandaki tozun tane parçacıklarının şekillerine ve ağırlıklarına göre dağılımının hesaplanmasıdır. Bu yöntemde en üstte kalından (büyük gözlerden) inceye doğru alt alta dizilmiş olan eleklerin en üst gözüne kuru (nemsiz) belirli ağırlıkta (100 veya 50 gr'lık tartım) metal tozu konur ve eleklerden belirli süre titreştirilerek her bir elek üzerinde bu süre sonunda kalan taneler hassas olarak tartılır. Aşağıdaki gibi bir çizelge düzenlenir. Elek gözleri ve elek sayısı ile deneyin nasıl yapılacağı standartlarda belirtilmiştir. Eleklerin anti manyetik olması gerekir.

Çizelge 1.1 Elek Analizi Çizelgesi (örnek)

Elek göz açıklığı d (μm)	Elek üstü ΔR (% hacim)	Toplam elek üstü miktarı R (%)	Toplam elek altı miktarı D(%)	Her göz için ortalama tane boyutu da (μm)
0.400	0	0	100	0.45
0.315	5.5	5.5	94.5	0.36
0.200	20.5	26.0	74.0	0.26
0.100	42.0	68.0	32.0	0.15
0.063	23.0	91.0	9.0	0.08
0.040	6.6	97.6	2.4	0.05
0.040	2.4	100.0	0.0	0.02

Bu çizelgedeki değerlerden : $d_o = \sum \Delta R * d_a / 100$

d_o : Aritmetik ortalama tane çapı

ΔR : Her bir elek üstündeki miktar, %

R : Elek üstü miktar toplamı, %



1. DENEY: TOZ METALURJİSİ

d_a : Her elek için ortalama tane büyüklüğü, mm

D : Elekten geçen miktar, %

Örneğin :

$$d_o = (0 * 0.045) + (5.5 * 0.36) + (20.5 * 0.26) + (42 * 0.15) + (23 * 0.08) + (6.6 * 0.05) + (2.2 * 0.02) / 100 = 0.136 \mu\text{m} \text{ bulunur.}$$

BÖLÜM 1.5: PRESLEME

1.5.1 DENEYİN AMACI: Tozların kalıplarda şekillendirilerek farklı basınçlar için basınç-yoğunluk ilişkisinin belirlenmesi.

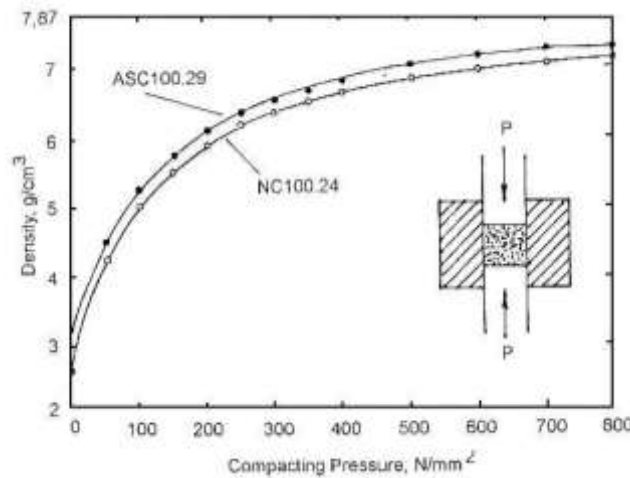
1.5.2 KULLANILAN ALET, CİHAZ VE MALZEMELER: Metal tozu, kalıp, pres.

1.5.3 TEORİK BİLGİ ve DENEYİN YAPILIŞI: Toz Metalurjisinde yoğunlaştırma ikinci önemli procestir. Presleme; hazırlanmış metal tozu karışımının önceden belirlenen yoğunluğa ulaşabilmesi için uygun preslerde kalıp ve zimbalar yardımı ile sıkıştırılmasıdır. Pres kalıbı içine doldurulan metal tozunu katı cisim haline getirir. Yüksek bir presleme derecesine ulaşabilmek için iyi şekil alabilir bir toz ve yüksek presleme basınçlarına ihtiyaç vardır. Preslemede ulaşılan yoğunluk toz metalurjisi ile imal edilen parçaların mekanik özelliklerini birinci derecede etkiler.

Presleme çoğunlukla soğuk (oda sıcaklığı) yapılmakla birlikte özel hallerde sıcak olarak da yapılır. Presleme ile metal tozuna, imal edilecek parçanın boyut ve şekline göre istenen düzeyde bir yoğunluk ve mekanik dayanım kazandırılır.

Kalıpta yoğunlaştırma işleminin üç temel aşaması vardır.

1. Kalıp boşluğuna belirlenen miktarda metal tozunun doldurulması,
2. Zimbalar yardımı ile basınçla tozun sıkıştırılması,
3. Şekillendirilmiş parçanın kalıptan çıkarılması.



Şekil 1.4 İki ticari demir tozu için yoğunluk-basınç ilişkisi



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü



1. DENEY: TOZ METALURJİSİ

- * Basınç \uparrow , Yoğunluk \uparrow , Gözenek \downarrow
- * Gözenek \uparrow , Yoğunluk \downarrow
- * Gözenek \uparrow , Dayanım \downarrow
- * Gözenek \uparrow , Yağlama yeteneği \uparrow

Gözeneklilik: Sinter burç, yağ pompası rotoru, dişliler, yatak malzemesi v.b. yerlerde kullanılıyor. (Parça imalatı tamamlandıktan sonra gözenek içindeki tozlar vakumlanır, vakum altında yağ verilir, gözeneklerin içindeki havayı alınarak boşluklara yağ pompalanır)

BÖLÜM 1.6: METAL TOZLARINA UYGULANAN SİNTERLEME PROSELERİ

1.6.1 DENEYİN AMACI: Sinterleme proses koşullarının yapı ve özelliklere etkisi

1.6.2 KULLANILAN ALET, CİHAZ VE MALZEMELER: T/M ile üretilmiş numune, atmosfer kontrollü fırın.

1.6.3 TEORİK BİLGİ ve DENEYİN YAPILIŞI: Sinterleme; preslenmiş toz malzemenin şeklini bozmadan yapılan ısıl işlemdir. Preste şekil verilmiş toz bu haliyle kullanılmaya elverişli değildir. Ancak sinterlemeyle gerekli dayanım artışı sağlanır. Bu işlemde belirli sıcaklık ve sürede toz taneleri arasında difüzyon meydana gelir ve zayıf mekanik bağlar, kuvvetli mekanik bağlara dönüşürler.

Sinterleme sıcaklığı ve süresi; sinterlemede parçalardan istenen özelliklere uygun bir sinterleme sıcaklığı ve süresi saptanmalıdır. Parçalardaki düşük yoğunluk ve dayanımın esas nedeni çok düşük sinterleme sıcaklığı ve süresidir. Sinterleme sıcaklığı tozun ergime sıcaklığına mümkün olduğu kadar yakın olmalıdır.

Çizelge 1.2 Bazı metal ve alaşımların sinterleme sıcaklık ve süreleri

Toz Malzemesi	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Sıcaklığında Bekleme Süresi (dk)
Bronzlar	760-871-820	10-20
Pirinçler	843-898	10-45
Bakır	843-898	12-45
Çelik, C'lu çelikler	1010-1148	8-45
Paslanmaz çelikler	1033-1287	30-60
Fe (ferrit)	1204-1482	10-600
Nikel	1010-1148	30-45
Alnico magnetler	1204-1301	120-150
Tungsten karbürler	1426-1482	20-30
Molibden	2054	120
Tungsten	2343	480



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü



1. DENEY: TOZ METALURJİSİ

KAYNAKLAR:

- [1] Toz Metalürjisi Ders Notları, Adem BAKKALOĞLU, 2015.
- [2] Toz Metalürjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, Randall M. GERMAN, 2007
- [3] Höganäs Handbook For Sintered Components, 1997.
- [4] Powder Metallurgy Science, Randall M. GERMAN, 1994.
- [5] ASM Handbook Volume 7, Powder Metallurgy, 1993.



2. ÇÖKELME SERTLEŞMESİ

2.1 AMAÇ

Isıl işleme cevap verebilen alüminyum alaşımlarında çökeltme sertleşmesi (yaşlanma) ısıl işlem prosesini uygulayarak alaşımın mekanik özelliklerindeki iyileşmeyi gözlemlemek.

Kimyasal kompozisyonu değiştirmeden ısıl yollar ile malzemenin sertliğini arttırmak.

2.2 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARIMDA ÇÖKELME SERTLEŞMESİ

Belirli alüminyum alaşımlarında ısıl işlemle sertlik ve dayanım gibi mekanik özelliklerin yükseltilmesi “çökeltme sertleşmesi” olarak tanımlanır. Çökeltme sertleşmesi uygulaması, çeliklerin martenzitik dönüşümle sertleştirilmesine benzerse de meydana gelen iç yapı olayları birbirlerinden farklıdır ve bu uygulama, alüminyum alaşımları ve diğer bazı metal alaşımlarında (örneğin; Cu-B, Fe-N...) yaygın olarak uygulanır.

Çökeltme sertleşmesi prosesi sayesinde örneğin havacılık sektöründe kullanıma uygun hafif ve yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip Al alaşımlarının geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

Çökeltme sertleşmesi ısıl işlemi üç aşamada gerçekleştirilir:

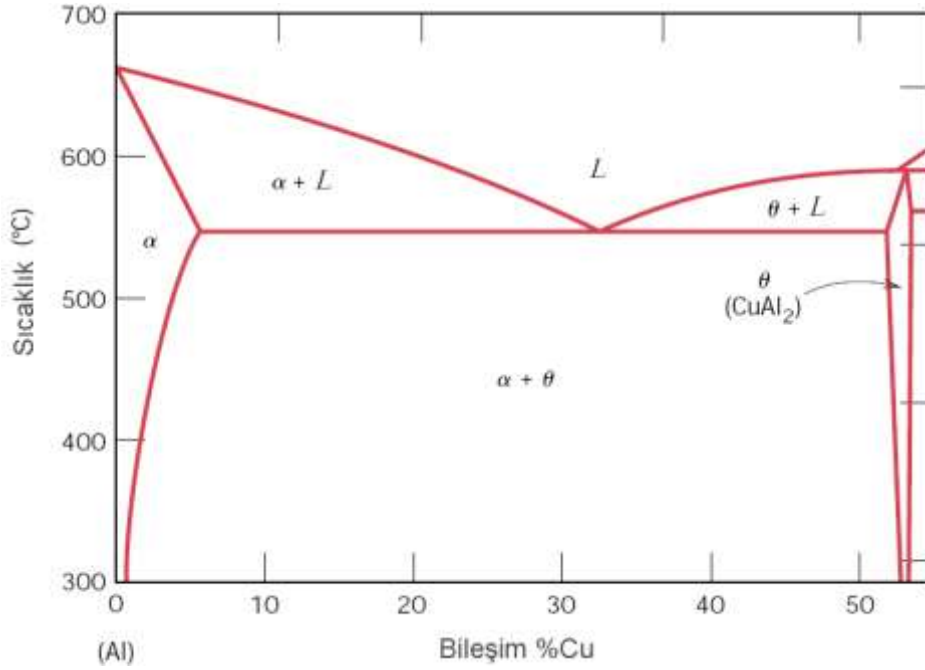
1. Çözeltiye alma işlemi: Alaşımın homojen hale getirilmesi amacıyla, yüksek sıcaklıkta tavlama (Homojenleştirme işlemi),
2. Quenching/Su verme: Su ortamında ani soğutma ile aşırı doymuş yapı elde etme,
3. Yaşlandırma (Doğal veya Yapay): Homojenleştirme sıcaklığının altındaki (20°C ila 300°C arasında) bir sıcaklıkta, belirli bir süre (1 saat ile birkaç hafta arasında) yaşlandırma işlemi.

Alaşımların çok farklı olan ergime sıcaklıklarına bağlı olarak, homojenleştirme ve yaşlandırma koşulları, geniş bir aralıkta değişim gösterir.

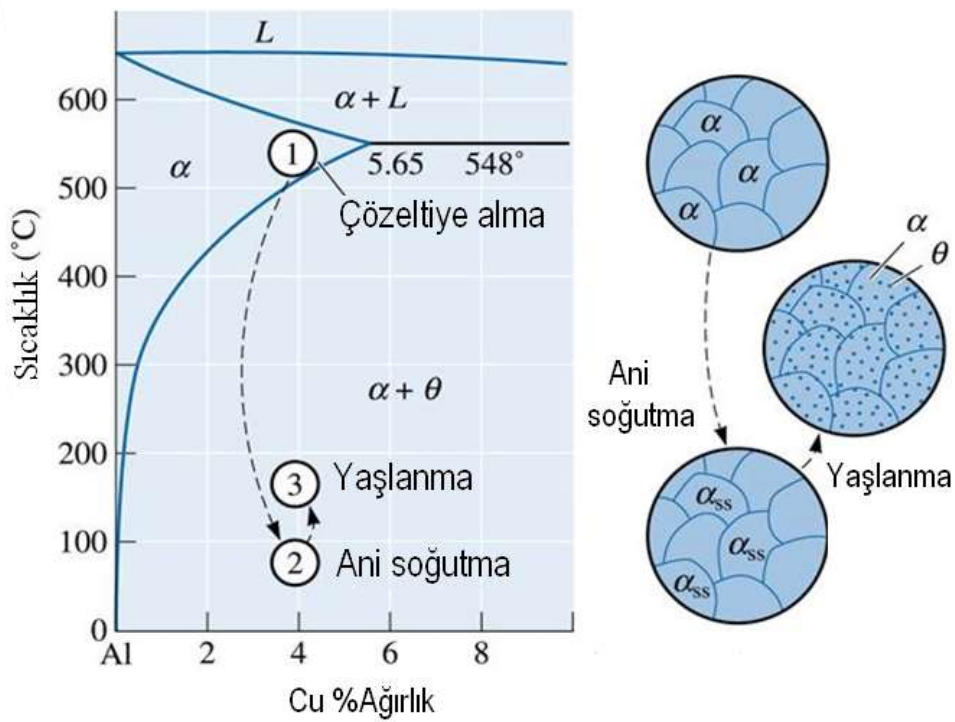
Bir alaşımın çökeltmeyle sertleşebilirliği için temel koşul alaşım elementinin çözünebilirliğinin düşen sıcaklıkla birlikte azalmasıdır. Şekil 1’de verilen Al-Cu denge diyagramından da görüldüğü gibi, Cu’nun çözünürlüğü sıcaklığın düşmesi ile birlikte azalmaktadır. Çözeltiye alma işleminin ardından katı eriyik ani soğutulmuş yapı elde edilir.

Üçüncü aşamada olan yaşlandırma işleminde aşırı doymuş yapı içerisinde ikincil fazın küçük partiküller halinde çökeltmesi sağlanır. Çökeltmenin başlangıcında, çökelti boyutu çok küçük olduğundan çökeltmeler deformasyon sırasında dislokasyonların hareketini çok az etkileyebilirler, bundan dolayı malzemenin sertliğinde önemli bir değişiklik görülmez. Fakat çökeltmelerin boyu arttıkça dislokasyon hareketleri zorlaşır. Dolayısıyla malzemenin dayanımı yükselir (Şekil 2).

Alüminyum alaşımları için oda sıcaklığında uzun sürede yaşlandırma işlemi gerçekleştirilirse (birkaç saat ile birkaç hafta arasında) bu proses “doğal yaşlandırma” olarak isimlendirilir. Eğer bu proses oda sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta gerçekleştirilirse (100°C ila 200°C arasında) yaşlanma işlemi hızlandırılır. Bu tür yaşlanma ise “yapay yaşlandırma” olarak isimlendirilir.



Şekil 2.1 Alüminyumun içerisinde bakırın sıcaklığa bağılı olarak çözünürlüğü.



Şekil 2.2 Yaşlanma ısııl işlem kademeleri.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
2. DENEY: ÇÖKELME SERTLEŞMESİ



2.3 DENEY MALZEMESİ ve EKİPMANLAR

- Sertleşebilir alüminyum alaşımından yapılmış numuneler,
- Solüsyona alma işlemi için 700°C'ye ısıtılabilen bir fırın,
- Ani soğutma ortamı.
- Yaşlanma işlemi için 300°C'ye ısıtılabilen bir etüv,
- Brinell veya Vickers sertlik ölçme aleti,

2.4 DENEYİN YAPILIŞI

Deney malzemesi olarak AlMgSi ve AlCuMg gibi sertleşebilir alaşımlardan üretilmiş numuneler kullanılabilir. Deney malzemesinin kalınlığı en az 2 mm olmalıdır. Deneyin yapılışı örnek olarak %4Cu, %0,8Mg, %0,5Mn içeren AlCuMg alaşımı için açıklanabilir. Solüsyona alma işlemi 500°C'lik bir fırında yaklaşık 30 dakika süre ile gerçekleştirilir. Solüsyona alma işleminden sonra numuneler fırından mümkün olduğunca çabuk alınarak derhal soğuk suya daldırılarak ani soğutma yapılır.

Çökeltme sertleşmesi alüminyum alaşımlarında ani soğutmadan hemen sonra başladığı için ilk 15 dakika içerisinde yapılmalıdır. Yaşlanma işlemi için üç sıcaklık seçilir: oda sıcaklığı, 150 °C ve 250 °C. Oda sıcaklığındaki yaşlanma (doğal yaşlanma) çok yavaş seyrederek. Çoğu zaman sertlik artışı birkaç saat sonra başlar ve belirli aralıklarla birkaç hafta sürdürülür.

Her iki sıcaklıkta yapılan suni yaşlanmada sertlik ölçmeleri kısa aralıklarla yapılır. Örneğin, 150 °C için ½, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 saat sonra ve 250 °C için ¼, ¾, 1,5, 2,5, 3,5, 5 saat sonra sertlik ölçümü yapılır.

Suni yaşlanma için sıcaklığı ayarlanabilir etüv kullanılır. Sertliklerin ölçülmesi için parçalar kısa süre etüvden alınıp derhal suda soğutulur. Etüv dışında geçen süre sonucu etkileyeceğinden sertlik ölçme işlemleri hemen yapılmalıdır.

Alüminyum alaşımlarında 150°C'deki yaşlanma işleminde birkaç saat boyunca sabit kalabilen sertlik değerleri görülebilir. Ancak işlem devam ettiğinde tekrar sertlik artışı görülür. Suni yaşlanmada (doğal yaşlanmada da olabilir) önce Guinier-Preston bölgelerinin oluştuğu ve devam eden yaşlanmada stabil olmayan intermetalik fazının oluşmasıdır.

Deney esnasında sertlik yükselişinde düzensizlikler ve geniş dağılımlar görülebilir. Bunun sebebi, deneylerin dikkatli yapılmaması ve deney malzemesindeki homojensizlikler olabilir. Bu nedenle, deney numunesi sayısı mümkün olduğunca fazla olmalıdır.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deneysel Föyü
2. DENEY: ÇÖKELME SERTLEŞMESİ



2.5 DEĞERLENDİRME

Değerlendirme yaşlanma süresine bağlı olarak sertlik değişiminin grafik üzerinde belirtilmesiyle yapılır (Şekil 2 ve Şekil 3). Yaşlanma süresi çok uzun olduğunda zaman için logaritmik skala kullanılabilir. Değişik yaşlanma sıcaklıklarında süreye bağlı sertlik değişim karakteristiğinin tespiti için, farklı yaşlanma sıcaklıklarında da deneysel çalışma yapılmalıdır.

Alüminyum alaşımları için örnek olarak açıklanan bu deney sistemi, çökeltme sertleşmesi ile sertleşebilen diğer metal alaşımlarına da o alaşımlara uygun sıcaklık ve süreler için uygulanabilir.

2.6 RAPORDA BULUNMASI GEREKLİ BİLGİLER

Deneysel sonrası hazırlanacak olan raporda, genel açıklamaların dışında şu bilgiler bulunmalıdır:

1. Test edilen malzemenin türü
2. Test edilen malzemenin boyutları ve teknik resmi
3. Deneyde kullanılan donanımlar hakkında kısa tanıtıcı bilgi
4. Deneylerin uygulandığı koşullar ve deneyin seyri
5. Deneyde bulunan sonuçlar (diyagram, cetvel, açıklama)

Deneysel esnasında genel kurallardan sapmalar var ise nedenleri ve sonuca etkiler



3. DENEY: KOROZYON

3. KOROZYON DENEYLERİ

BÖLÜM 3.1: ÇİNKONUN ASİDİK ÇÖZELTİDEKİ KOROZYONU

3.1.1 DENEYİN AMACI: Çinkonun asidik çözelti içindeki elektrokimyasal davranışının incelenmesi.

3.1.2 KULLANILAN ALET, CİHAZ VE MALZEMELER: Beher, cam huni, büret, puar, kurutma makinesi, terazi, zımpara, HCl çözeltisi, çinko, misina ip.

3.1.3 TEORİK BİLGİ

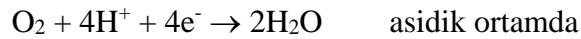
Elektrokimyasal korozyon, metallerin sulu ortamlarda bozunmaya uğramasıdır. Metal-ortam sisteminde elektrokimyasal hücre oluşumu ile kendiliğinden meydana gelen elektrokimyasal korozyonda dışarıdan enerjiye gereksinim yoktur.

Elektrokimyasal korozyonun gerçekleşmesi için sistemde 5 elemanın bulunması zorunludur. Bunlar; anot, katot, arayüzey, elektronik iletken ve elektrolitik iletkenidir. Elektrokimyasal korozyon süresince anotta yükseltgenme reaksiyonu gözlenirken, katotta ortamın pH durumuna göre farklı indirgenme reaksiyonları meydana gelir. Gerçekleşen tepkimeler şu şekildedir:

Anotta;



Katotta;



Korozyon, anot bölgelerinde meydana gelir. Katotta ise katot reaksiyonları gerçekleşir, metalin bu bölgelerinde bozunma meydana gelmez.

Korozyon deneylerinin kantitatif olarak değerlendirilmesinde, çeşitli yöntemler mevcuttur. Kütle kaybı yönteminde, deney numunesi deney öncesi ve sonrasında tartılarak meydana gelen ağırlık kaybı hesaplanıp aşağıdaki formül yardımıyla korozyon hızı hesaplanır.

$$H = K \cdot \Delta G / A \cdot d \cdot t$$

H: korozyon hızı

G: ağırlık kaybı (gr) ($\Delta G = G_1 - G_2$)

A: çözeltiliye maruz kalan yüzey alanı (cm^2)

d: metalin yoğunluğu (gr/cm^3)

t: deney süresi (sn)

K: istenen korozyon hız birimi için sabit bir sayı (mpy için 3.45×10^6)

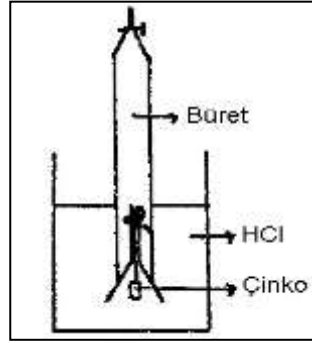


3. DENEY: KOROZYON

Elektrokimyasal korozyon olaylarındaki katodik reaksiyonların hidrojen veya oksijen redüksiyonu olması, bazı durumlarda, deney sırasında açığa çıkan gazın miktarının belirlenerek korozyon hızının saptanmasında kullanılmasına olanak verir. Çok düşük korozyon hızlarında, metal numunedeki kütle kaybından daha çok, korozif çözültideki metal iyon konsantrasyonunun artışının saptanması daha sağlıklı sonuçlar oluşturur. Korozyon hızının saptanmasında sağlıklı ve doğru sonucu verecek yöntem seçilmelidir.

3.1.4 DENEYİN YAPILIŞI

Çinko levhadan belli boyutlarda kesilen ve bir tarafından delinen numunenin yüzeyi zımparalandıktan sonra yıkanır ve ultrasonik banyo içinde yüzeyindeki yağ ve kirlere arındırılır. Boyutları ve ağırlığı ölçülen numune, misina ipi yardımı ile huninin altına sabitlenir. Huni bir bürete geçirilerek, pH'sı 1 olan HCl çözeltisi ile dolu behere ters olarak daldırılır (Şekil 1). Bürette belli bir değer çizgisine kadar çözelti çekilir. Büretteki çözelti seviyesindeki düşme, her 3 dakikada bir kaydedilir. Büretteki çözelti seviyesi sıfıra geldiğinde ise deney sonlandırılır ve süre kaydedilir. Deneyin sonunda numune çözültiden çıkarılır, yıkanır, kurutulur ve tekrar tartılır.



Şekil 8.1 Deney düzeneği.

3.1.5 İSTENENLER

1. Anodik ve katodik reaksiyonları yazınız.
2. Çinkonun deney sonucunda ağırlığında meydana gelen azalmadan yararlanarak toplam korozyon hızını mpy cinsinden hesaplayınız.
3. Büretteki gaz hacmi okumalarınızdan yararlanarak, çözünen çinko miktarı (mg)–zaman (dk) eksenlerini kullanarak zamana bağlı olarak korozyon hızı değişim grafiğini çizin, bu değişimi irdileyin ve korozyon hızını bulunuz.
4. Ağırlık kaybı yoluyla belirlenen korozyon hızı ile açığa çıkan hidrojen gazının hacminden giderek belirlenen korozyon hızı birbirine uymakta mıdır? Uymuyorsa nedenlerini belirtiniz.



3. DENEY: KOROZYON

BÖLÜM 3.2: GALVANİK KOROZYON

3.2.1 DENEYİN AMACI: Galvanik korozyonda katot ve anot durumunda olan metallerin yüzey alanlarının ve çözeltinin karıştırılmasının korozyon hızına etkisinin saptanması.

3.2.2 KULLANILAN ALET, CİHAZ VE MALZEMELER: Beher, manyetik karıştırıcı, ultrasonik temizleyici, 1Ω direnç, 2 adet elektrot tutucusu, multimetre cihazı, çelik ve bakır levhalar, farklı no'da zımpara, % 3.5'lük NaCl çözeltisi, etanol.

3.2.3 TEORİK BİLGİ

Herhangi bir sistemde oluşan potansiyel farklılığı, birçok nedenlerden kaynaklanabilir:

- Farklı metallerin temas etmesi,
- Metale temas eden çözeltide farklı bölgelerde konsantrasyon farkı bulunması,
- Metalde farklı gerilme bölgelerinin bulunması,
- Metalde içyapı farklılığının olması,
- Sıcaklık farklılıkları.

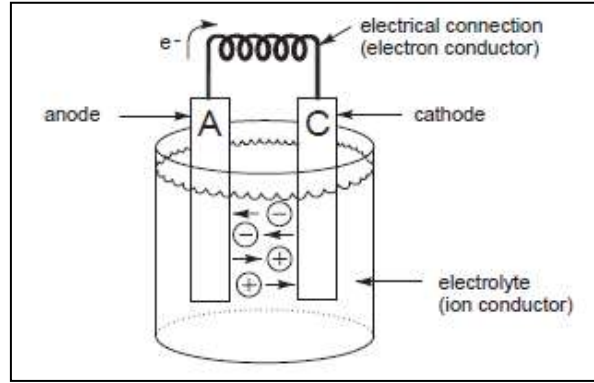
Galvanik korozyon birbirleriyle temas halinde olan farklı türden metal ve alaşımların aynı ortama terk edilmesi halinde meydana gelen korozyon türüdür. Birbirleriyle temas eden metallere elektrot potansiyeli daha negatif olan metal, anot olarak davranarak çözünür, diğeri ise katot olarak davranarak korozyondan korunur. Metaller arasındaki potansiyel farkı arttıkça galvanik korozyon olasılığı da artar. Ayrıca ortamdaki hareketlilik ile metallerin yüzey büyüklüklerinin de önemi vardır. Aktif metalin soy metallere göre daha küçük bir yüzey alanına sahip olması durumunda, küçük bir anot alanı büyük bir katot alanına elektron yetiştireceğinden korozyon hızlı olur.

3.2.4 DENEYİN YAPILIŞI

Bu deneyde bakır ve çelik çifti kullanılır. Önce numunelerin yüzeyleri zımparalanarak temizlenir, yıkanır ve yağı giderilir. Daha sonra yüzeylerde çözeltiye daldırılacak kısımlar işaretlenir. Önce eşit boyuttaki bakır ve çelik levhalar tahta tutuculara yerleştirilir ve %3'lük NaCl çözeltisine daldırılır (Şekil 2). Elektrotlar arasına bağlı bir direnç üzerinden sistemden geçen akım, 3 dakika beklendikten sonra kaydedilir. Daha sonra çözelti karıştırılmaya başlanır ve 3 dakika sonra akım yeniden ölçülür. Aynı işlemler önce “büyük bakır-küçük çelik”, sonra “küçük bakır-büyük çelik” plakalar kullanılarak tekrarlanır.



3. DENEY: KOROZYON



Şekil 3.2 Galvanik korozyon deney düzeneği.

8.2.5 İSTENENLER:

1. Anodik ve katodik reaksiyonları ayrı ayrı belirterek yazınız.
2. $A_{\text{anot}}/A_{\text{katot}}$ - akım arasındaki ilişkiyi grafik halinde hem karıştırmalı hem de karıştırmaz ölçümler için çizin ve irdeleyiniz.



4. KARBOTERMİK REDÜKSİYON

4.1 DENEYİN AMACI

Bu deneyin amacı, demirli hammaddelerin karbon kullanılarak katı halde redüklenme (karbotermik redüksiyon) davranışlarının termodinamik ve kinetik açıdan incelenmesidir.

4.2 TEORİK BİLGİLER

Demir çelik sektörü, demir cevherinin yüksek fırınlarda veya hurdanın ark ocaklarında ergitilmesiyle elde edilen slab ve kütüğün farklı işlemlerden geçirilerek istenilen kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip mamüller üreten bir sektördür. Nihai çelik ürünlerinin sayısız çeşidi ve kullanım alanı vardır. Değişen tüketici ihtiyaçları, teknolojiye görülen gelişmeler ve rekabet gibi unsurlar demir çelik sektöründeki ürün çeşitliliğini daha da arttırmaktadır. Ağır sanayi sektörlerinden en önemlisi olan demir çelik sektörü; inşaat, altyapı, otomotiv, beyaz eşya ve makine sanayi gibi pek çok önemli endüstriye hammadde sağlamaktadır. Bu nedenle bir ülkenin sanayileşmesi güçlü bir demir çelik sektörüne ve tüketimine sahip olmasıyla doğrudan ilişkilidir [1-3].

Demir çelik ürünleri üretimi için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar, entegre tesislerde cevherden ve elektrik ark ocaklı tesislerde hurdadan yapılan üretimdir. Entegre tesislerde demir çelik üretim süreci, demir cevherinin sinterleme veya peletleme işlemleri sonucunda hazırlanması ya da parça cevherin doğrudan doğruya yüksek fırına şarjı ile başlamaktadır. Yüksek fırınlarda kok kömürünün yardımı ile cevher indirgenmekte ve sıvı ham demir elde edilmektedir. Elde edilen sıvı ham demir ise bazik oksijen konvertörlerinde çeliğe dönüştürülmektedir. Elektrik ark ocağında ise hurdalar ark ocaklarında ergitilerek istenilen kimyasal bileşimde çelik elde edilmektedir [4-6].

Dünya demir çelik üretiminde Çin, Japonya ve A.B.D. ilk sıralarda yer alan ülkelerdir. 2014 yılında 1.637 milyon ton olarak gerçekleşen Dünya demir çelik üretiminin yarıya yakını Çin tarafından gerçekleştirilmiştir. Türkiye ise demir çelik üretiminde %2,08'lik bir pay ile Dünya'da 8., Avrupa'da 2. sırada yer almaktadır. 2014 verilerine göre, ülkemizde üretilen 34,035 milyon tonluk ham çeliğin % 30,21'ine karşılık gelen 10,283 milyon tonluk kısmı yüksek fırına dayalı üretim yapan entegre tesislerde, % 69,79'una karşılık gelen 23,752 milyon tonluk kısmı ise 28 adet elektrik ark ocaklı tesiste gerçekleştirilmiştir [1-3].

Demir doğada en çok oksit formunda hematit (Fe_2O_3) ve manyetit (Fe_3O_4) şeklinde bulunur. Oksitlerin, yüksek oksijen afinitesine sahip indirgeyicilerle (CO , H_2 , C) yapılarındaki oksijenin uzaklaştırılıp alt oksitlerine ve/veya metalik hale dönüştürülmesine redüksiyon (indirgenme) adı verilir.

Demir oksitlerin redüksiyon işlemi teknolojik olarak iki farklı şekilde yapılmaktadır. Bunlardan ilki, entegre tesislerde çelik üretiminin ilk aşaması olan sıvı ham demir üretiminin gerçekleştirildiği yüksek fırınlarda, demir oksitlerin kokun yanmasıyla oluşan CO_2 gazının Boudouard Reaksiyonu gereğince karbon ile reaksiyonu sonucunda oluşan CO gazı ile indirgenmesidir (indirekt redüksiyon). Yüksek fırında indirgenmenin bir kısmı ise fırının alt bölgelerinde katı karbon ile direkt olarak gerçekleşmektedir (direkt redüksiyon). Yüksek fırınların tüyer bölgesinde sıcaklık $2000\text{ }^{\circ}C$ 'ye kadar çıkmakta ve sonuç ürün olarak sıvı ham



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
4. DENEY: KARBOTERMİK REDÜKSİYON



demir üretilmektedir. Modern bir yüksek fırının günlük sıvı ham demir üretimi 10.000 ton üzerindedir [4-6].

Diğer redüksiyon yöntemi ise, demir oksitlerin katı veya gaz indirgeyicilerle ergime olmaksızın katı fazda metalik hale dönüştürüldüğü proseslerdir. Doğrudan indirgeme olarak bilinen bu yöntemde sonuç ürün metalizasyon oranı yüksek sünger demirdir (Direct Reduced Iron - Direkt Redüklenmiş Demir). Elektrik ark ocaklarında katma değeri yüksek ürün üretimi için, düşük iz elementi ve bileşim kararlılığından dolayı sünger demir kaliteli hurdaya alternatif bir üründür. Bu yöntem yüksek fırınlar kadar yaygın olmamakla birlikte endüstriyel öneme sahiptir. 2014 yılında dünyada 74,6 milyon ton sünger demir üretilmiştir. Günümüzde gaz indirgeyici kullanan MIDREX ve HYL/Energiron prosesleri en yaygın sünger demir üretim yöntemleridir. SL/RN prosesi ise indirgeyici olarak kömür kullanan tesisler arasında en yaygın olanıdır [7,8].

Sünger demir; toz, parça ya da pelet halindeki demir cevherinin gaz ya da katı redükleyici kullanılarak ergime sıcaklığının altında (950 °C - 1100 °C'de) redüklenmesi sonucu elde edilen ürünün adıdır. Elde edilen bu ürün, yüksek oranda metalik demir içermesinin yanında, indirgenmemiş demir oksitler ile bir miktar karbon ve cevherden gelen gang bileşenlerini taşımaktadır. Sünger demirin;

- toplam demir içeriği genellikle % 85' in üzerindedir,
- metalizasyon derecesi % 90-95 arasında değişir,
- karbon içeriği % 1-2,5 arasındadır,
- gang içeriği % 2-4 arasında değişir,
- kükürt oranı kükürtsüz gazla çalışan proseslerde % 0,005' ten küçük, kükürt içeren kömür ve kireçtaşı kullanan proseslerde yaklaşık % 0,02' dir,
- görünür yoğunluğu $\leq 4 \text{ g/cm}^3$ kadardır.

Sünger demirin, ortam koşullarına dayanacak şekilde stoklanmasına ve ark ocağına daha kolay şarj edilmesine imkan sağlayan HBI (Hot Briquetted Iron-Sıcak Briketlenmiş Demir), pelet ve parça sünger demirin yüksek basınç altında 650 °C'den yüksek sıcaklıkta sıkıştırılmasıyla üretilir [9].

Ülkemizde üretimin büyük kısmının hurdayı hammadde olarak kullanan elektrik ark ocaklı tesisler tarafından gerçekleştirilmesi ve ülkemizde açığa çıkan hurda miktarının söz konusu kullanımdan çok daha düşük olması, hurda konusunda ülkemizi dışa bağımlı hale getirmektedir. Türkiye demir çelik sektörü, ark ocaklarında hammadde olarak kullandığı hurdanın %30'unu yerli kaynaklardan %70'ini ise ithalat yolu ile temin etmektedir. Entegre tesislerin ihtiyaç duyduğu hammadde olan demir cevherinin %40'ı yerli, %60'ı ise ithalat yoluyla karşılanmaktadır. 2013 yılında 19,7 milyon ton demir-çelik hurdası ithal edilmiştir. ITC-Trade Map istatistiklerine göre; 2010 yılında dünyanın en büyük demir çelik hurda ithalatçısı olan Türkiye, bu değer ile Dünya hurda ithalatının %16'sını gerçekleştirmektedir [8].



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
4. DENEY: KARBOTERMİK REDÜKSİYON



Hurdadaki bu dışa bağımlılığı gidermek üzere cevherden üretim yapan alternatif demir çelik teknolojilerinin incelenmesi gerekmektedir. Alternatif demir çelik teknolojilerinin ortaya çıkmasındaki diğer bazı etkenler ise şunlardır:

- hammadde maliyetinin düşürülmesi,
- verimlilik artışı ile ürün maliyetinin azaltılması,
- ürün kalitesinin artırılması,
- yeni ürün geliştirme,
- enerji tasarrufu,
- geri kazanımın artırılması,
- çevre problemlerinin çözümü.

Alternatif demir çelik üretiminin temelini, yüksek fırının üst tarafında gerçekleşen zayıf ısı veren reaksiyonlardan oluşan katı ön indirgeme ile demir cevherinden sünger demir üretimi oluşturmaktadır [9].

Sünger demir üretiminde hammadde olarak demir cevheri peleti kullanımına sıkça rastlanmaktadır. Demir cevheri peletleri, aglomerasyon ve sertleştirme yoluyla demir yönünden zengin ince taneli mineraller olarak elde edilen endüstriyel şarj malzemeleridir. Demir peleti diğer şarj elemanlarından (demir cevheri parçaları ve sinter cevher) daha yüksek maliyete sahiptir. Bu dezavantajına rağmen sahip olduğu özellikler sayesinde yüksek fırının vazgeçilmez girdilerinden biridir. Peletlerin yüksek fırın için ideale yakın şarj malzemesi olmasının nedenleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- yüksek demir içerikleri (% 65-67 Fe),
- yüksek dayanım ve taşınabilme olanakları sayesinde ufalanıp toz cevher haline dönmeme konusunda üstün dirençleri,
- birbirine yakın boyutlarda olmaları nedeniyle iyi gaz geçirgenlikleri ve düzgün gaz dağılımı,
- yüksek porozitelerinden dolayı iyi redüklenebilme özellikleri.

İstenilen özellikleri sağlamak koşuluyla yüksek fırında pelet kullanılması, kok tüketiminin azaltılması, cüruf miktarının azalması, üretim hızının artışı gibi olumlu sonuçların alınmasını sağlamaktadır [9].

İndirgenme Reaksiyonunun Termodinamik İncelenmesi

Demir oksitlerin karbotermik redüksiyon ile metalik demire indirgenmesi demir-oksijen-karbon termodinamik dengesinin indirgenme koşuluna doğru bozularak hammaddelerin içerdiği oksijenin indirgeyicilerle uzaklaştırılması ile gerçekleşmektedir. Bu koşulda demir oksitler seri reaksiyonlar neticesinde metalik demire indirgenmektedir [4-6].

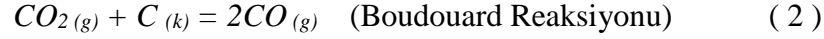
Yüksek fırında demir oksitli hammaddelerin indirgenmesi büyük oranda karbonun yanmasıyla oluşan CO₂ gazının yüksek ortam sıcaklığında kararsız olması nedeni ile (bkz. Ellingham



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
4. DENEY: KARBOTERMİK REDÜKSİYON



Diyagramı) karbonla tekrar reaksiyona girmesi sonucu oluşan indirgeyici CO gazıyla gerçekleştirilir.



Hematitin, CO/CO₂ gaz karışımıyla demire indirgenmesi üç kademede gerçekleşir. Bu reaksiyonlar ve reaksiyonlara ait standart serbest enerji değişiminin (ΔG°_T) sıcaklığa bağlı ampirik ifadeleri (3), (4) ve (5) nolu bağıntılardaki gibidir.



Demir oksitlerin indirgenme koşullarının belirlenebilmesi için öncelikle aşağıdaki bağıntılar yardımı ile denge koşullarının belirlenmesi gerekir.

$$\Delta G_T = 0 \quad (\text{Denge Şartı}) \quad (6)$$

$$\Delta G^{\circ}_T = -RT \ln K_p \quad (7)$$

$$K_p = \frac{a^2_{Fe_3O_4} \cdot P_{CO_2}}{a^3_{Fe_2O_3} \cdot P_{CO}} \quad (8)$$

Fe₃O₄ ve Fe₂O₃ saf kabul edildiğinde aktiviteleri “1”e eşittir. Bu durumda;

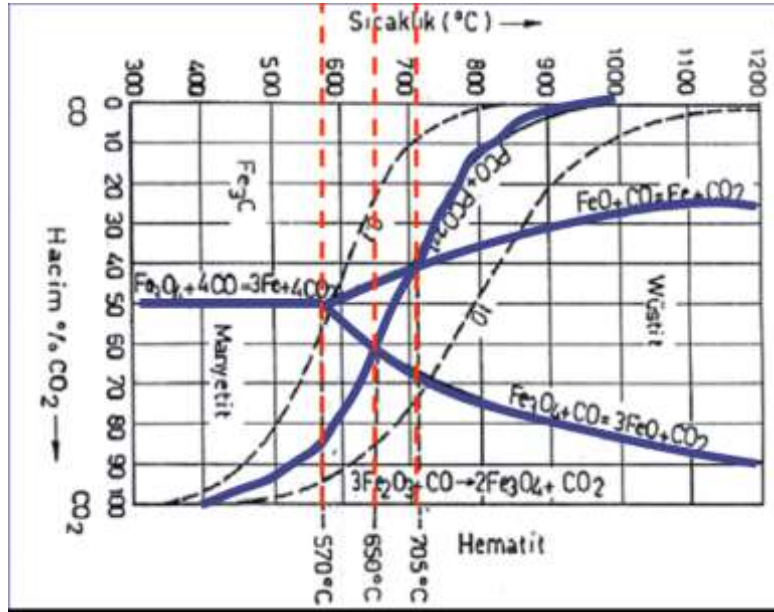
$$\Delta G^{\circ}_T = -RT \ln \frac{P_{CO_2}}{P_{CO}} = RT \ln \frac{P_{CO}}{P_{CO_2}} \quad (9)$$

Buradan T₁ sıcaklığında indirgenme reaksiyonlarını dengede tutan $\left(\frac{P_{CO}}{P_{CO_2}} \right)_D$ oranı hesaplanabilir. Demir oksitlerin indirgenmesi için temel termodinamik şart her bir reaksiyon için aşağıdaki gibidir.

$$\Delta G_T < 0 \quad (10)$$

$$\left(\frac{P_{CO}}{P_{CO_2}} \right)_{Ortam} > \left(\frac{P_{CO}}{P_{CO_2}} \right)_{Denge} \quad (11)$$

(2) ve (9) no'lu reaksiyonlardan yararlanılarak çizilen Baur-Glaessner diyagramı ve Boudouard eğrileri Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Bauer-Glaessner diyagramı ve Boudouard eğrileri

Şekil 1'e göre $P_{CO} + P_{CO_2} = 1$ atm toplam basıncında demir oksitlerin metalik demire indirgenmesi ancak 705 °C'nin üzerinde mümkün olmaktadır, 705 °C'nin altında hematit manyetite, manyetite wüstite dönüştürülebilmektedir. Şekil 1'den, 650 ile 705 °C arasında manyetite-wüstite dönüşümünün, 650 °C'nin altında ise hematit manyetite dönüşümünün gerçekleştiğini görmek mümkündür. $P_{CO} + P_{CO_2}$ toplam basıncı yükseldikçe demir oksitlerin indirgenme sıcaklığının daha yüksek sıcaklıklara kayarak zorlaştığını görmek mümkündür [4-6].

İndirgenme Reaksiyonunun Kinetik İncelenmesi

Bir reaksiyonda reaksiyon hızı reaksiyona katılan bir maddenin miktarsal özelliklerinin zamana göre değişimi ile belirlenebilir. Buna göre reaksiyon hızı;

$$r = -\frac{dC}{dt} \text{ bağıntısı ile verilebilir.} \quad (12)$$

Reaksiyon hızı, zamana bağlı olarak çizilen konsantrasyon değişiminin eğiminden hesaplanabilir. Homojen bir reaksiyonun hızını etkileyen en önemli parametreler sıcaklık ve konsantrasyondur.

k = reaksiyon hız sabiti (sıcaklığa bağımlı)

$$r = -\frac{dC}{dt} = kC^n \quad (13)$$

n = reaksiyon derecesi

Kimyasal reaksiyonların hızını etkileyen en önemli parametrelerden biri sıcaklıktır. Homojen reaksiyonlarda sıcaklık ile hız sabiti arasındaki ilişkiyi veren eşitlik *Arrhenius* eşitliğidir.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
4. DENEY: KARBOTERMİK REDÜKSİYON

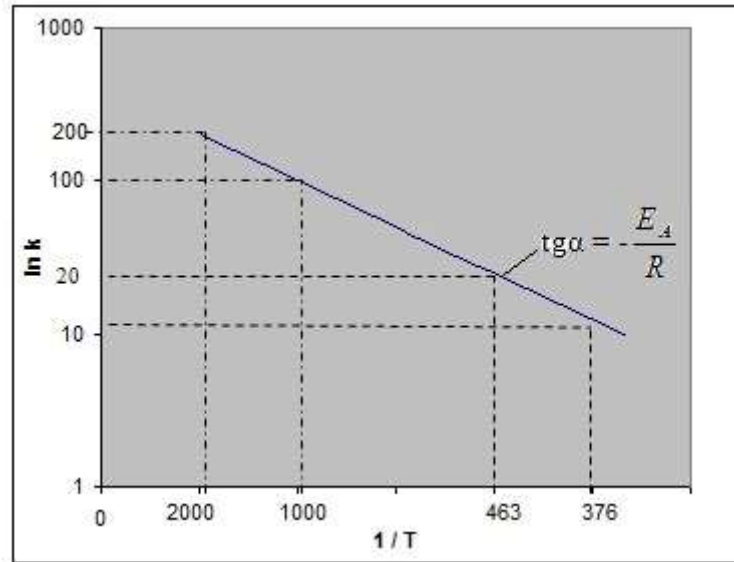


$$k=A.e^{-E_A/RT} \quad (14)$$

Bu denklemde E_A aktivasyon enerjisidir. Aktivasyon enerjisini belirlemek için en az iki sıcaklık için k hız sabitlerinin belirlenmiş olması gereklidir. Bağtıdaki A frekans (sıklık) faktörü, R gaz sabitidir ($R=8.314$ J/mol K). Arrhenius eşitliğinden görüldüğü gibi reaksiyon hızı sıcaklığa üssel fonksiyon olarak bağlıdır. Sıcaklıktaki küçük bir değişim hız sabitini çok fazla arttırmaktadır. Denklemde her iki tarafın logaritması alınırsa aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\ln k = \ln A - \frac{E_A}{RT} \quad (15)$$

Aktivasyon enerjisini hesaplamak için $\ln k - 1/T$ değişiminin grafiği çizildiğinde elde edilen doğrunun eğimi ($-E_A / R$) değerine eşittir (Şekil 2).



Şekil 4.2 Reaksiyon hızının sıcaklıkla değişimi

Reaksiyonlar bir veya birden fazla faz arasında gerçekleşmelerine göre sırasıyla homojen ve heterojen reaksiyonlar olarak adlandırılırlar. Demir oksitli hammaddelerin indirgenmesi heterojen reaksiyondur. Heterojen reaksiyonlar birden fazla faz arasında gerçekleşen reaksiyonlardır ve reaktanlar arasında bir arayüzey varlığı ile karakterize edilirler. Örneğin bir katı-gaz reaksiyonunda arayüzey katının gaz ile temastaki dış yüzeyidir. Bu durumda bütün heterojen reaksiyonları arayüzeylerine bağlı olarak beş grupta toplayabiliriz: Katı-Gaz, Katı-Sıvı, Katı-Katı, Gaz-Sıvı, Sıvı-Sıvı [10-13].

Heterojen reaksiyonların birden fazla faz arasında gerçekleşmesi aşağıdaki şekilde olmaktadır [10,11]:

1. İndirgeyici gazın reaksiyon arayüzeyine taşınması (difüzyonu)
2. Arayüzey reaksiyonları.
 - a) İndirgeyici gazın reaksiyon arayüzeyine adsorblanması.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
4. DENEY: KARBOTERMİK REDÜKSİYON



- b) Arayüzeyde kimyasal reaksiyon.
- c) Reaksiyon sonucu oluşan reaksiyon ürünlerinin desorbsiyonu.

3. Reaksiyon sonucu oluşan reaksiyon ürünlerinin arayüzeyden taşınması (difüzyonu)

Genellikle yukarıda sıralanan adımlardan birinin hız sabiti diğerlerine göre oldukça düşük olur. Bu durumda bu adım hızı kontrol eden adımdır ve bu adımın hızı da toplam reaksiyon hızını belirler. Heterojen reaksiyonlar, en yavaş adıma bağlı olarak:

- **Difüzyon Kontrollü**
- **Kimyasal Reaksiyon Kontrollü**

Bu iki adımın hız sabitlerinin eşit olması durumunda ise;

- **Karışık Kontrollü** olarak gelişir.

Heterojen reaksiyonlarda ara yüzey alanı, reaksiyona giren maddelerin bir fazdan diğerine taşınmasında taşınan madde miktarı ara yüzey alanına bağlı olduğu için, son derece önemlidir. Katı madde ile gerçekleştirilen reaksiyonlarda küçük taneli katılar büyük yüzey alanına sahip olduklarından büyük tanelilerden daha hızlı reaksiyon verirler [10-13].

Sıvı veya gaz ile reaksiyona giren katı maddenin geometrik şekli, ilgili reaksiyonların hızını belirlemede önemli rol oynar. Katı madde disk veya plaka biçimli ise, yüzey alanının reaksiyon boyunca sabit kaldığı varsayılır. Çünkü disk ve plakada reaksiyon, yüzeyden derine yüzey alanını koruyarak ilerler. Fakat eğer katı madde küre veya pelet biçimli ise, reaksiyon kürenin dış yüzeyinden içeriye doğru ilerler. Bu durumda reaksiyon yüzeyinin oluşturduğu çap küçüleceğinden, yüzey alanı reaksiyon boyunca devamlı değişir ve bu nedenle de reaksiyon hızı azalır. Reaksiyona giren katılar genellikle küre olarak kabul edildiğinden heterojen reaksiyonda kimyasal reaksiyon için hız sabiti ve reaksiyonun gerçekleşme oranı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$1 - (1 - R)^{1/3} = kt \quad (16)$$

R = Reaksiyonun Gerçekleşme oranı (n, x, F, L harfleri ile gösterilebilir.)

W_o = İlk ağırlık

$$R = \frac{W - W_o}{W_o} \quad (17)$$

W = Son ağırlık

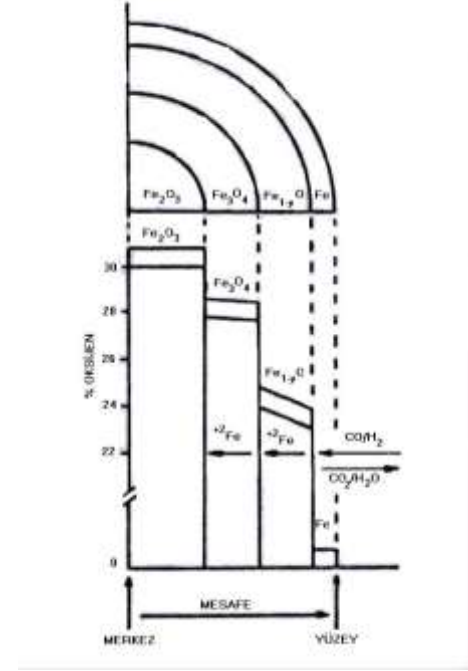
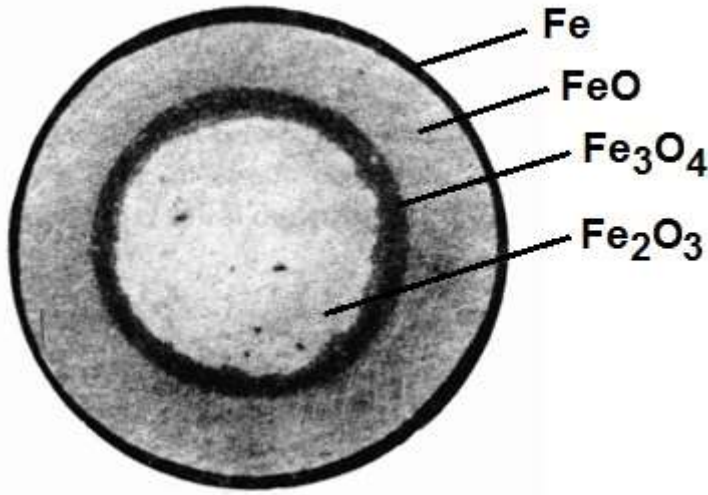
k = Hız sabiti

t = Süre

Küresel şekilli katı maddelerle gerçekleştirilen reaksiyonlarda reaksiyon arayüzeyi oldukça belirgindir. Reaksiyonun ilerlemesi ile reaksiyon arayüzeyi parçanın dış yüzeyinden merkezine doğru ilerler ve reaksiyona girmiş ve girmemiş kısım arasında kesin bir sınır oluşur. Bu model reaksiyon topokimyasal model veya küçülen çekirdek (shrinking core) olarak isimlendirilir (Şekil 3).



Oluşan reaksiyon ürünleri çevre fazda çözünüyorlarsa zamanla yüzey alanı azalacaktır. Bu duruma tipik örnek karbonun havayla yanması veya bir katının sıvıda çözünmesi verilebilir. Bu reaksiyon modelinde de reaksiyon hızını kontrol eden adım kimyasal reaksiyon veya difüzyon olacaktır.



Şekil 4.3 Hematit parçacığının indirgenmesinin şematik gösterilişi ve indirgenmedeki topokimyasallık [5, 6, 8].

Reaksiyon ürünleri, metallerin veya metalsülfürlerin oksidasyonu veya oksitlerin gazlarla indirgenmesinde olduğu gibi, orjinal katı madde ile reaksiyona giren gazlar arasında bir tabaka oluşturuyorlarsa reaksiyonun ilerleyebilmesi için moleküllerin bu tabakadan difüzyonla taşınması gerekir. Katılarla gerçekleşen reaksiyonlarda oluşan reaksiyon ürününün gözenekli veya gözeneksiz oluşumuna bağlı olarak reaksiyonun kinetiği de farklı olacaktır [10-13].

4.3 DENEYDE KULLANILAN MALZEME VE CİHAZLAR

- 1) Demir cevheri peletleri ve kömür (kok veya linyit tozu)
- 2) Tüp fırın
- 3) Hassas terazi
- 4) Grafit kayıkçık şarj kabı ve çubuğu
- 5) Pens ve maşa



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
4. DENEY: KARBOTERMİK REDÜKSİYON



4.4 DENEYİN YAPILIŞI

- 1) İndirgenme davranışının gözlemlenmesi amacıyla hazır demir cevheri konsantrelerinden üretilen peletlerden birbirine eş peletler seçilir ve tartılarak ağırlıkları tespit edilir.
- 2) Toplam redüksiyon reaksiyonu kullanılarak, bu peletlerin redüksiyonu için gerekli olan karbon miktarı ve buna bağlı olarak kullanılacak kömür miktarı hesaplanır. Toplam pelet ağırlığına göre hesaplanan teorik kömür miktarından % 150 fazlası kullanılacak şekilde tartım yapılır.
- 3) Tüp fırın 800 ve 1000°C'ye ulaştığında, peletler grafit kayıkçık olan şarj kabında hazırlanan kok yatağının içine gömülür ve şarj çubuğu ile fırına şarj edilir.
- 4) Sırasıyla 5., 10. ve 20. dakikada bir pelet fırından alınır, oda sıcaklığına soğutulur ve hassas terazide resüksiyon sonrası ağırlığı tartılır.

Deneylerde kullanılan pelet konsantrasyonu ve kok kömürünün kimyasal bileşimleri aşağıda verilmektedir.

	Fe ₃ O ₄	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	Mn	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P	C
Pelet	94,60	2,20	0,75	0,40	0,10	0,60	0,58	0,07	0,04	-	-
Kok	-	8,26	4,30	0,54	-	1,24	0,35	0,29	0,08	0,14	80,30

Aşağıdaki formül yardımıyla peletlerin redüksiyon yüzdeleri hesaplanır:

$$\%Redüksiyon = \frac{\text{Giderilen Oksijen}}{\text{Giderilmesi Gereken Oksijen}} * 100$$

4.5 İSTENENLER

- 1) Deneyin amacı ve yapılışını yazınız.
- 2) Gerekli teorik kömür miktarını hesaplayınız.
- 3) % redüksiyon oranının süre ile değişimini çizin ve grafiği değerlendiriniz.
- 4) 10. ve 20. dakikada anlık redüklenme hızını (dR/dt) hesaplayınız.
- 5) Demirli hammaddelerin indirgenmesinde, indirgenme kinetiği hangi şartlarda kimyasal reaksiyon, yayınma veya karışım kontrollü olur? Kısmen redüklenmiş demir oksit parçaçığında bu farkı nasıl gözlersiniz? Şematik olarak çizin.
- 6) (4) ve (5) numaralı reaksiyonları kullanarak toplam 1 atm CO + CO₂ içeren ortamda, 700, 800, 900 ve 1000 °C sıcaklıklar için %CO – sıcaklık grafiğini çizerek bölgeleri adlandırınız (Bauer-Glaesner diyagramının %CO miktarına göre çizilmiş hali).



4.6 KAYNAKLAR

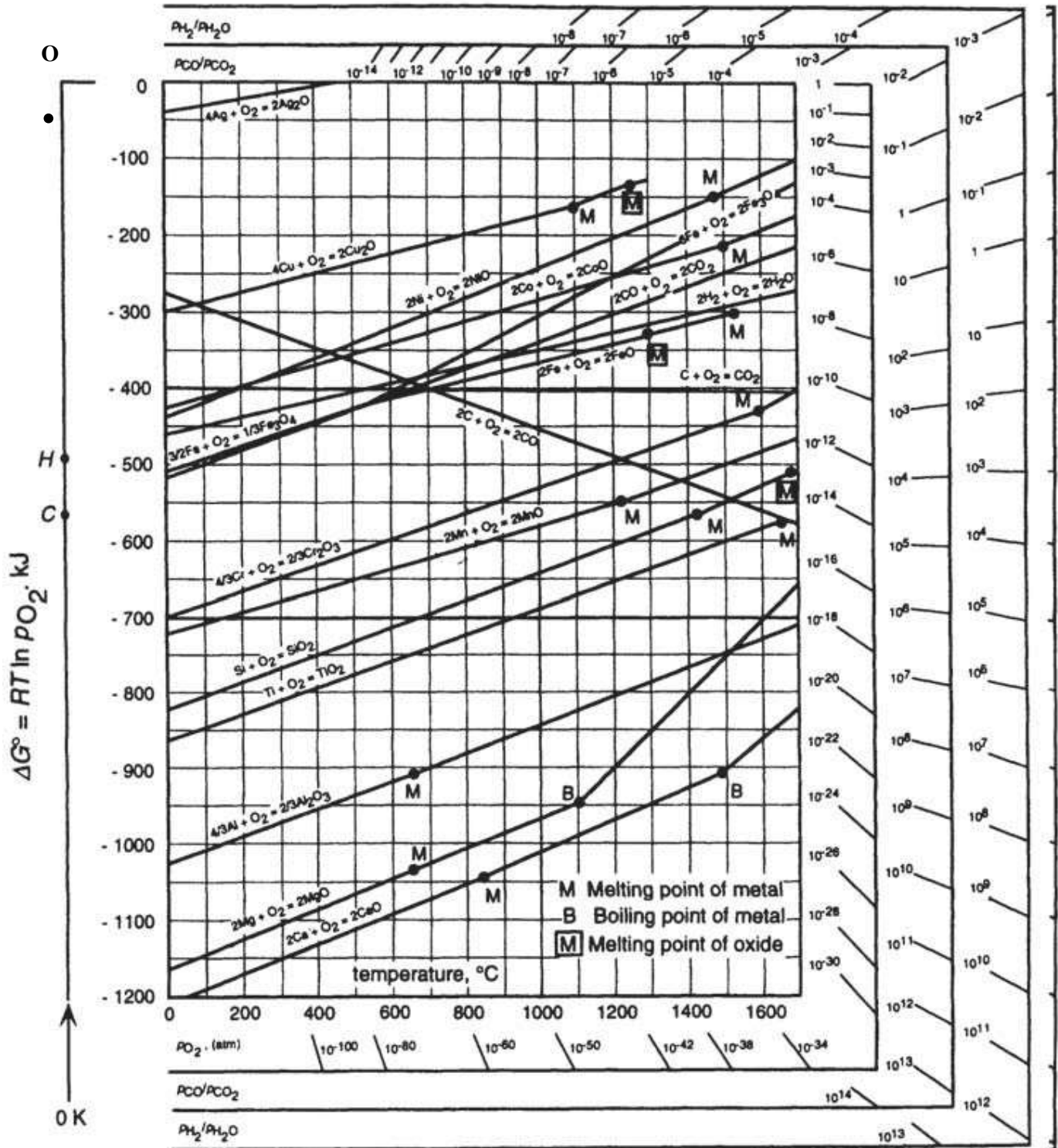
- [1] www.worldsteel.org, Uluslararası Demir ve Çelik Enstitüsü (IISI), resmi web sayfası, İnternet.
- [2] www.dcu.org.tr, Demir Çelik Üreticileri Derneği, resmi web sayfası, İnternet.
- [3] Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı Demir Çelik Sektör Raporu 2014.
- [4] BISWAS, A.K., Princler of Blast Furnace Ironmaking, Cootha Publish House, Brisbane, Australia, 1981.
- [5] ROSENQVİST, T., "Principles of Extractive Metallurgy", Mc Graw-Hill Book Co., 2nd Ed. 1983.
- [6] BOR, F.Y., "Ekstraktif Metalurji Prensipleri" Kısım I ve II, İTÜ, 1985.
- [7] www.midrex.com, Midrex Technologies, Inc., resmi web sayfası, İnternet.
- [8] ERSUNDU, A.E., "Yerli Demir Cevherlerinin Sünger Demir Üretimine Uygunluğunun Araştırılması", İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [9] BİROL B., "Divriği Pelet Konsantresinden Kompozit Pelet ve Demir Tanesi Üretimi", YTÜ, Fen Bilimleri İstanbul, 2007.
- [10] HABASHI, F., Kinetics of Metallurgical Processes, Métallurgie Extractive Québec, Sainte-Foy, Québec, 1999.
- [11] AYDIN, S., Metalurji Kinetiği Ders Notu, 1994.
- [12] ŞEŞEN, K., Metalurjik Süreçlerin Kinetiği, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, 1998.
- [13] RAY, H.S., Kinetics of Metallurgical Reactions, Oxford, New Delhi, 1993.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
4. DENEY: KARBOTERMİK REDÜKSİYON



EK: Ellingham Diyagramı





Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
5. DENEY: TERMOSET POLİMERLER: DOYMAMIŞ
POLYESTER REÇİNELERİ



5. TERMOSET POLİMERLER: DOYMAMIŞ POLYESTER REÇİNELERİ

5.1 Amaç: Termoset polimerlerde reaksiyon bileşenlerinin çapraz bağlanma (sertleşme, curing) hızı üzerindeki etkisini incelemek, doymamış polyester reçineden dekoratif malzeme yapmak,.

5.2 Teori:

Polimerler, ısıya karşı gösterdikleri davranış bakımından termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

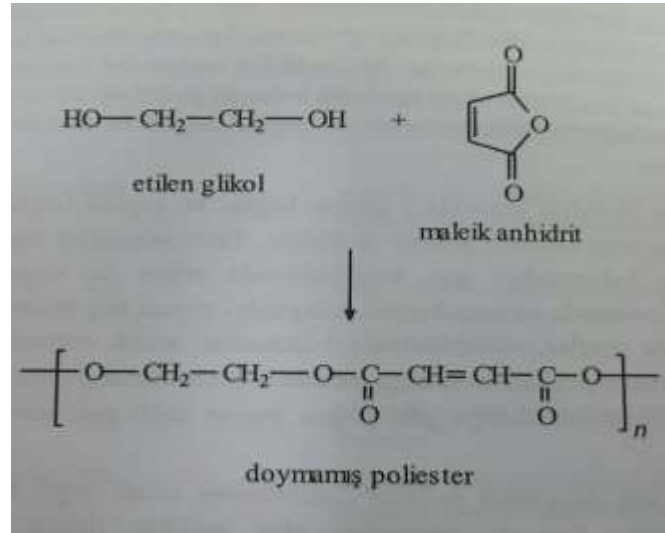
Termoplastikler, zincirleri arasında çapraz bağlar bulunmayan doğrusal ve/veya dallanmış zincirli polimerlerdir. Bu özellikleri nedeniyle uygun çözücülerde çözünürler, ısıtıldıklarında erirler ve soğutulduklarında sertleşirler. Bu plastikler, özelliklerinde önemli değişiklikler olmadan defalarca ısıtılıp soğutulabilirler. Isı ve basınç altında yumuşayarak akarlar ve böylece çeşitli formlarda şekillendirilebilirler. Ayrıca uygun çözücülerde çözünebilirler ve bu şekilde kalıplanarak çeşitli şekiller alabilirler. Polietilen (PE), polipropilen (PP), poli(vinil klorür) (PVC) ve polistiren (PS) yaygın kullanılan termoplastik polimerlerden bazılarıdır.

Termosetler, zincirleri arasında yoğun çapraz bağlar (ağ-yapı) bulunan polimerlerdir. Çapraz bağlardan dolayı hiçbir çözücüde çözünmezler, ısıtıldıklarında erimezler, yeterince yüksek sıcaklıklara ısıtıldıklarında bozunurlar. Termosetler kalıcı bir biçimde şekillendirilip kimyasal bir tepkimeyle sertleştirildikten sonra ısıtılarak yeniden yumuşatılamazlar ve başka bir şekle sokulamazlar. Bu nedenle kısmen polimerleşmiş durumdayken ısı etkisiyle veya ısıyla basıncın birlikte etkisiyle kalıplanırlar. Isıl işlemin yanı sıra, sadece oda sıcaklığındaki kimyasal tepkimeyle sertleşen veya olgunlaşan birçok polimer de vardır. Kalıplama sırasında polimerleşme ilerleyerek plastik çapraz bağlanmaya geçer ve polimer akma özelliğini kaybeder. Bu yüzden termosetler, termoplastikler gibi yeniden üretim sürecine girmezler yani geri dönüşümleri yoktur. Fenol-formaldehit, melamin-formaldehit, epoksi reçineler ve doymamış polyesterler en yaygın kullanılan termoset polimerlere örnek gösterilebilir.



5. DENEY: TERMOSET POLİMERLER: DOYMAMIŞ
POLYESTER REÇİNELERİ

Doymamış polyester tanımı, polimer zincirlerinde çift bağlar (doymamışlık) bulunan polyester polimerleri için kullanılır. Bu tür bir polyester reçine, glikol (iki —OH grubu olan alkol) ve buna eşdeğer miktarda çift karbon-karbon bağı içeren bir anhidrit (veya anhidritin yerini tutan bir diasit, iki —COOH grubu) arasındaki kondenzasyon reaksiyonu üzerinden sentezlenebilir (Şekil 1). Ticari reçinelerde belirli özellikler, farklı diol ve diasit karışımlarıyla elde edilebilir. Kondenzasyon reaksiyonu sırasında anhidritin çifte bağı reaksiyona girmez ve doğrusal polyester zincirleri üzerinde kalır. Bu aşamada elde edilen doymamış polyester ön-polimeri, ısıtıldığında yumuşayıp akışkan hale gelirken soğutulduğunda tekrar sertleşebilen termoplastik özellik gösterir.



Şekil 5.1. Doymamış polyester eldesi.

İkinci aşamada; doymamış polyester, uygun bir başlatıcı varlığında polyesteri çözebilen stiren gibi bir vinil monomeri (CH₂ = CHR) ile başlatıcının bozunma sıcaklığına kadar ısıtıldığında, doğrusal polyester zincirlerindeki çifte bağlar açılır ve radikalik mekanizma üzerinden stiren molekülleri ile çapraz bağlanma (curing, sertleşme, donma) gerçekleştirirler. Bu durumda, doğrusal ve doymamış polyester zincirleri stiren gibi bir monomerle kopolimerize olarak çapraz bağlı ağ yapıya dönüşürler ve bunun sonucunda da ısıtılınca erimeyen, tekrar şekillendirilemeyen ve yüksek sıcaklıklarda yanarak bozulan bir **termoset yapı** oluşur (Şekil 2). Bu termoset yapının kalitesi, çapraz bağ yoğunluğuna yakından bağlıdır. Çapraz bağ yoğunluğu arttıkça polimerin elastik modülü ve ısıl kararlılığı yükselir, buna karşın darbe



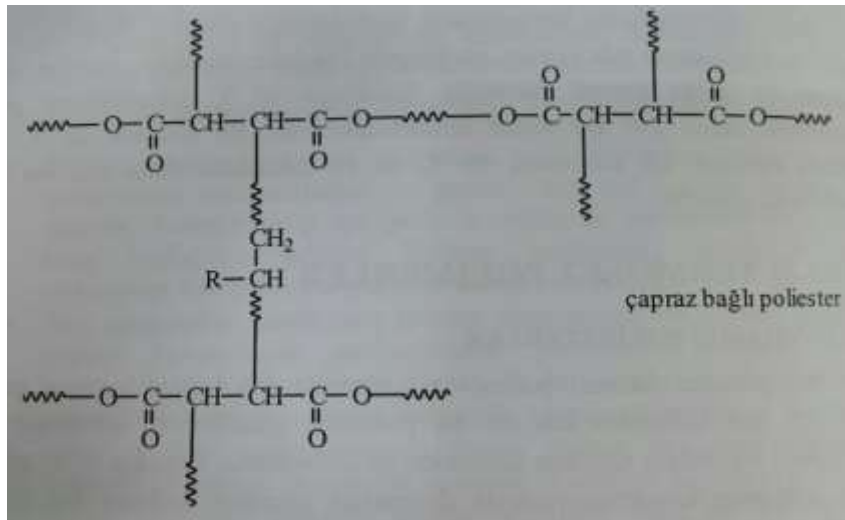
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü

5. DENEY: TERMOSET POLİMERLER: DOYMAMIŞ
POLYESTER REÇİNELERİ



dayanımı düşer. Çapraz bağ yoğunluğu, polyesterin sentezinde kullanılan girdilerin oranı (doymamışlık noktalarının sayısı) ayarlanarak kontrol edilir.

Ticari uygulamalarda *vinil monomeri* miktarı, monomer-doymamış polyester karışımının ağırlıkça %30-50'si arasında değişir. Vinil monomeri, doymamış polyesterin zincirlerini birbirine bağlamanın yanında ön-polimeri çözme görevi yapar, ayrıca elde edilecek termoset yapının özelliklerini de etkiler. Doymamış polyester için iyi bir çözücü olması, düşük viskozite ve düşük fiyata sahip olması nedeniyle stiren en yaygın kullanılan monomerdir. Stirenin kaynama noktası yüksektir ve polyestere ilave edilirken buharlaşma kaybı az olur. Buna karşın yanıcıdır ve sağlık açısından zararlıdır. Polyester reçine içindeki stiren azaltıldığında doymamış polyester zincirleri arasındaki hacim artar ve termoset polimerin sertliği azalır. Daha fazla stiren kullanıldığında ise, polistiren özelliklerinin baskın olduğu çapraz bağlı bir polyester elde edilir. Metil metakrilat, viniltoluen, dialil fitalat ve α -metil stiren doymamış polyester reçinelerinde çapraz bağlanma amacıyla kullanılan diğer monomerlerdir.



Şekil 5.2. Vinil monomeri ile sertleştirilmiş çapraz bağlı polyester.

Başlatıcı olarak benzoil peroksit, kümen hidroperoksit veya azobisizobütironitril kullanılabilir. Çoğunlukla oda sıcaklığında sertleştirilen polyesterler için ise metil etil keton (MEK) peroksit kullanılır. Tepkime genel olarak az miktarda kobalt naftanatla etkinleştirilir. Kobalt naftanat, başlatıcı peroksitlerin bozunma hızını arttıran bir hızlandırıcı görevindedir. Genellikle hızlandırıcı önceden reçineye karıştırılır ve son anda, hızla başlatıcı ilave edilerek kalıba dökülür. Hızlandırıcı ile başlatıcının önceden birbirine karıştırılması patlamaya sebep olabilir.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
5. DENEY: TERMOSET POLİMERLER: DOYMAMIŞ
POLYESTER REÇİNELERİ



Kopolimerizasyon reaksiyonu ekzotermik bir reaksiyondur. Başlatıcı ve hızlandırıcı konsantrasyonları, reaksiyon sıcaklığının ulaşacağı değeri ve sertleşme süresini doğrudan etkiler. Sıcaklığın ve başlatıcı ve hızlandırıcı konsantrasyonlarının artırılması sertleşme süresini kısaltır ancak üründe hava kabarcıkları, yüzey bozuklukları ve kalıba göre aşırı boyut küçülmesi gibi istenmeyen sonuçları da beraberinde getirir.

Doymamış polyesterler birçok yöntemle işlenebilmekle birlikte, çoğunlukla farklı şekillerde kalıplanırlar. Açık kalıba döşemek veya püskürtmeyle kalıba doldurmak küçük hacimli parçaların birçoğu için kullanılan yöntemdir. Otomobil panelleri gibi büyük hacimli parçalarda çoğunlukla basınçlı döküm kullanılır.

Doymamış polyesterler; kolay işlenme, uçucu yan ürün oluşturmama, hızlı çapraz bağlanma, açık renk, boyutsal kararlılık gibi avantajlara sahiptirler. Fiziksel ve elektriksel özellikleri iyidir. Kimyasal maddelerden fazla etkilenmezler. Alevlenmeye, kimyasallara ve yaşlanmaya karşı dirençleri, reçine karışımının bileşimi ayarlanarak iyileştirilebilir. Bu reçineler, elektrik ve elektronik aletlerin değişik parçalarının yapımında, sandalye, valiz, olta çubuğu, servis tepsisi gibi eşyaların yapımında ve kompozitlerde matris malzemesi olarak kullanılırlar.

Cam elyaf takviyeli doymamış polyester reçineler (kompozit), en yaygın kullanılan güçlendirilmiş doymamış polyester reçine türüdür. Sertleştirme işlemi öncesi ürün, doğrusal bir polimer ile sıvı bir monomer karışımından ibarettir. Düşük viskoziteye sahip bir sıvı oluşu sayesinde yüksek miktarda dolgu maddeleri ile karıştırılabilme ve cam elyafı iyice ıslatabilme olanağı sunar. Doymamış polyesterler %80'e varan miktarlarda cam elyaf ile güçlendirilebilirler. Bu güçlendirilmiş, doymamış polyesterler sertleştirildiklerinde (çapraz bağlanmayı tamamladıklarında) 172-344 MPa dayanıma, iyi darbe dayanımına ve kimyasal dirence sahip olurlar. Cam elyafı güçlendirilmiş doymamış polyesterler, otomobil panellerinin ve gövde parçalarının yapımının yanı sıra küçük tekne gövdelerinin, bina panellerinin, banyo parçalarının, yüksek aşınma dayanımı istenen boruların, su depolarının ve yakıt tanklarının yapımında kullanılırlar.

5.3 Kullanılacak kimyasal maddeler ve ekipmanlar:

<u>Reçine:</u>	Doymamış polyester/stiren karışımı
<u>Başlatıcı:</u>	Metil etil keton (MEK) peroksit
<u>Hızlandırıcı:</u>	Kobalt naftanat



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
5. DENEY: TERMOSET POLİMERLER: DOYMAMIŞ
POLYESTER REÇİNELERİ



Diğer malzemeler: Kalıplar, plastik bardak, tahta spatula, karıştırıcı, termometre, kronometre ve plastik damlalık.

5.4 Deneyin Yapılışı:

- 1) Jelleşme süresi tayini: 5 adet plastik bardak 1'den 5'e kadar numaralandırıp içlerine 10'ar gram reçine konur. İlk 3 bardağa reçinenin ağırlıkça %1'i kadar, 4. ve 5. bardaklara ise reçinenin ağırlıkça %2 ve %4'ü kadar kobalt naftanat damlatılır ve iyice karıştırılır. Sonrasında bardaklardaki karışıma sırasıyla %0,5, %1, %2, %1, %1 metil etil keton (MEK) peroksit ilave edilir ve kronometre çalıştırılır. Bir dakika karıştırılır ve spatula çıkarılır. Sonra her 60 s'de bir 10 s karıştırılır. Reçinenin spatulaya yapışmaya başladığı an kronometre durdurulur. Farklı oranlarda başlatıcı ve hızlandırıcı eklenmiş reçinelerin jelleşme süresi kaydedilir.
- 2) Dekoratif obje hazırlama: Plastik bir kaptaki 50 g reçine tartılır ve üzerine reçinenin ağırlıkça % 0,5'i kadar kobalt naftanat ilave edilerek karıştırılır. Bu karışımın yarısı alınır, üzerine reçinenin ağırlıkça %1'i kadar metil etil keton (MEK) peroksit hızlıca eklenir, hızlıca karıştırılır ve son karışım kalıba dökülür. Reaksiyonun tamamlanması beklenir. Kalan reçineye yine ağırlıkça %1'i kadar metil etil keton (MEK) peroksit eklenir ve kalıba gömülecek dekoratif cisim reçine içine daldırılıp ıslatıldıktan sonra kalıbın içine yerleştirilir ve reçine üzerine dökülür. Üzeri polyester veya asetat kağıdı ile örtülür ve sertleşme tamamlanınca kalıptan çıkartılır.

5.5 Sonuçlar ve Tartışma:

- 1) 1. deney basamağında belirlediğiniz jelleşme süresi nedir? Jelleşme süresine reaksiyon koşulları ve çevresel faktörlerin etkileri neler olabilir, tartışınız.
- 2) 1. deney basamağında belirlediğiniz değişen hızlandırıcı konsantrasyonuna karşı jelleşme süresi eğrisini çiziniz, eğri davranışını belirleyiniz.
- 3) 1. deney basamağında belirlediğiniz değişen başlatıcı konsantrasyonuna karşı jelleşme süresi eğrisini çiziniz, eğri davranışını belirleyiniz.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
5. DENEY: TERMOSET POLİMERLER: DOYMAMIŞ
POLYESTER REÇİNELERİ



- 4) Doymamış polyester reçinesinin sertleştirilmesi deneyinin tüm basamaklarındaki gözlemlerinizi ve deneysel sonuçları yorumlayınız.

5.6 Kaynakça

Bilyeu, B., Brostow, W., & Menard, K. Epoxy Thermosets and Their Applications I: Chemical Structures and Applications. *Journal of Materials Education*, 21(5&6), 281-286.

Saçak, M. (2012). *Polimer Kimyası*. Ankara: Gazi Kitabevi.

Saçak, M. (2012). *Polimer Teknolojisi*. Ankara: Gazi Kitabevi.

Stickney, K., Burnell, J., & Wyeth, J. (2019). Synthesis of a Crosslinked Epoxy Resin Medallion in the Organic Chemistry Laboratory. *World Journal of Chemical Education*, 7(4), 232-241.



6. MEKANİK TESTLER

Belirli bir uygulama alanı için malzeme seçimi o malzemenin mekanik özelliklerine bağı olduğından, bu özelliklerin ölçülmesinde kullanılan standart deneyleri tanımak ve bu deneylerden elde edilen sonuçları değışik parametrelere bağı olarak değıerlendirmek büyük önem taşır. Bir malzemenin statik yüklere dayanma kapasitesi çekme ve basma deneyleri ile belirlenir. Kalıcı şekil değıştirmelere karşı direnç hakkında bilgi statik deneyler ile sağlanabilir. Bir malzemenin çizilmeye ve aşınmaya karşı direnci ise sertlik nedeniyle ile belirlenebilir. Çentik Darbe deneyi malzemenin darbe şeklindeki zorlanmalara dayanımını belirlemek için kullanılır. Bu deneyler değışik sıcaklıklarda yapılarak bir malzemenin sünek-gevrek geçiş sıcaklıkları belirlenebilir.

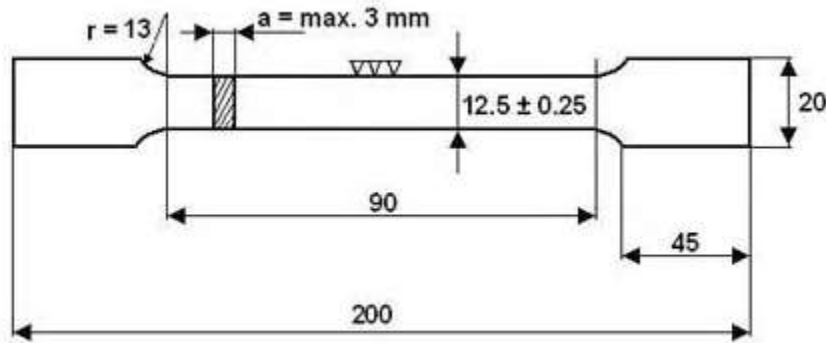
BÖLÜM 6.1: ÇEKME DENEYİ

6.1.1 DENEYİN AMACI:

Çekme deneyi, malzemelerin mukavemeti hakkında esas tasarım bilgilerini belirlemek ve malzemeleri özelliklerine göre sınıflandırmak amacıyla yapılır. Çekme deneyi, standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek ekseninde, belirli bir çekme hızında ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standartlara göre hazırlanan çekme numunesine uygulanan kuvvet ya da gerilme ile meydana gelen uzama değıerleri kaydedilir.

6.1.2 ÇEKME DENEYİ NUMUNELERİ

Çekme deneyine tabi tutulacak numuneler, temsil ettiğı malzemenin tüm özelliklerini taşımalıdır. Bu nedenle, numunenin alındığı bölgenin, alınış ve hazırlanış şeklinin büyük önemi vardır. Numune hazırlanırken, temsil ettiğı malzeme özelliklerinde herhangi bir değışiklik oluşmamasına dikkat edilmelidir. Üretim sırasında aşırı sıcaklık oluşumu önlenmeli, ayrıca deformasyondan kaynaklanan etkilerde elimine edilmelidir. Çekme deneyine tabi tutulacak numunenin şekil ve boyutları standartlarda belirtilmiştir. Bu nedenle deney sonuçlarının güvenilirliğı ve karşılaştırılabilir olması açısından deneyler standartlara göre hazırlanmış numuneler ile yapılmalıdır. Alınacak malzemeye göre çekme numunesinin kesiti, dairesel, kare, dikdörtgen ve halka şeklinde ve hatta bazı durumlarda özel profil şeklinde olabilir. Türk standartları, TS 138-A'da çekme numunelerini şekil ve boyutlarına göre standartlaştırmıştır.

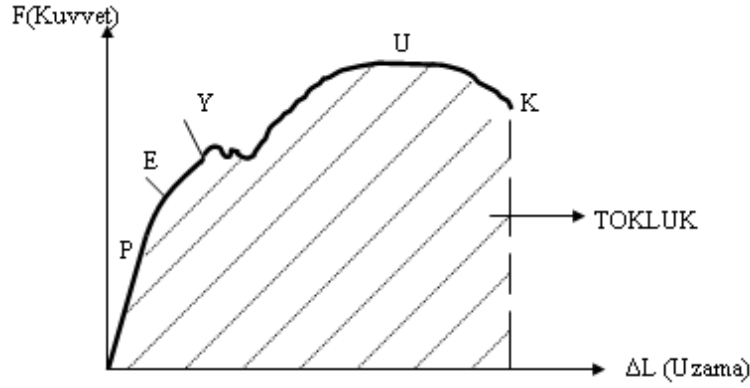


Şekil 6.1 Dikdörtgen kesitli metal malzemeler için çekme numunesi ölçüleri



6. DENEY: MEKANİK TESTLER

Çekme cihazı esas olarak; birbirine göre aşağı ve yukarı hareket edebilen, deney parçasının bağlandığı iki çene ve bunlara hareket veya kuvvet veren, bu iki büyüklüğü ölçen ünitelerden oluşur. Çenelerden birisi sabit hızda hareket ettirilerek deney parçasına değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilir.



Küçük kuvvet seviyelerinde uzama miktarı kuvvet ile doğru orantılıdır. Malzeme elastik davranış içindedir; yani kuvvet kaldırılınca uzama sıfırlanır. Bu karakter **P** noktasına kadar devam eder. Orantı limiti P den sonra lineer fonksiyon eğimini değiştirir. Ancak elastik davranış devam eder. Elastik davranış **E** “Elastik Limiti” noktasında sona erer. E den sonra kalıcı; yani fazla kuvvet alabilir hale gelir plastik deformasyonlar başlar. Kuvvet azaltıldığında lineer fonksiyona paralel bir yol izler. Ancak kuvvetin sıfır olduğu yerde deformasyon artık sıfır olmaz, belirli bir plastik deformasyon kalır.

Malzeme yüklenmeye devam edilirse Y noktasında akar. Akma noktasında kuvvet aynı iken büyük miktarda plastik deformasyon oluşur. Akan malzeme “çalışma sertleşmesi”ne uğrar ve daha mukavim hale gelir.

Bu malzeme üzerindeki kuvvet daha da artırılarak U noktasına ulaşılır. U noktası “maksimum gerilme” noktası olup, burada malzeme kesitinde lokal daralmalar başlar. Buna malzemenin “boyun vermesi” denir. Boyun verme de malzemenin çalışma sertleşmesine uğramasına sebep olur ve malzeme daha fazla gerilmeler alabilir; ancak boyun bölgesinde kesit alanı daraldığından taşıdığı net kuvvet azalır. Numune genellikle kontrolsüz bir şekilde K noktasına ilerler ve orada kopar.

Kuvvet-uzama eğrisinin altında kalan alan o numuneyi bozunuma uğratmak için gereken enerjiyi eşit olup; tokluk adı verilir.

Kuvvet-uzama eğrisi daha sonra yeniden ölçeklendirilir. Uzamalar malzemenin ilk uzunluğuna bölünerek “birim-uzama” ya çevrilir. Aynı şekilde kuvvet numunenin ilk kesit alanına bölünerek “gerilim” hesaplanır ve dikey eksen tekrar ölçeklendirilir.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deneysel Föyü
6. DENEY: MEKANİK TESTLER



Tanımlamalar

Gerilme (σ): Birim alana etkiyen yük anlamına gelir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Birim Şekil Değişirme (ε): Malzemeye kuvvet uygulandığı zaman oluşan boy değişiminin kuvvet uygulanmadan önceki ilk boya oranı.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Elastisite Modülü (E): Malzemenin dayanımının (mukavemetinin) ölçüsüdür. Birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup birim uzama başına gerilme olarak tanımlanır. Birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişki şöyle tanımlanabilir:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Malzemeye kuvvet uygulandığında, malzemede meydana gelen uzamalar elastik sınırlar içinde gerilmelerle orantılıdır. Buna “*Hooke Kanunu*” adı verilmektedir. Elastisite modülü malzemeye ait karakteristik bir özelliktir.

Akma dayanımı (σ_a): Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir,

$$\sigma_a = \frac{P_a}{A_0}$$

Çekme dayanımı (σ_ζ): Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup, aşağıdaki formül ile bulunur.

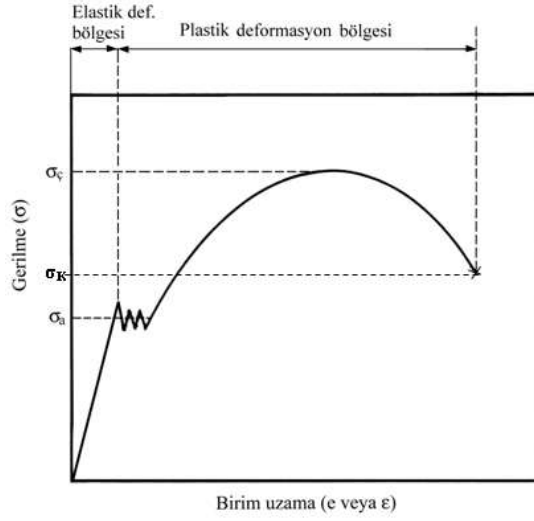
$$\sigma_\zeta = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Kopma Gerilmesi (σ_K): Numunenin koptuğu andaki gerilme değeridir.

$$\sigma_K = \frac{P_K}{A_0}$$



6. DENEY: MEKANİK TESTLER



Şekil 6.3 Düşük karbonlu yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı

Yüzde Kopma uzaması (KU): Çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır. Çekme deneyine tabi tutulan numunenin kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile son boy ölçülür ve boyda meydana gelen uzama

$$\Delta L = L_k - L_0$$

bağıntısı ile bulunur. Burada L_0 numunenin ilk ölçü uzunluğunu, L_k ise numunenin kırılma anındaki boyunu gösterir. Kopma uzaması ise;

$$KU(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

bağıntısı yardımıyla belirlenir. Bu değer malzemenin sünekliğini gösterir.

Yüzde Kesit Daralması (KD): Çekme numunesinin kesit alanında meydana gelen en büyük yüzde daralma veya büzülme oranı olup;

$$KD(\%) = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \times 100$$

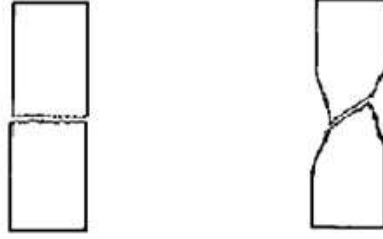
bağıntısı ile hesaplanır. Burada A_0 deney numunesinin ilk kesit alanını, A_K ise kırılma anındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını gösterir. A_K nın hesaplanması için hacmin sabit kalacağı ifadesi kullanılır.

$$V_0 = V_K \Rightarrow A_0 L_0 = A_K L_K \Rightarrow A_K = A_0 \frac{L_0}{L_K}$$

Kesit daralması, kopma uzaması gibi sünekliğin bir göstergesidir. Sünek malzemelerde belirgin bir büzülme veya boyun verme meydana gelirken, gevrek malzemeler büzülme göstermezler. Şekil 2'de gevrek ve sünek malzemelerin kırılma davranışları şematik olarak gösterilmiştir.



6. DENEY: MEKANİK TESTLER



Şekil 6.4 (a) Gevrek malzemenin kırılma şekli (b) sünek malzemenin kırılma şekli.

6.1.3 DENEYİN YAPILIŞI

Çekme deneyi için önce test edilecek malzemeden standartlara uygun bir çekme numunesi hazırlanır (Şekil 4). Bu numune üzerine işaretler konur. Çekme deney makinesinin çeneleri arasına düzgün ve ortalayacak bir şekilde sıkıştırılan bu numune gittikçe artan bir yükte kopuncaya kadar çekilir. Bu sırada uygulanan F yükü ile buna karşı malzemenin gösterdiği uzamalar (ΔL) cihaz ve video ekstensometre ile ölçülür. Deney sonucu elde edilen yük (F) ve uzama (ΔL) değerlerinden yararlanarak ($F - \Delta L$) diyagramı elde edilir. Bu diyagrama çekme diyagramı da denir.

6.1.4 İSTENENLER

- Kuvvet ve video ekstensometreden alınan uzama verileri kullanılarak her ikisi için ayrı ayrı gerilme – şekil değiştirme diyagramının elde edilmesi
- Gerilme – şekil değiştirme diyagramlarından elastisite modüllerinin hesaplanması.
- Gerilme – şekil değiştirme diyagramlarından akma gerilmesi, çekme dayanımı ve kopma gerilmelerinin hesaplanması
- Yüzde kopma uzaması ve yüzde kesit daralmalarının hesaplanması.

BÖLÜM 6.2 SERTLİK DENEYİ

6.2.1 DENEYİN AMACI

Malzemelerin sertliğinin ölçülmesi ve mukavemetleri hakkında bilgi edinilmesi.

6.2.2 DENEYİN PRENSİBİ

Sertlik, malzemelerin plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Sertlik deneyleri malzeme ve imal edilmiş parçaların çabuk ve tahribatsız olarak kontrolünü sağlayan çok önemli mekanik deneylerden biridir. Teknolojide yaygın olarak kullanılan sertlik ölçme yöntemleri, numune üzerinde elde edilen kalıcı iz büyüklüğünün ölçülmesi esasına dayanan yöntemlerdir. Yapılan tüm sertlik yöntemlerinde her numuneden en az üç tane sertlik değeri ölçülerek ortalama değer ve standart sapma hesaplanır.

Rockwell Sertlik:

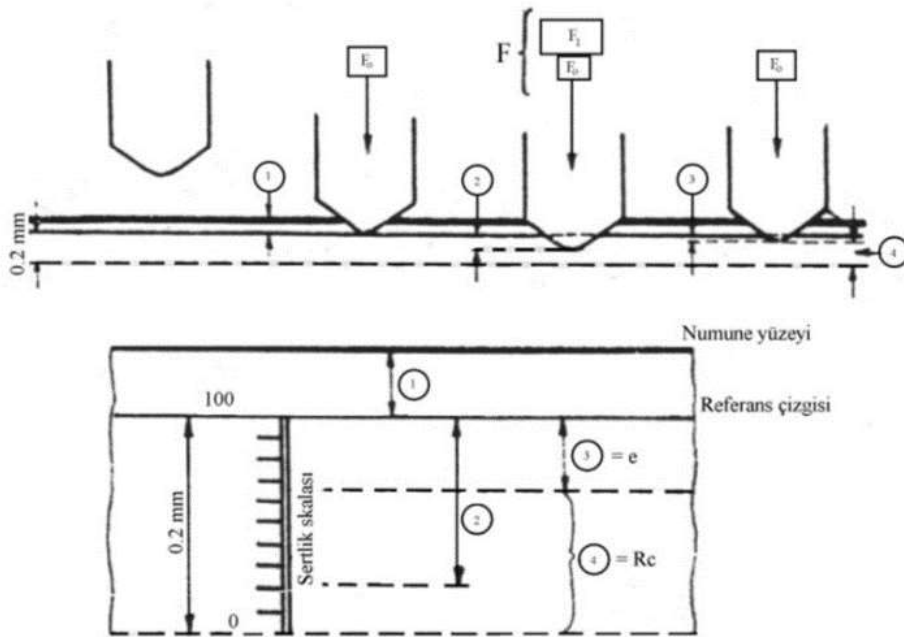
Rockwell sertlik deney prensibi Şekil 1' de verilmistir. Rockwell sertlik deneyi yapılırken numune üzerine önce 10 kg'lık bir ön yük (F_0) uygulanır. Bu ön yük numune ile uç arasındaki



6. DENEY: MEKANİK TESTLER

kesin teması sağlamak ve ölçü düzenindeki boşlukları gidermek amacıyla uygulanır. F_0 ön yükünün uygulanmasıyla t_0 derinliğine erişilir. Bu konum sertlik skalası için referans düzlemi olarak alınır. Ön yükün uygulanmasından sonra yukarıda farklı sertlik skalaları için verilen yük miktarlarına varıncaya kadar bir ana yük (F_{ana}), yaklaşık 10 saniye süreyle numune üzerine uygulanır. Ana yük değerleri Rockwell B deneyi için 90 kg, Rockwell C deneyi için ise 140 kg'dır.

$F_{ön}$ kuvvetinden en az dört kat büyük olması gereken F_{ana} deney yükünün numune üzerine uygulanmasından ve kaldırılmasından sonra, referans düzleminde itibaren kalıcı bir t_b batma derinliği elde edilir. Söz konusu işlemlerin gerçekleştirildiği Rockwell cihazında, ölçülen kalıcı t_b batma derinliği yerine, sertlik değeri göstergeden doğrudan okunur.



Şekil 6.5 Rockwell sertlik deneyi prensibi.

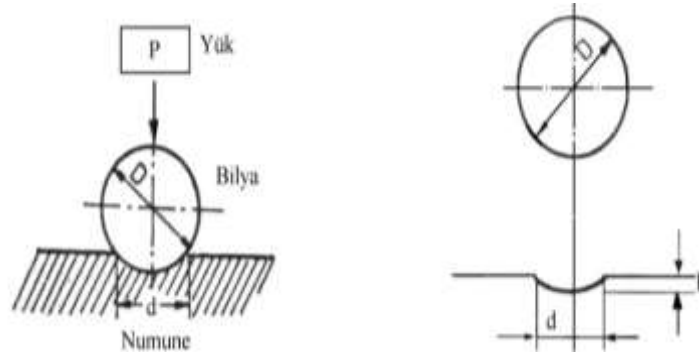
- 1) Ön yüklemde (10 kg) ucun batma derinliği,
- 2) Ana yüklemde (90 kg veya 140 kg)ucun batma derinliği,
- 3) Ana yük kaldırıldığında ucun batma derinliği (e),
- 4) Rockwell sertliği (100-e).

Brinell Sertlik :

Şekil 2' de gösterildiği gibi belirli bir yükün (F), belirli bir çaptaki (D) sert malzemenin yüzeyine belirli bir süre uygulanması sonucu yüzeyde kalıcı bir iz meydana getirilir.



6. DENEY: MEKANİK TESTLER



Şekil 6.6 Brinell Sertlik Deneyi Prensibi.

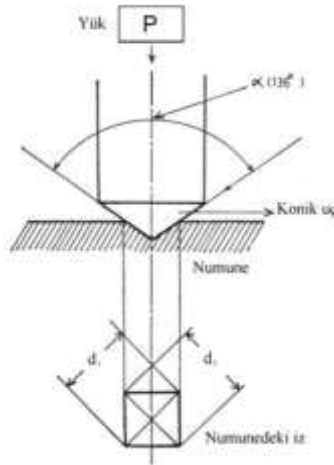
Meydana gelen izin küresel yüzey alanı, izin çevresinin ölçülen ortalama çapı ile bilya çapından faydalanılarak belirlenir. Buna göre Brinell sertlik değeri:

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

P = Uygulanan yük (kg), D = Bilya çapı (mm), d = İz çapı (mm) bağlantısı ile hesaplanır.

Vickers Sertlik:

Sertliği ölçülecek malzemeye Şekil 3' de gösterildiği gibi piramit elmas uç belirli bir süre ve yükte kalıcı kare tabanlı iz oluşturur. Oluşan simetrik izin köşegen ortalaması belirlenerek aşağıda verilmiş olan bağıntı yardımıyla malzemenin Vickers sertlik değeri hesaplanır.



Sekil 2.7: Vickers Sertlik Deneyi

F = Uygulanan deney yükü (kg), d = İz köşegenlerinin ortalaması (mm), a = Tepe açısı=136°.

$$VSD = \frac{2P \sin(a/2)}{d^2} = \frac{1,8544F}{d^2}$$

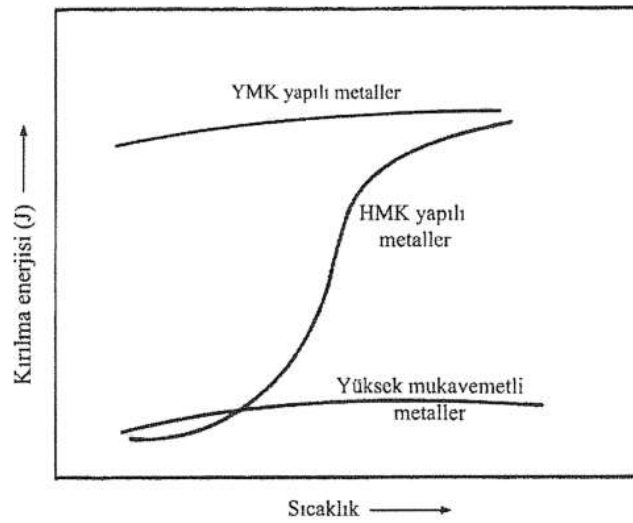


BÖLÜM 6.3 ÇENTİK DARBE DENEYİ

6.3.1 DENEYİN AMACI: Darbe deneyi gevrek kırılmaya neden olabilecek şartlar altında çalışan malzemelerin mekanik özelliklerinin saptanmasında kullanılır. Darbe deneyinin genel olarak amacı, metalik malzemelerin dinamik zorlamalar altında kırılması için gerekli enerji miktarını ve sünek-gevrek geçiş sıcaklığını tespit etmektir.

6.3.2 DENEYİN PRENSİBİ:

Genelde malzemelerin mekanik özellikleri hakkında fikir edinebilmek için çekme deneyi sonuçları kullanılır. Elde edilen sonuçlar YMK ve HSP sistemlerde sorun olmazken bazı HMK kafes yapısına sahip metallere çentik darbe testinde farklı sonuçlar elde edilir (Şekil 1). Çekme testinde uzama miktarı yüksek olan malzemelerin sünek davranacağı düşünülür. Bu kabul YMK ve HSP kristallerde büyük oranda doğru iken HMK kristalli malzemelerde (örn. ferritik çelik) her zaman doğru sonuç vermez. Çekme deneyinde sünek davranış gösteren malzeme darbe deneyinde gevrek davranış gösterebilir. Özellikle oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda bu olaya daha çok rastlanır. Darbe deneyinden elde edilen sonuçlar, çekme deneyi sonuçları gibi mühendislik hesaplarında kullanılmazlar.



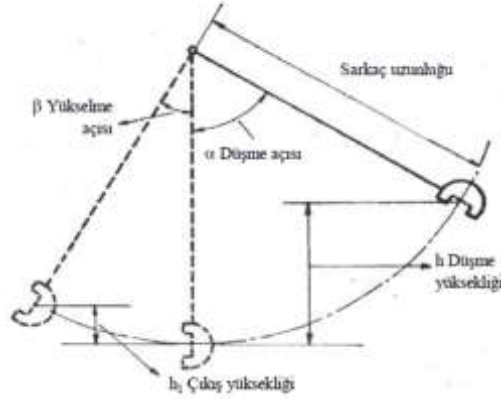
Şekil 6.8 Farklı kafes yapıtlarındaki metallere için gevrek-sünek geçiş sıcaklığı grafiğı

Denyede numunenin dinamik zorlama altında kırılması için gereken enerji belirlenir. Bulunan değeri malzemenin darbe direnci (darbe mukavemeti) olarak tanımlanır.

Ağırlığı G olan sarkaç, h yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerjisi ($G \times h$) mertebesinde olur. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında, düşey bir düzlem içinde hareket ederek numuneyi kırar ve aksi istikamette $h/2$ yüksekliğine kadar çıkar. Böylece, numunenin kırılmasından sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji ($G \times h/2$) mertebesinde demektir.



6. DENEY: MEKANİK TESTLER



Sarkacın, numune ile temas haline geldiği andaki potansiyel enerji ile numune kırıldıktan sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji farkı, o numunenin kırılması için gereken enerjiyi başka bir deyimle, darbe direncini verir. Bu enerji aşağıda yer alan formül ile de gösterilebilir:

$$\text{Kırılma enerjisi} = G (h - h_1) = G.L. (\cos\beta - \cos\alpha)$$

G = Sarkacın ağırlığı (kg)

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

h = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m),

h₁ = Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m),

α = Düşme açısı (derece),

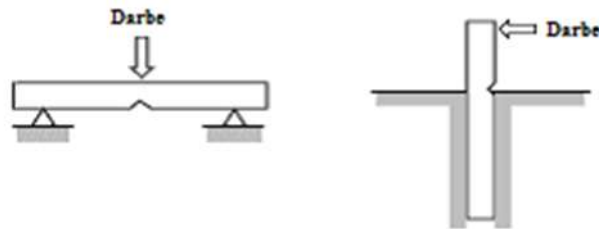
β = Yükseliş açısı (derece),

Darbe direnci (kg-m) veya (kg-m/cm²) cinsinden ifade edilmektedir.

Çentikli darbe deneyleri genellikle 2 türde yapılmaktadır

Charpy Darbe Deneyi: Yatay ve basit kiriş halinde 2 mesnede yaslanan numunenin çentik tabanına bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılması ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilimler etkisi ile numunenin kırılması için harcanan enerjiyi tayin işlemidir.

İzod Darbe Deneyi: Dikey ve konsol halinde bir kavrama çenesine tutturulan numunenin yüzeyine, kavrama çenesinden belirli yükseklikte, bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılması ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilimler ile numunenin kırılması için sarf edilen enerjiyi tayin işlemidir.



Şekil 6.10 a) Charpy ve b) İzod darbe deneyinde numunenin cihaza yerleştirilme şekli

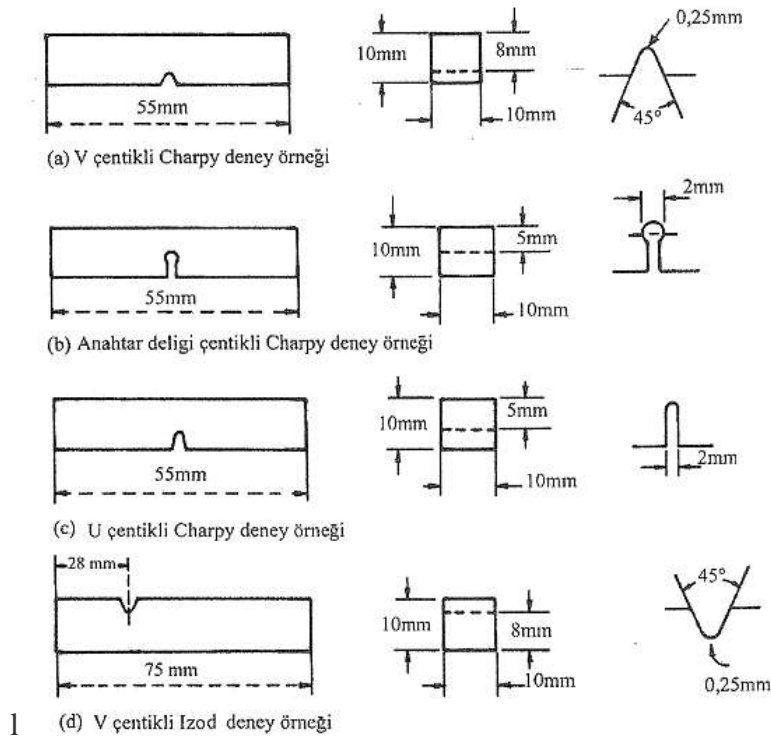


6. DENEY: MEKANİK TESTLER

Çentikli Darbe Deneyi Numuneleri

Çeşitli ülkelerin standartlarında saptanan en önemli numune çeşitlerinin boyutları ve şekilleri Şekil 4'te verilmiştir. Numunelerin çentik açılma çeşitleri; 1- U çentikli, 2-V çentikli, 3- Anahtar deliği çentikli'dir.

Malzemelerin darbe dayanımı sıcaklıkla değişir. Testler esnasında numune sıcaklığı belirtilen sıcaklık değeri arasında $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' den fazla fark olmamalıdır. Sıfırın altındaki sıcaklıklarda yapılacak testler için buzdolabı gibi soğutucular ya da sıvı azotla soğutma kullanılır. Yüksek sıcaklıklarda ($200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve üstünde) yağ banyosu, tuz banyosu ya da fırında ısıtma kullanılır. Isıtılan ya da soğutulan numune 5 sn içinde kırılmalıdır.



Şekil 6.11 Çentik darbe deneyi numuneleri

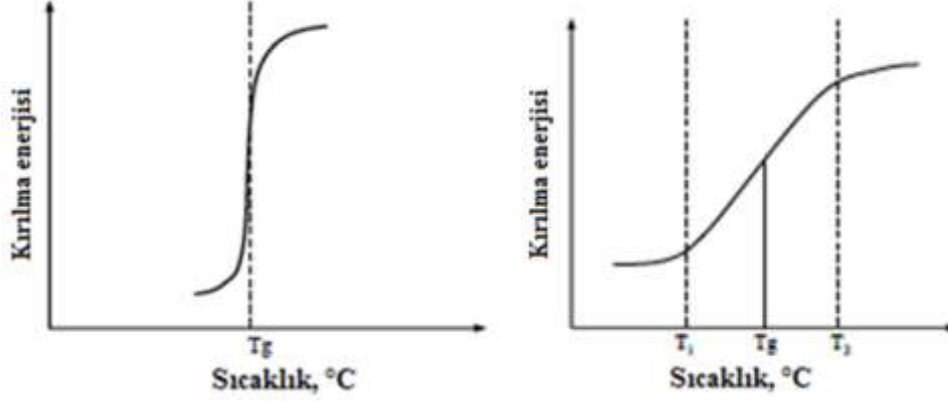
Gevrek-Sünek Geçiş Sıcaklığı

Belirli bir malzeme için farklı sıcaklıklarda yapılan darbe deneyleri malzemenin darbe direnci hakkında önemli bilgiler verir. Sıcaklığın azalmasıyla malzemelerin darbe direnci düşer. Bu düşüş aniden olabildiği gibi belirli bir sıcaklık aralığında da olabilir. Darbe direncinin aniden düştüğü sıcaklığa gevrek-sünek geçiş sıcaklığı denir. Düşüş aniden olmadığında bir geçiş sıcaklığı belirlemek zordur. Bu gibi durumlarda geçiş sıcaklık aralığı belirlenir ve bu gevrek-sünek geçiş aralığı olarak adlandırılır. Bu aralıkta düşük sıcaklığın altında malzeme gevrek



6. DENEY: MEKANİK TESTLER

yüksek sıcaklığın üstünde sünek davranır. İki sıcaklık değeri arasında ise iki davranışı birden gösterir (Şekil 5).



Şekil 6.12 Darbe direncinin sıcaklıkla değişimi.

T1 sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda malzeme gayet gevrek bir davranış gösterir. Kırılma, klivaj düzlemleri boyunca olup, kırılma yüzeyi kristalin (granüler= ince taneli) bir görünüştür. Bu sıcaklıklarda darbenin tesiri ile ilk çatlak kolayca meydana gelir ve çatlak malzeme içinde yüksek hızla ilerler.

T2 sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda ise malzeme sünek davranış gösterir. Bu sıcaklıklarda darbenin tesiri ile malzemede, önce bir plastik şekil değişimi daha sonrada kopma meydana gelir. Sünek davranıştan dolayı malzemede çatlak oluşumu güçleşir ve çatlağın yayılma hızı yavaşlar. Bu durumda kopma yırtılma şeklinde olup kopma yüzeyi lifi bir görünüm arz eder.

Geçiş aralığında her iki davranış birden görülür. Deneysel sıcaklığı T1 sıcaklığına yaklaştıkça gevrek davranış duruma hakim olur. Mühendislik uygulamalarında geçiş sıcaklığı T1 ve T2 sıcaklıklarının arasında bir değer olarak alınır.

Tg sıcaklığının tespitinde üç kriterden yararlanılır. Bunlar;

- 1- Kırılma enerjisi
- 2- Kırılma yüzeyinin görünüşü,
- 3- Kırılmadan sonra çentik tabanında meydana gelen enlemesine büzülme miktarı.

Kırılma enerjisi kriter olarak seçildiğinde genellikle 2-3 kg-m'lik kırılma enerjisine tekabül eden sıcaklık, geçiş sıcaklığı olarak kabul edilir.

Kırılma yüzeyi görünüşü kriter olarak alındığında kırılma yüzeyinde kristalin olarak görülen bölgenin tüm kesit alanına oranı tespit edilmeye çalışılır. Kesitte %50 kristalin görünüşü veren sıcaklık geçiş sıcaklığı olarak alınabilir.

6.3.3 İSTENENLER

- 1) Farklı sıcaklıklarda yapılan darbe deneylerinde, darbe deneyi sonucunda elde edilen darbe direnci ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi irdelleyiniz
- 2) Kırık yüzeylerinin incelenmesine dayanarak kırılmanın karakteri hakkında ne söylenebilir.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
6. DENEY: MEKANİK TESTLER



6.3.4 REFERANSLAR

- [1] Kayalı, E.S., Ensari, C., Dikeç, F., 1996, Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri
- [2] William F. Smith 2006, " Malzeme Bilimi ve Mühendisliği " (Çeviren: Nihat G., Kınikoğlu). Kimya-Metalurji Fakültesi, Ofset Atölyesi, İstanbul.
- [3] TS-269/75 Vurma Deneyi (Charpy ve Izod) Metalik Malzemedede.
- [4] BS EN 10 045-1:1990, Charpy Impact Test on Metallic Materials., ASM Metals Handbook, 1978, Vol 8, Mechanical Testing, Ninth Edition.



7. LİÇ VE SEMENTASYON

7.1 DENEYİN AMACI

Bakır sülfat ve kalkopirit esaslı bakır cevherinin asitli çözeltilerde bakır çözünürlüğünün ve çözünmeyi etkileyen parametrelerin incelenmesi, çözeltiye geçen bakırın sementasyon işlemiyle çöktürülerek geri kazanımının ve verimi etkileyen parametrelerin belirlenmesi.

7.2. TEORİK BİLGİLER

Genel olarak hidrometalurjik yöntemler iki aşamada gerçekleşmektedir. Birinci aşama çözeltiye alma aşamasıdır ve cevherdeki minerallerin uygun bir çözücü ile etkileşmesi sonucunda metallerin seçimli olarak çözeltiye alınması işlemidir. İkinci aşama ise çözeltiye alınan metallerin kazanılmasıdır.

Lіç işlemi madencilikten metal üretimine kadar geniş bir alanı kapsamaktadır. Liç işleminde kullanılan çözücü; su, asit, baz, tuz veya bunların karışımları olabilmektedir. Liç edilen madde ise cevher, konsantre, serbest metal, sülfür, karbonat, silikat, oksit ve sülfat gibi çeşitli bileşimdeki hammaddeler veya baca tozu, ara ürün ve metal içeren her türlü artık olabilir.

Cevherler, ocak üretimi ile liç işlemi arasında bazı hazırlık işlemlerine tabi tutulabilirler. Liç öncesi yapılan işlemler; kırma-öğütme, zenginleştirme ve kavurmadır. Liç işleminde amaç; seçici çözünme, hızlı çözünme ve toplam çözünme verimini arttırmaktır.

Faydalı mineraller, gang minerallerine oranla seçimli olarak liç edilmelidir. Çünkü seçimli liç ile reaktif harcaması minimuma indirilmekte ve çözeltiden metallerin kazanılması aşaması için temiz çözeltiler elde edilmektedir. Çözücünün bileşim ve derişimi, çözünme sıcaklığı, çözünme süresi ve pulpta katı oranı liç işleminde kontrol edilmesi gereken başlıca değişkenlerdir.

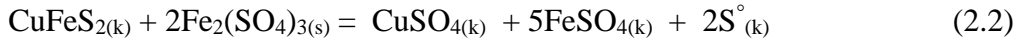
Bakır cevherleri genel olarak uzun yıllardan beri ve çoğunlukla pirometalurjik yöntemlerin kullanılmasıyla işlenmektedir. Ancak son yıllarda pirometalurjik yöntemlerin yerini hidrometalurjik yöntemler almaktadır. Pirometalurjik yöntemler çevreye salınan kükürtdioksit (SO₂) gazlarından, cevherin belli bir konsantrasyona kadar zenginleştirilmesi gerekliliği, bakırla beraber diğer metallerin kazanılmasında büyük kayıpların olmasından ve işletme maliyetlerinin yüksek olması gibi nedenlerle yerini hidrometalurjik yöntemlere bırakmaya başlamıştır. Bu yöntemlerde temel prensip cevher içindeki kıymetli elementi, olabildiğince seçici olan bir reaktif ile çözüdürerek çözeltiye almaktır.

Hidrometalurjik yöntemlerde maden yatağından çıkartılan bakır cevheri kırma ve öğütme işleminden sonra uygun liç çözeltisiyle çözüdürülmekte ardından elde edilen çözeltiden metalik bakır üretilmektedir. Bakır cevherlerinin liçinde sülfürik asit, amonyak, amonyum tuzları, klorür-sülfat çözeltileri, nitrat çözeltileri ve mikroorganizma bulunan çözeltiler kullanılabilir.

Bakır cevherleri arasında kalkopirit mineralini içeren cevherler diğerlerine göre çok daha fazla bulunmakta olup hidrometalurjik yöntemler üzerinde yapılan araştırma ve çalışmalar çoğunlukla bu tip cevherler üzerine yoğunlaşmıştır. Kalkopiritin sülfürik asitle liçinde oluşan reaksiyonlar aşağıda verilmiştir:



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Dene Föyü
7. DENEY: LİÇ VE SEMENTASYON



Liç işlemi öncesi yapılan kavurma işlemlerinde pirometalurjik yöntemlerde olduğu gibi ekonomik ve çevresel açıdan bir takım zorluklar vardır. Bu zorluklar özellikle sülfürlü cevherler belli bir tane boyutuna getirildikten sonra doğrudan liç işlemi uygulanarak ortadan kaldırılabilmektedir. Ancak doğrudan liç yöntemleri oksitli cevherlere rahatlıkla uygulanabilirken, sülfürlü cevherler için atmosferik şartlarda kuvvetli oksidan ortamlar veya otoklavlarda yüksek sıcaklık ile yüksek oksijen basıncına ihtiyaç olmaktadır.

Liç işlemi uygulamaları:

1. Yerinde (In-Situ) Liç: Patlayıcı maddeler kullanılarak yerinde kırılmış cevherin üzerine liç çözeltisi beslenir. Ucuz yatırım ve işletme maliyeti bu uygulamanın avantajlarıdır (Örnek; ekstraksiyon, taşıma ve katı-sıvı ayırımı gerektirmez). Uygulamada bu avantajları içermesine karşın yerinde liç, uygun jeolojik koşulların sağlanmış olmasını gerektirir ve ayrıca liç ürünleri seçimli değildir, bu da fazla miktarda çözücü tüketilmesine neden olur. Tepkimeler yavaştır ve çok düşük oranlarda metalik değerler çözündürülür,

2. Yığma ya da Yığın (Heap) Liçi: Liç çözeltisi, kırılmış ve sağlam bir zemin üzerine yığılmış cevherin üzerine beslenir, yığının içinden süzülen çözeltiler havuzlarda toplanır. Yığın liçinde, yerinde liç de olduğu gibi yatırım ve işletme giderleri düşüktür. Katı-sıvı ayırımı gerekli değildir. Ayrıca, devreye tekrar beslenmeleri nedeniyle metal yüklü liç çözeltilerinden faydalı minerallerin büyük bir kısmı çözünebilir. Diğer taraftan yığın liçinin metalurjik artıklara uygulanması durumunda, artıklar ancak ön cevher zenginleştirme işlemlerine tabi tutularak değerlendirilebilir.

3. Tank Liçi: Hammadde, kırma ve öğütme gibi ön hazırlıklardan geçirildikten sonra tankta liç işlemine tabi tutulur. Ön hazırlıklar ve hammadde maliyeti yüksektir. Ayrıca, liç tanklarının yatırım ve işletme maliyetleri diğer liç uygulamalarına göre yüksektir. Ancak, tank liçinde tepkime koşullarının kontrol altında tutulabilmesi en büyük avantajı oluşturmaktadır.

Oksitli Bakır Cevherlerinin Liçi: Oksitli bakır cevherlerinden bakır üretimi, asidik karakterli oksitli bakır cevherleri için sülfürik asit; bazik karakterli oksitli bakır cevherleri için amonyum hidroksit+amonyum karbonat liçi ile yapılmaktadır. Oksitli-sülfürlü bakır cevherlerinden ise flotasyon+liç işlemi ile bakır kazanılmaktadır. Örneğin; malakit, sülfürik asitte aşağıdaki tepkimeye göre çözünür:



Asit liçi uygulamalarında çözeltilere alınan bakır, sementasyon-elektroliz veya solvent ekstraksiyon-elektroliz yöntemlerinden biri ile değerlendirilir.

Çözünme Mekanizmaları

Liç işlemlerinde tepkime hızı; tepkimeye giren ya da tepkime ürünleri derişiminin zamana göre nasıl değiştiğini gösterir. Bilindiği gibi liç işlemlerinde çözünme hızı genellikle zamanla azalmaktadır. Bu durum; tepkime süresi ilerledikçe tepkimenin meydana geldiği yüzey alanının küçülmesi, çözücü derişiminin azalması veya yüzeyde koruyucu bir tabakanın oluşması



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
7. DENEY: LIÇ VE SEMENTASYON



(pasivasyon) nedeniyle meydana gelmektedir. Çözünme hızı aynı zamanda doğrudan aktivasyon enerjisine bağlıdır. Liç işlemlerinde aktivasyon enerjisinin büyüklüğü çözünme olayının zorluğunu gösterir. Yani zor çözünen mineral yüksek aktivasyon enerjisine sahip olmaktadır.

Liç işlemini Etkileyen Faktörler

Hidrometalurjik işlemlerin birçoğu heterojen reaksiyonlardan ibarettir (birden fazla faz arasındaki reaksiyon tipi). Bu reaksiyonların hızı öncelikle liç sisteminin hidrodinamiğine (karıştırma ve difüzyon gibi) ve sistemde mevcut bileşenlerin kimyasal etkileşimlerine bağlıdır. Açık bir ifade ile herhangi bir cevherin sulu bir ortamda liçi aşağıdaki faktörlerin etkisi altındadır:

1. Cevherin tane boyutu
2. Cevherin bileşimi
3. Çözücünün bileşimi ve derişimi
4. Çözücü ile cevherin temas süresi
5. Liç sıcaklığı

Sementasyon

Çözeltide bulunan herhangi bir metal iyonunun, (metallerin EMF serisinde gösterilen değerlere göre) kendisinden daha negatif elektrot potansiyeline sahip bir başka metalin (granül, levha, toz, hurda halinde) söz konusu çözeltiliye ilavesi ile metalik hale redüklenmesi işlemine “sementasyon” denir. Sementasyon esasında elektrokimyasal bir yer değiştirme reaksiyonudur. Sementasyon işlemi ya bir metalin üretimi ya da bir elektrolitin emprütelerinden arındırılması amacıyla uygulanır. Cu üretimi örnek alındığında sementasyon işlemi fakir çözeltilerin değerlendirilmesinde söz konusu olur. Bakırın sementasyon işleminde oluşan reaksiyonlar:

1. Anodik yarım hücre reaksiyonu ile Zn^{2+} iyonlarının oluşumu:



2. Katodik yarım hücre reaksiyonu ile metalik Cu bakır oluşumu:



3. Toplam hücre reaksiyonu:



şeklindedir. Sementasyon uygulanan çözeltilinin pH değeri son derece önemlidir. Asidik ortamlarda hidrojen iyonu konsantrasyonu yüksek olduğundan:



reaksiyonu uyarınca gelişmekte olan ikincil reaksiyon etkin duruma geçer. Böylece gereksiz yere sementatör tüketimi artar. Sementasyon yapılırken çözeltiler ya karıştırılmaz ya da çözeltilinin havalanmasına yol açmayacak kadar ağır devirde karıştırma yapılır. Şiddetli karıştırma nedeniyle sementasyon çözeltilisinin fazla miktarda çözülmüş oksijen içermesi durumunda metalik Zn ve Cu, çözülmüş oksijenin redüklenmesi sonucu iyonik duruma geçmektedir.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Denei Föyü
7. DENEY: LİÇ VE SEMENTASYON



Anodik reaksiyon:



Katodik reaksiyon:



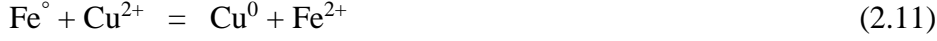
Reaction	$E^{\circ}, \text{V}(\text{SHE})$		
$\text{Au}^{+++} + 3e = \text{Au}$	+1.42	Noble	
$\text{Pt}^{++} + 2e = \text{Pt}$	+1.2	↑	
$\text{O}_2 + 4\text{H}^{+} + 4e = 2\text{H}_2\text{O}$	+1.23		
$\text{Pd}^{++} + 2e = \text{Pd}$	+0.83		
$\text{Ag}^{+} + e = \text{Ag}$	+0.799		
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e = 4\text{OH}^{-}$	+0.401	↓	
$\text{Cu}^{++} + 2e = \text{Cu}$	+0.34		
$\text{Sn}^{+++} + 2e = \text{Sn}^{++}$	+0.154		
$2\text{H}^{+} + 2e = \text{H}_2$	0.00		Reference
$\text{Pb}^{++} + 2e = \text{Pb}$	-0.126		
$\text{Sn}^{++} + 2e = \text{Sn}$	-0.140		
$\text{Ni}^{++} + 2e = \text{Ni}$	-0.23		
$\text{Co}^{++} + 2e = \text{Co}$	-0.27		
$\text{Cd}^{++} + 2e = \text{Cd}$	-0.402		
$\text{Fe}^{++} + 2e = \text{Fe}$	-0.44		
$\text{Cr}^{+++} + 3e = \text{Cr}$	-0.71		
$\text{Zn}^{++} + 2e = \text{Zn}$	-0.763		
$\text{Al}^{+++} + 3e = \text{Al}$	-1.66	↓	
$\text{Mg}^{++} + 2e = \text{Mg}$	-2.38		
$\text{Na}^{+} + e = \text{Na}$	-2.71		
$\text{K}^{+} + e = \text{K}$	-2.92		Active



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
7. DENEY: LİÇ VE SEMENTASYON



Sementasyon Kimyası: Eğer bir demir parçası bakır iyonları içeren sulu bir çözeltiye daldırılırsa, metalik metalik bakır çökmeye meylederken, demir çözeltiye geçme eğilimindedir. Bu reaksiyonun elektrokimyasal potansiyeli sürücü kuvvetidir.



$$E = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} - E_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} \quad (2.12)$$

$$E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0} = E^0_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{1}{a_{\text{Cu}^{2+}}} \quad (2.13)$$

$$E_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^0} = E^0_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{1}{a_{\text{Fe}^{2+}}} \quad (2.14)$$

T; sıcaklık (K), F; Faraday sabiti (96500 Coulomb/g), R; Gaz sabiti (8,31 Joule).

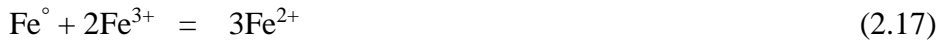
$$E = E^0_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0} - E^0_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{\text{Fe}^{2+}}}{a_{\text{Cu}^{2+}}} \quad (2.15)$$

Bakırın standart redüklenme potansiyeli bakır ve demir için sırası ile +0,34 ve -0,44 voltur. Bu değerleri (2.13) te yerine koyarsak

$$E = 0,78 - \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{\text{Fe}^{2+}}}{a_{\text{Cu}^{2+}}} \quad (2.16)$$

formülü elde edilir. (2.10) nolu reaksiyon E sıfıra yaklaşıncaya kadar devam edecektir. Bu şartlar iyon konsantrasyonlarının dengeye geldiği şartlar olarak belirir.

İyonik denge oranı $a_{\text{Fe}^{2+}}/a_{\text{Cu}^{2+}}$ 25°C'de 10^{25} 'dir. Çok büyük olan bu oran 1 nolu reaksiyonun tamamen sağa yöneleceğini göstermektedir. 1 nolu denkleme göre 1 mol demir (55,85 gr) 1 mol bakırı (63,54 gr) sement eder, bu değer 1 kg Cu başına kg demir olarak belirlidir. Endüstriyel uygulamalarda 1,5-2,5 kg demir aşağıdaki yan reaksiyonlardan dolayı gerekmektedir.



Havanın oksijeni doğrudan +2 değerlikli demiri oksitleyerek (2.14) nolu reaksiyona göre metalik demirin harcanmasına sebep olur. Sementasyon işleminde metallerin seçimi EMF serisine göre yapılır.

Cevher/	Element (% Ağırlık)						
	Cu	Fe	Co	Zn	Ni	Au(ppm)	Ag(ppm)
Küre Cevheri	1,5-2	47-49	0,08-0,12	0,1-0,15	0,3-0,4	0-0,5	-
Küre Konsantresi	18-20	47-49	0,08-0,12	0,1-0,15	0,3-0,4	4-4,5	20-22



7.3 DENEYDE KULLANILAN MALZEME VE CİHAZLAR

1. Kalkopirit cevheri
2. Bakırsülfat
3. Asit
4. Saf su
5. Hassas terazi
6. Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı
7. Pipet, piset, beher, huni, filtre kağıdı

7.4 DENEYİN YAPILIŞI

1. 10 gr/500 ml kalkopirit konsantresi ile 50°C’de liç işlemi gerçekleştirilir.
2. Çözeltiye geçen Cu miktarı Atomik Absorbsiyon Spektrometresi ile analiz edilir.
3. Verim değerinin yüksek ya da düşük olma gerekçesi tartışılır.
4. Semantasyon işlemi için 5 gr/200 ml bakır sülfat (CuSO₄) çözeltisi hazırlanır pH=3 ve pH=5 olarak ayarlanır ve stokiometrinin 1.5 katı Zn ve Fe semantatör ile semantasyon yapılır.
5. Her bir deney grubu için bakır kazanma verimi hesaplanır.
6. Elde edilen tüm sonuçlar yorumlanır.

Liç İşlemine Ait Hesaplamalar:

% Liç Verimi = [Çözeltiye geçen Cu miktarı (mg/L) / Numunedeki Cu miktarı (mg/L)] x100

Semantasyon İşlemine Ait Hesaplamalar:

% Semantasyon verimi= [Çöken bakır miktarı (g/l) / Çözeltide başlangıçtaki bakır miktarı (g/l)] x 100 formülünden hesaplanır.

7.5 İSTENENLER VE ÖDEVLER

1. 5 gr/200 ml CuSO₄ içeren konsantre çözeltisi ile yapılan deney sonuçlarında elde edilen çözeltilerin Fe ve Zn tozu ile çöktürüldükten ve filtre edildikten sonraki Cu analizi sonuçlarını kullanarak çöktürülen bakır verimini hesaplayınız.
2. Çökme verimleri ile pH değerleri arasındaki ilişkiyi gerekçeleriyle yorumlayarak açıklayınız.
3. Hangi semantatör kullanımında semantasyon verimi daha yüksek olmuştur; gerekçeleri ile birlikte açıklayınız.
4. Kalkopirit konsantresinden yapılan liç işlemi verimini hesaplayınız ve sonucu yorumlayınız.

Ödev: Atomik absorbsiyon cihazının çalışma prensibini açıklayınız.

7.6 KAYNAKLAR

- [1] Aydoğan, S. (2000) ,”Hafif Madentepe Bakır Cüruflarının Sulfürik Asit, Asidik Ferik Sülfat ve Amonyak Liçi Koşullarının Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deneý Föýü
7. DENEY: LİÇ VE SEMENTASYON



- [2] Canbazođlu, M. (1979), "Hidrometalurjide Yeni Gelişmeler", TMMOB Maden Müh. Odası, Madencilik, 21-38.
- [3] Canbazođlu, M. (1979), "Sülfürlü Cevherlerin Hidrometalurjik Yöntemlerle Deđerlendirilmesi" TMMOB.Maden Müh.Odası, Madencilik Dergisi, 9-20.
- [4] Canbazođlu, M. (1986), "Hidrometalurji", TMMOB Maden Müh. Odası, Madencilik, 39-52.
- [5] Venkatachalam, S (1991), "Treatment of Chalcopyrite Concentrates by Hydrometallurgical Techniques", Mineral Engineering, 4(7-11), 1115-1126.
- [6] Bor, F.Y., 1989, "Ekstraktif Metalurji Prensipleri Kısım:II", İTÜ Matbaası, İstanbul.
- [7] Habashi, F., Principle of Extractive Metallurgy, Volume 2, Science Publishers, Paris, 1980.



8. DENEY: GERİ DÖNÜŞÜM

8. GERİ DÖNÜŞÜM

8.1 DENEYİN AMACI

Deneyin amacı; hurdadan, ikincil alüminyum üretim prosesleri hakkında öğrenciyi bilgi sahibi hale getirmektir.

8.2 TEORİK BİLGİLER

TEMEL TANIMLAR

Atık (Waste): Bertaraf edilen ya da bertaraf edilmesi gerekli olan maddeler ve materyallerdir.

Tekrar Kullanım (Reuse): Atıkların toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekli ile ekonomik ömrü doluncaya kadar defalarca kullanılmasıdır.

Geri Dönüşüm (Recycling): Parçanın ömrü tamamlandığında malzemelerinin tekrar hammadde olarak üretim sürecine kazandırılması işlemleridir.

Geri Kazanım (Recovery): Tekrar kullanım ve geri dönüşümü de kapsayan; atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir.

Geri Dönüşüm Oranı (Recycling Rate): Geri dönüşüm işlemleri sonucunda üründen ayrılan ve geri dönüştürülmeye olanağı olan malzemelerin ürün ağırlığına oranıdır.

ALÜMİNYUM GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Hurdadan alüminyum eldesi için kullanılan belli başlı hurdalar şunlardır;

- İçecek kutuları,
- Folyolar, kek ve pasta kapları, bazı mutfak kapları,
- Levhalar,
- Alüminyum pencere profilleri,
- Bahçe mobilyaları ve benzeri eşyalar
- Kablolar
- Havacılık kaynaklı hurdalar
- Otomotiv kaynaklı hurdalar
- Döküm, ekstrüzyon, talaşlı işleme gibi imalat süreçlerinin iç hurdaları

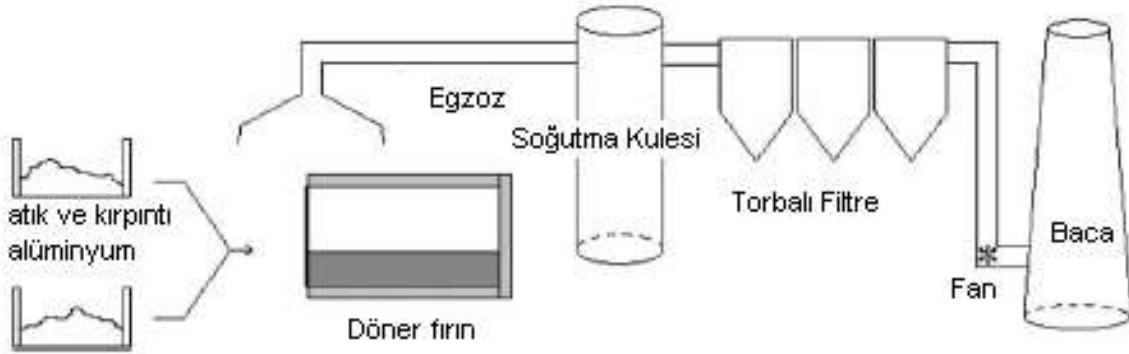


Şekil 8.1 Alüminyum hurdalarına örnekler



8. DENEY: GERİ DÖNÜŞÜM

Ayrıştırma tesislerine diğ er ambalaj atıkları ile birlikte getirilen kirli ve üzeri boyalı veya kaplı kullanılmış alüminyum konveyör banda konur. Konveyör boyunca alüminyum bazı büyük miktatlardan geçirilir. Bu şekilde çelik veya diğ er metaller ayrıştırılır. Diğ er malzemelerden ayrıştırılan alüminyum kutular ve malzemeler ezilir ve balyalama makinesi ile balyalanır. Balyalanmış alüminyum, üretim tesisine gönderilir. Balyalamanın temel nedeni taşıma maliyetini en aza düşürmektir. Balyalanmış alüminyum aşırı nem içerebilir. Nem fırında patlamalara neden olur. Bunu önlemek için önce balyalar parçalanır. Alüminyum daha sonra üzerinde bulunan tüm boya ların, nemin ve kirliliklerin giderilmesi için sıcak fırına konur. Fırında alüminyum üzerindeki boya lar ve kaplamalar giderilinceye kadar ısıtılır. Daha sonra külçe haline getirmek için döner fırına konur ve 720 °C'ye kadar ısıtılır. Katı alüminyumun tam olarak ergimesi için karıştırılır. Oluş an gazlar güçlü fanlarla ortamd an giderilir. Gazlar önce soğ utulur ve sonra torbalı filtrede partiküller bertaraf edilir. Arıtılmış gazlar yüksek bir bacadan atmosfere atılır. Ergiyik hale gelen alüminyum fırının tabanında toplanır ve buradan alınarak kalıplara dökülür. Çeşitli işlemlerden sonra tekrar alüminyum kutu veya diğ er alüminyum malzeme üretiminde kullanılır.



Şekil 8.2 Alüminyum geri dönüşümünde kullanılan bir ünitenin şeması

Kullanılmış alüminyum geri kazanılarak sadece katı madde miktarı azaltılmaz aynı zamanda boksit madeni doğ al kaynağı ve enerji korunmuş olur.

Bir ton kullanılmış alüminyumdan alüminyum üretildiğinde;

- 1.300 kg boksit,
- 15.000 litre soğ utma suyu,
- 860 litre proses suyu daha az kullanılır.
- 2.000 kg CO₂ ve 11 kg SO₂ emisyonu daha az oluşur.

Hurdadan alüminyum üretimi için gereken enerji, boksit madeninden üretim için gerekli enerjinin 20'de biridir. Böylece önemli oranda enerji kaynağı korunmuş olur. Kullanılmış alüminyum geri kazanılıp üretime sokulduğ unda %99 oranında baca gazı kirletici emisyonu azalır. Kullanılmış alüminyum geri kazanılması demek, daha az enerji ve hammadde tüketimi demektir. Kullanılmış alüminyumdan alüminyum üretilerek sera gazı emisyonu %95 ve atık su kirlenmesi %97 oranında azaltılabilir.



8. DENEY: GERİ DÖNÜŞÜM

DEMİR-ÇELİK GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Demir, yerkabuğunda en çok bulunan 3. metaldir. Demir metali, demir cevherlerinden elde edilir ve doğada nadiren elementel halde bulunur. Metalik demir elde etmek için, cevherdeki katışıqların (kimyasal indirgenme yoluyla uzaklaştırılmaları gerekir. Demir, aslında büyük ölçüde karbonlu bir alaşım olarak kabul edilebilecek olan çelik yapımında kullanılır. Demir, karbonla birlikte 1150-1200°C sıcaklığa kadar ısıtıldığında oluşan sıvı ergiyik %96,5 demir ve %3,5 karbon içeren bir alaşımdır ve dökme demir veya pik olarak adlandırılır. Bu ürün ince detaylı şekiller halinde dökülebilirse de, içerdiği karbonun çoğunu uzaklaştırmak amacıyla dekarbürize edilmediği sürece, işlenebilmek için fazlasıyla kırılıgandır. Genel olarak yerkabuğunda bulunan demir filizleri (cevherleri) hematit, limonit, götit, manyetit, siderit ve pirittir.

Genel hurda tipleri:

- Dönen hurda; kimyasal analizi çok iyi bilinen çelikhane, dökümhane, haddehane gibi birimlerden gelen yüksek kaliteli hurdalardır.
- Piyasa hurdası; çok az kükürt ve fosfor içeriği olan ve özellikle otomobil kaportalarından gelen hurdalardır.

Hurdalarda dikkat edilmesi gereken yabancı maddeler demirden daha düşük oksijen afinitesine sahip olan maddelerdir. Bunlardan özellikle dikkat edilmesi gerekenler bakır ve kalaydır.



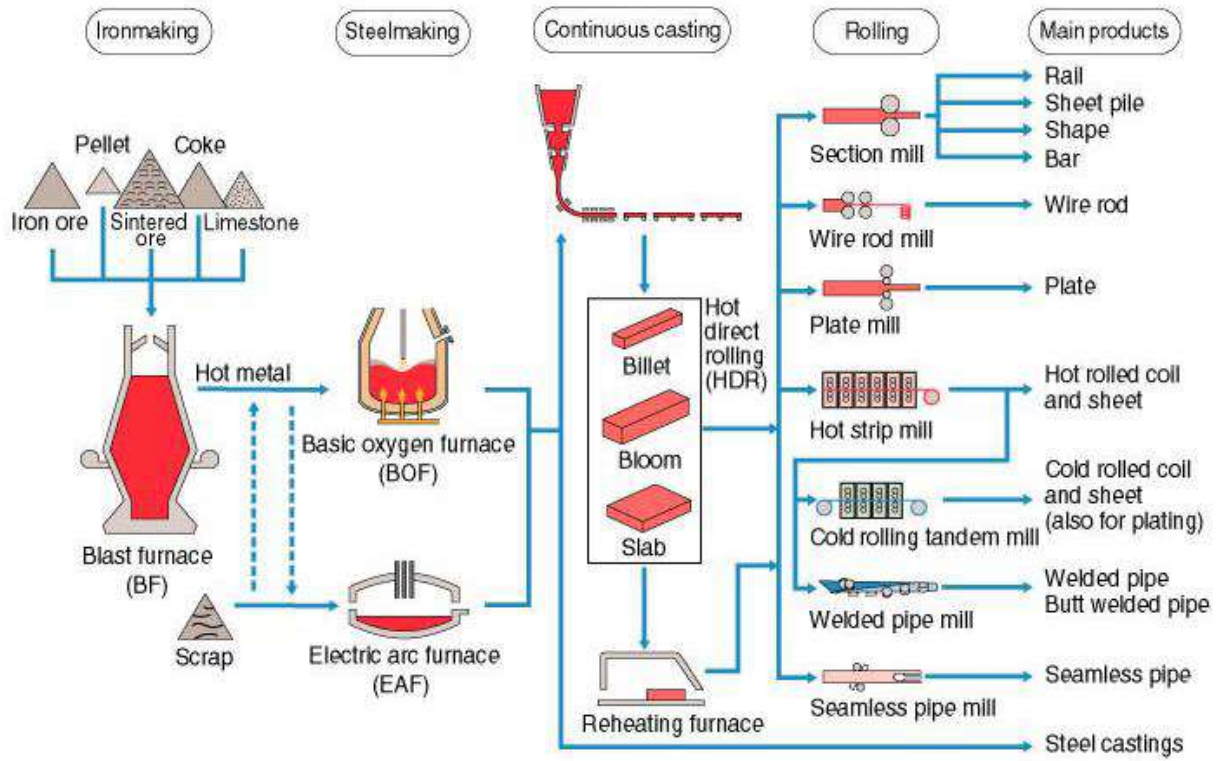
Şekil 8.3 Demir-çelik hurdalarına örnekler

Demir-Çelik endüstrisinde hurdadan geri dönüşüm elektrik ark fırınlarında gerçekleştirilir. Elektrik ark ocağı demir çelik üretiminde bir alternatiftir. Temel oksijen metodunun aksine elektrik ark ocağı sıcak metal kullanmaz. "Soğuk" metal ile doldurulur (bu da normal olarak hurda çeliktir). Hurda çelik elektrik ark ocağına üstten vinçle boşaltılır, ardından ocağın kapağı örtülür. Bu kapak ark ocağına indirilen üç tane elektrot taşır. Elektrotlardan geçen elektrik, bir ark oluşturur ve açığa çıkan ısı hurdayı ertirir. Bu işlemde kullanılan elektrik miktarı 100.000 kişilik bir şehrin ihtiyacını karşılayacak kadar fazladır. Ergitme prosesinde diğer metal alaşımlar gerekli kimyasal kompozisyonu sağlamak için ilave edilir. Çeliği saf hale getirmek için ayrıca oksijen de üflenir.

8. DENEY: GERİ DÖNÜŞÜM



Şekil 8.4 Çalışmakta olan bir elektrik ark ocağının görüntüsü



Şekil 8.5 Demir-Çelik üretiminin genel akım şeması



8. DENEY: GERİ DÖNÜŞÜM

BAKIR GERİ DÖNÜŞÜMÜ

İkincil bakır üretimi için genellikle şu hurdalar kullanılmaktadır;

- Filmaşinler
- Isı deęiřtiriciler
- Bakır borular
- Kablolar ve elektrik bağlantı parçaları
- Elektrik motoru, jeneratör, trafo bobinleri
- Çeşitli bakır sac ve levhalar



Şekil 8.6 Bakır hurdalarına örnekler

Hurdadan bakır üretimi iki şekilde yapılmaktadır;

1. Özel bir ikincil bakır fırınında yapılan üretim. En az %60 bakır ve çok oksitlenmiş bakır içeren atık/hurdaların geri dönüştürülmesinde kullanılır.
2. Birincil bakır üretiminin ergitme kademesinde şarjın bir kısmı olarak yapılan üretim. %90'ın üzerinde bakır içeren hurdaların geri dönüştürülmesinde kullanılır.



Şekil 8.7 Yukarıda adı geçen ikinci yöntemin akım şeması



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü



8. DENEY: GERİ DÖNÜŞÜM

3. Hurdadan elde edilen bakırın maliyeti, cevherden elde edilen bakırdan daha düşüktür. 1 ton bakırın hurdadan geri dönüştürülmesi ile cevherden eldesi arasında %85'lik bir enerji tasarrufu sağlanmaktadır.
4. Dünyada bilinen rezervlerin %12-13'ünün kullanıldığı göz önüne alınırsa rezervlerinin ömrünün kısıtlı olduğu görülmektedir. Bu sebeple geri dönüşüm ile hammadde kaynaklarının ömrü uzatılmaktadır.
5. Atıkların, katı atık sahalarına gömülmesi, bu sahaların hızlı bir şekilde dolması ve atıkların uzaklaştırılması için çok maliyetli bir işlem olması açısından geri dönüşümle üretim bu maliyetleri bertaraf etmekle beraber hammadde olarak kullanılabilmesini sağlamaktadır.
6. Geri dönüşüm esnasında daha düşük miktarda gaz ve toz açığa çıktığı için çevre dostu bir sistemdir.

8.3 DENEYDE KULLANILAN MALZEME VE CİHAZLAR

Malzemeler:

- Alüminyum hurdası
 - Kalın hurda (Döküm parçalarından kesilen atıklar ve benzeri parçalar)
 - İnce hurda (İşleme talaşları)
- Flaks (Bileşim ve oranlar deney esnasında verilecektir.)

Cihaz/Techizat

- Ergitme potası
- Ergitme fırını
- Hidrolik pres
- Silindirik çelik kalıp
- Etüv
- Hassas terazi
- Metal döküm kalıbı

8.4 DENEYİN YAPILIŞI

İlk olarak önceden belirlenen toplam ergitme miktarının çoğunluğunu oluşturacak kalın hurda tartılıp, ergitme potası içinde fırına yerleştirilir ve 720°C'da ergitilir. Bu ergitme ile pota içerisinde bir sıvı metal havuzu oluşturulur. Kalın hurdaların ergimesi esnasında ince hurda talaşlar silindirik çelik kalıp içerisinde hidrolik pres kullanılarak briketlenir. Bu noktada pres sıkıştırma basıncı ve briketlerin doluluk oranı hesaplanacaktır. Ergitme potasına yerleştirilmeden önce briketler etüvde bir süre ön ısıtma işlemine tabi tutulur. Ön ısıtma süresi ve sıcaklığı deney esnasında belirlenecektir. Sonrasında briketler pota içerisine sıvı metal havuzuna eklenir. Briketlerin ergime sürecinde flaksı oluşturacak toz kimyasallar hassas terazide tartılarak bir kap içinde karıştırılır. Bu karışım pota içine eklenir ve bir çubuk vasıtasıyla sıvı metale karıştırılır. Yaklaşık on dakikalık bir fırın içinde bekletmenin ardından



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
8. DENEY: GERİ DÖNÜŞÜM



sıvı alüminyum metal kalıba dökülerek katılaştırılır. Ardından dökülen metal tartılarak toplam ergitme ve geri dönüşüm verimi hesaplanacaktır.

8.5 İSTENENLER VE ÖDEVLER

Gerekli hesaplamalar öğrenciler tarafından deney sürecinde gerçekleştirilecek ve her deney sonu istenen ödev/ödevler öğrencilere bildirilecektir.

8.6 KAYNAKLAR

1)<http://www.kimyaevi.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFF8007620E7D5602E8B856E08843ECBADB> (Erişim Tarihi : 10.09.2020)

2)http://celik.org.tr/wp-content/uploads/2016/12/4-TCUD-Curuf_Rapor.pdf(Erişim Tarihi: 10.09.2020)

3)<http://www.brighthub.com/environment/green-living/articles/66929.aspx> (Erişim Tarihi: 10.09.2020)



9. İNDİRGENME ELEKTROLİZİ

9.1 DENEYİN AMACI

Bu deneyde; elektroliz olayının öğrenilmesi, bakırın rafinasyon (saflaştırma) ve redüksiyon (geri kazanım) işlemlerinin öğrenilmesi ve çözeltiye alınmış bakır kullanılarak elektrolitik bakır elde edilmesi amaçlanmaktadır.

9.2 TEORİK BİLGİLER

Elektrometalurji

Cevher veya metal içeren her çeşit ham madde içindeki metalleri elektrik enerjisinden faydalanmak suretiyle üretmeye “Elektrometalürji” denmektedir. Gerçekte elektrometalurji, elektrokimyanın bir uygulamasıdır. Burada elektrokimya metodlarının metallere uygulanması yapılmaktadır.

Elektroliz

Elektrik akımının sulu veya eriyik elektrolitlerden geçirilmesiyle meydana gelen kimyasal ayrışma sonucu katotta metal iyonlarının ve anotta ise metalik olmayan iyonların serbest hale gelmesi olayıdır. İyonlar elektrotlarda deşarj edilerek; serbest hale geçirilebilir, element olarak toplanabilir ve elektrot ile reaksiyon yapabilir.

Elektrot : Elektrik akımını, sıvı, katı, gaz faza ileten iletken. Elektrokimyasal anlamda elektrot, elektrot iletkeni ile iyonik iletkeni birleştiren sistemdir.

Elektrolit : İçinde (+) ve (-) yüklü serbest iyonları bulduran ortamlardır. Elektrolizde kullanılan elektrik akımını ileten sıvıdır. Erimiş tuzlar ve asit, baz, tuz çözeltileri elektrolit olarak kullanılır.

Elektroliz hücresi : Dışarıdan gerilim uygulanarak, elektriksel işin kimyasal işe dönüştürüldüğü hücrelerdir.

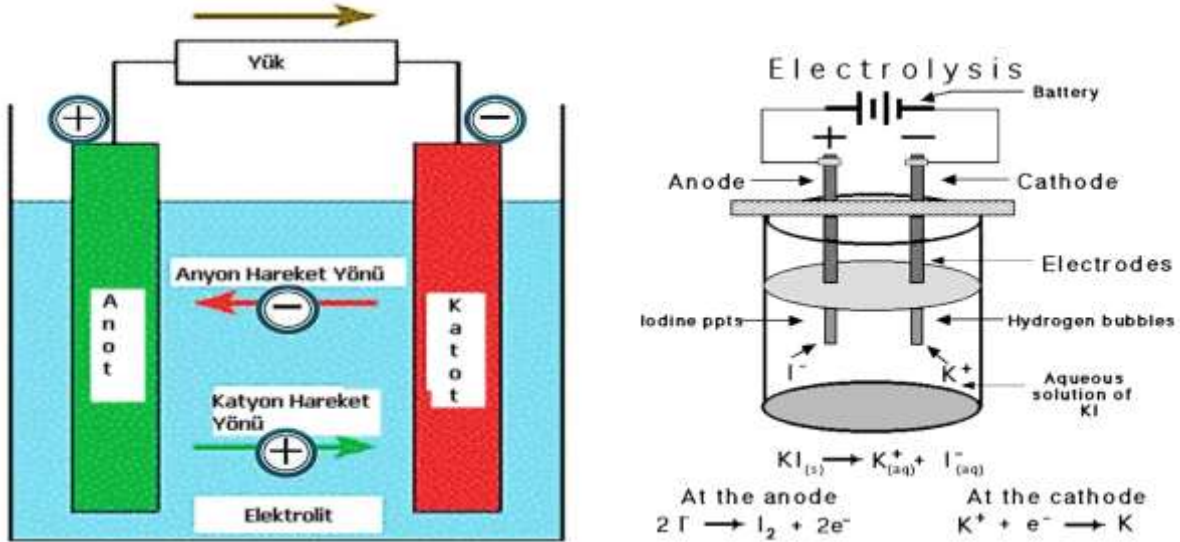
Üreteç: Dış devrede elektrik enerjisini sağlayan doğru akım kaynağıdır. Üretecin pozitif kutbuna bağlı elektrot anot, negatif kutbuna bağlı elektrot katottur.

Elektrolizde; katyonlar (+ yüklü iyonlar) indirgenerek katotta, anyonlar da (- yüklü iyonlar) yükseltgenerek anotta açığa çıkar. Elektroliz kabında birden fazla tür katyon varsa, ilk önce indirgenme eğilimi (potansiyeli) en büyük olan indirgenir. Daha sonra sırası ile indirgenme devam eder. Elektroliz kabında birden fazla cins anyon varsa, anotta ilk önce yükseltgenme eğilimi en büyük olan anyon toplanır. Aktifliği az olan anyon öncelikle anotta, aktifliği az olan katyon da öncelikle katotta açığa çıkar. Elektrolizde bileşikler elementlerine ayrıştırılabilir. Elektrokimyasal pile, pil geriliminden yüksek bir gerilim uygulanırsa, pil de gerçekleşen tepkime tersine döner. Elektroliz oluşur. Bu olaya pilin şarj edilmesi denir.

Elektroliz işlemi, elektroliz kabı ya da tankı denen bir hücre içinde uygulanır. Bu hücre, çözünerek artı ve eksi yüklü iyonlara ayrılmış bir bileşiğin içine daldırılmış iki elektrottan oluşur ve bu elektrotlar birbirine değmeyecek biçimde (genellikle iki elektrot arası 5-20 cm) ayarlanır. Elektroliz işleminin gerçekleştirilmesi için bu elektrotlar bir doğru akım kaynağına



bağlanır ve elektrotlar arasında meydana gelen gerilim (elektrik alan), iyonları karşıt yüklü elektroda (kutup) doğru hareket ettirir. Dolayısıyla, (+) yüklü iyonlar katoda giderken, (-) yüklü iyonlar anoda doğru akarlar. Karşıt kutupta yükünü dengeleyen atom veya moleküller elektrotta çökelir veya elektrolit içindeki moleküllerle yeni reaksiyonlara girer.



Şekil 9.1 Elektroliz yöntemi

Endüstride bakırın (Cu) elektroliz işlemi iki amaçla kullanılır. Bunlardan biri, saf olmayan bakır metalini içindeki safsızlık oluşturan yabancı maddelerden arıtarak katot üzerinde toplamak amacıyla yapılan bakırın saflaştırılması işlemi; diğeri ise bakır metalini sulu çözeltilerden kazanmak için yapılan bakırın geri kazanımı işlemidir.

Elektrolizin Uygulama Alanları

Elektroliz işlemleri daha önce de bahsedildiği gibi, elektrolizle metalürji alanında, metallerin hazırlanmasında (çözünmez anot kullanılan yöntem-geri kazanım elektrolizi) ya da arıtılmasında (çözünür anot kullanılan yöntem-saflaştırma elektrolizi) kullanılır. Ayrıca, bir elektrolitik metal birikimiyle aşınmaya karşı korumada ve bir metal çökeltisiyle metallerin kaplanmasında (sözelimi; nikel kaplama, çinko kaplama, kadmiyum kaplama, krom kaplama, gümüş ya da altın kaplama) kullanılan bir yöntemdir. Saf hidrojen de, özellikle, suyun elektroliziyle elde edilir. Uygulama alanları arasında, gaz üretimi (klor), metal üstünde koruyucu oksitli anot tabakalarının elde edilmesi (alüminyumun, alümina aracılığıyla anotlaştırılması işlemi) elektrolizle parlatma, metallerin katot ya da anot olarak yağlardan arındırılması sayılabilir. Elektroliz, akım şiddetlerinin, özellikle voltmetrelerdeki akım miktarlarının ölçülmesine de olanak verir. Sürekli akım yardımıyla, organik dokuların ayrıştırılmasına dayanan tedavi elektrolizi, cerrahide sinir uçlarının (nöronların), sertleşen ırların, burun deliklerindeki poliplerin yok edilmesinde, üretra yada yemek borusu daralmalarının tedavisi gibi tıp uygulamalarında da kullanılmaktadır.



Bakırın Rafinasyon (Saflaştırma) Elektrolizi

Bakırın rafinasyon elektrolizi yeterli saflıkta rafine bakır elde edilmesini sağlayan bir elektroliz işlemi olup, bu işlem çözünebilir bakır anotlarla yapılmaktadır. Elektrolit olarak bakır sülfat (CuSO_4) ve H_2SO_4 çözeltisi kullanılmaktadır. Çözelti içine daldırılan bakır elektrotlardan biri saf bakırken diğeri saf olmayan bakırdır. (+) yüklü anot olarak, yüksek sıcaklıklarda saflaştırma işlemiyle elde edilen (%98-99 saflıkta) bakır (blister bakır) elektrotlar kullanılmaktadır. Bu elektrotlar bileşimlerinde safsızlık olarak, O, S, Au, Ag, Pt ve çeşitli miktarlarda As, Sb, Bi, Sn, Se, Te, Pb, Zn, Fe bulundurmaktadır. (-) yüklü katot olarak ise, üzerine elektrolitik bakır kaplanmış titan levhalar veya yapışmayı önlemek için üzeri yağ ile sıvanmış bakır levhalar (%99,5 saflıkta) kullanılır. Elektronlar, elektrolit dışında anottan katoda doğru akarlar; elektrolit içinde katottan anoda doğru akarlar. Uygun şartlarda anot oksitlenerek çözeltilmeye geçer ve katotta indirgenir. Anottaki diğer safsızlıkların bir kısmı çözünmeyerek, anottan kopup hücrenin alt kısmında toplanırlar. Bu artık malzemeye “**anot çamuru**” denir. Bazı safsızlıklar ise çözünerek elektrolite geçer. Anot ve katot aynı bileşimde olduğu için ayrışma voltajı teorik olarak sıfırdır ve hücre voltajı elektrolit direncinin biraz üzerinde bir değerdedir.

Elektrolitik rafinasyon uygulaması iki nedenle yapılır. Temel amaç iletkenliğin azalmasına neden olan empüritelerden arınmakken, rafinasyon işlemi sırasında anot çamuruna geçen soy metal ve yarı metalik metallere (Se, Te) rafineside maliyeti karşıladıklarından işletmeye artı değer kazandırır.

Anot ve katot arasında akım uygulandığında $\text{CuSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ türü elektrolitte şunlar gerçekleşir:

Klasik bakır saflaştırma elektrolizinin çalışma koşulları 0.2-0.35 V hücre voltajı şeklindedir. Elektroliz şartları aşağıda verildiği gibidir:

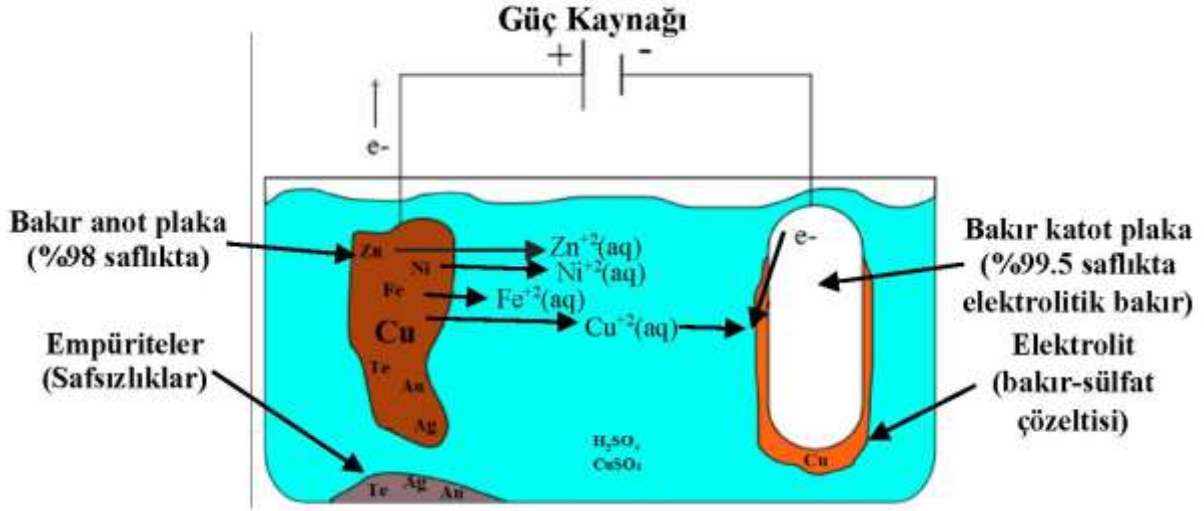
- Elektrolitte 35-50 g/l Cu ve 140-220 g/l H_2SO_4
- Sıcaklık 50-65 °C
- Katot akım yoğunluğu 150-250 A/m^2 (15-25 mA/cm^2)

Bakırın saflaştırılması elektrolizinde meydana gelen reaksiyonlar;

Anot reaksiyonu: $\text{Cu}^0 \rightarrow \text{Cu}^{+2} + 2\text{e}^-$ (Burada bakır, anodik oksidasyon sonucu Cu^{+2} iyonları halinde çözünür.)

Çözünmüş olan (+) yüklü bakır iyonları (Cu^{+2}) katot yüzeyine ulaşır.

Katot reaksiyonu: $\text{Cu}^{+2} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^0$ (Burada Cu^{+2} bakır iyonları, anottan iletilmiş olan elektronlarla tekrar birleşerek metal durumuna indirgenirler.)



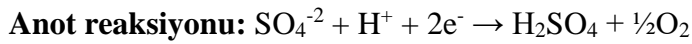
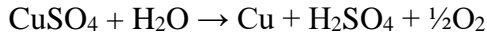
Şekil 9.2 Bakırın saflaştırma elektrolizi

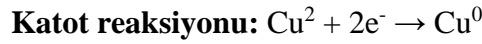
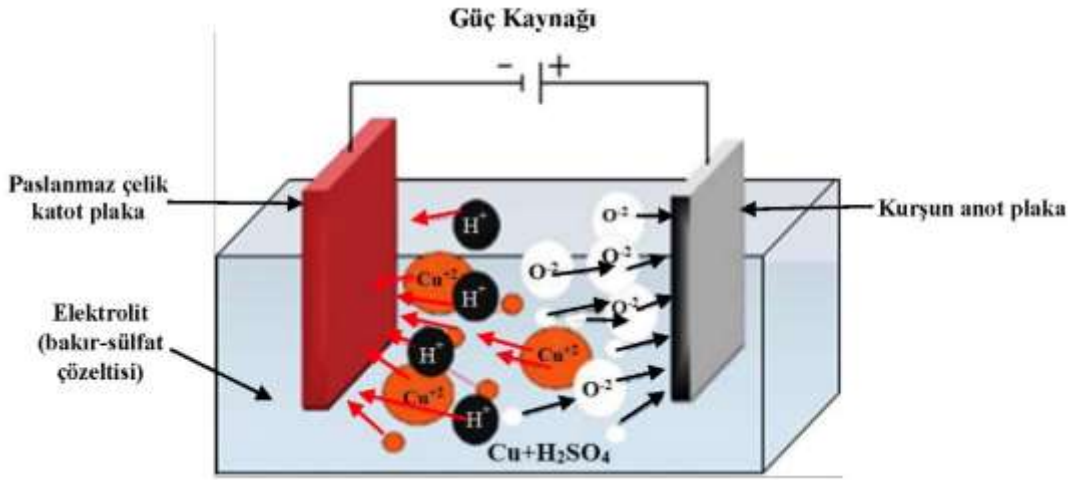
Bu seçeneklerden bakır rafinasyon elektrolizinde enerji tüketimi olmadığı görülür. Ancak anodik ve katodik reaksiyonlar kinetik engelli olduğundan fazla voltajların uygulanması gerekir ve bağlantı yerlerindeki dirençlerden dolayı voltaj düşüşü de göz önüne alınmalıdır.

Bakırın Redüksiyon (İndirgenme) Elektrolizi

Bakırın geri kazanım elektrolizi, çözeltilerden bakır elde edilmesini sağlayan bir elektroliz işlemi olup, bu işlem sırasında çözünmeyen anot ve katot elektrotlar kullanılmaktadır. Anot olarak genellikle %4-6 Sb içeren sert kurşun alaşımı kullanılırken, katot olarak paslanmaz çelik ve son zamanlarda titan levhalar kullanılmaktadır. İndirgenme işlemi için, 40-60 °C sıcaklık ve 70-150 A/m² akım yoğunluk değeri seçilir. Elektroliz sırasında çözeltide bulunan (-) yüklü iyonlar anoda, (+) yüklü iyonlar katoda gider. Anyonlar anot yüzeyinde oksitlenirken, katyonlar katot yüzeyinde indirgenirler. Termodinamik olarak bakır indirgenme elektrolizi 0,89 V'ta gerçekleşir.

Bakırın redüksiyon elektrolizi sırasında gerçekleşen reaksiyonlar;





Şekil 9.3 Bakırın geri kazanım elektrolizi

Bakırın saflaştırma ve geri kazanım elektrolizleri arasındaki farklardan biri, ‘katot’ reaksiyonlarının aynı olmasına rağmen ‘anot’ reaksiyonlarının farklı olmasıdır. Ayrıca bakırın saflaştırılması elektrolizinde, anottan çözünen metal iyonları katotta indirgenirken; bakırın geri kazanım elektrolizinde, (çözünmeyen %4-6 Sb içeren kurşun alaşımı kullanıldığı için) anot reaksiyonu elektrolit içerisinde bulunan bir anyon veya molekülün oksidasyonu ile gerçekleşir.

Elektroliz Şartları ve Katkı Maddeleri

Tablo 9.1 Elektroliz şartları ve katkı maddeleri

Parametereler	Koşullar
Elektrolitteki bakır derişimi	35-50 gr/l
Elektrolitteki H ₂ SO ₄ derişimi	140-220 gr/l
Sıcaklık	50-65 °C
Katot akım yoğunluğu	150-250 A/m ²
Hücre voltajı	0,2-0,35 V
Sirkülasyon hızı	0,02 m ³ /dak.
Kolloidler	
Jelatin	0,0001-0,001 kg/m ³
Thiourea	0,0001-0,001 kg/m ³
HCl veya NaCl	0,035 kg/m ³



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deneysel Föyü
9. DENEY: İNDİRGENME ELEKTROLİZİ



Kolloid homojen bir karışımdır. Bu homojen karışım içerisinde jelatin ve thiourea içerir. Jelatin, bakırın katot yüzeyine homojen ve düzgün bir şekilde bağlanmasını sağlar ve ince kristalli sert bir bakır yapısı oluşturur. Jelatinin yan etkilerini ortadan kaldırmak için ise thiourea kullanılır. Thiourea'nın diğer bir görevi de katot yüzeyindeki sivri uçları ve çukurları izole eder. Diğer bir katkı maddesi olan mersolat, antioksidan görev görür ve katot yüzeyindeki sülfatlanmayı geciktirir. HCl'nin homojen karışım içine katılmasının amacı ise elektrolit içindeki gümüş iyonlarını (Ag^+), gümüş klorür ($AgCl$) halinde çökmesini sağlamaktır.

Hesaplamalar

Bir elektroliz devresinde, 't' zaman boyunca 'I' akımının geçmesiyle işlem sonunda teorik olarak **elde edilmesi gereken ürün miktarı** Faraday eşitliği ile hesaplanır:

$$M_T = (I \cdot t \cdot M_a) / (Z \cdot F) \quad * ;$$

Bu eşitlikte,

M_T = Elde edilen (katotta biriken) ürün miktarını,

I = Devreden geçirilen akım şiddetini (A),

t = Zamanı (sn),

M_a = Katotta biriken maddenin atom ağırlığını (Cu için : 63 gr/mol),

Z = Katotta biriken maddenin bileşikteki değerliğini (Cu için : 2),

F = Faraday sabitini ifade etmektedir (96500 Coulomb).

Elektroliz işlemlerinde akım yoğunluğu, devreden geçen akımın elektrolit içine daldırılan katot elektrodunun elektrot içine batan alanına oranı ile hesaplanmaktadır:

$$\text{Katot Akım Yoğunluğu} = \left(\frac{\text{Devreden Geçen Akım (A)}}{\text{Katodun Elektrolite Dalan Kısmının Alanı (m}^2\text{)}} \right)$$

Deneyler sırasında devreden geçen akımın bir kısmı dirençleri yenmek için kullanıldığından, elektrolizle elde edilen ürün teorik üründen daha az olmaktadır. Elde edilen ürünün (M_G) teorik ürüne (M_T) oranının 100 ile çarpılması sonucunda ise **** $\beta = [(M_G / M_T) \times 100]$, % akım randımanı (verimi)** elde edilmektedir. Katotta toplanan veya anottan ayrılan madde miktarı Faraday eşitliği ile hesaplanan teorik değere eşit ise akım verimi %100, eşit değil ise %100'ün altında olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, **[($M_T - M_G$)/ M_T] $\times 100$** işleminin sonucunda çıkan değer ise **deneysel % hata payını** vermektedir.

Örnek Çalışma;

a-Rafinasyon Elektrolizi

Deneye başlamadan önce Tablo 1'deki verileri kullanarak elektrolit sıvısı hazırlandı. Hazırlanan elektrolit behere konuldu. Daha sonra katot levhası alkolle temizlenip kurutuldu ve hassas terazide ağırlığı ölçüldü. Hazırlanan elektrolitin sıcaklığı $65^\circ C$ 'ye çıkartıldı ve bu sırada



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
9. DENEY: İNDİRGENME ELEKTROLİZİ



manyetik karıştırıcı çalıştırıldı. Katot levhasının elektrolit içindeki yüzey alanı ölçülerek akım yoğunluğu hesaplandı. Hazırlanan anot ve katot levhalar güç kaynağına bağlanarak hesaplanan akım yoğunluğuna uygun akım verildi. Elektroliz işlemi 15 dakika sürdükten sonra güç kaynağı tam zamanında kapatıldı. Katot plakası elektrolitten çıkartılarak alkolle temizlenip kurulandı ve son ağırlığı hassas terazide ölçüldü. Daha sonra deney süresince elde edilecek teorik bakır miktarı (*) denklemi kullanılarak hesaplandı. Elektroliz verimi hesaplamak için (**) denklemi kullanılarak akım randımanı hesaplandı.

Katot levhanın ilk ağırlığı	61,7583 g
Katot levhanın son ağırlığı	62,0671 g
Biriken bakır miktarı	0,3088 g
Bakırın atom ağırlığı (A)	63,54 g/mol
Bakırın valans sayısı (z)	2
Faraday sabiti (F)	96500
Elektroliz süresi (t)	900 sn

$$\text{Katot alanı} = 80 \times 65 = 5200 \text{ mm}^2 = 0,0052 \text{ m}^2$$

$$\text{Katot akım yoğunluğu} = \frac{1,05}{0,0052} = 201,92 \text{ A.m}^{-2}$$

$$M_T = \frac{63,54 \cdot 1,05 \cdot 900}{2 \cdot 96500} = 0,3111 \text{ g}$$

$$\beta = \frac{0,3088}{0,3111} \times 100 = \% 99,20$$

b-Redüksiyon Elektrolizi

Rafinasyon elektrolizinde kullanılan elektrolit redüksiyon elektrolizinde kullanıldı. Anot plakası olarak kurşun, katot plakası olarak da çelik levha kullanıldı. Katot plakası alkolle temizlenip kurulandıktan sonra hassas terazide ağırlığı ölçüldü. Daha sonra elektrolit içinde kalacak kısmın yüzey boyutları ölçüldü ve anot pozitif, katot negatif olacak şekilde güç kaynağına bağlandı. Rafinasyon elektrolizine uygulanan akım sabit tutularak voltaj artırıldı. Elektroliz işlemi 15 dakika sürdükten sonra güç kaynağı tam zamanında kapatıldı. Katot plakası çıkartılarak yine alkolle temizlenip kurutulduktan sonra son ağırlığı tartıldı. Daha sonra elektroliz süresince toplanması gereken bakır miktarı (*) denkleme göre hesaplandı. Elektroliz verimi hesaplamak için (**) denklemi kullanılarak akım randımanı hesaplandı.

Katot levhanın ilk ağırlığı	92,59316 g
Katot levhanın son ağırlığı	92,9137 g
Biriken bakır miktarı	0,3205 g
Bakırın atom ağırlığı (A)	63,54 g/mol
Bakırın valans sayısı (z)	2
Faraday sabiti (F)	96500
Elektroliz süresi (t)	900 sn

$$\text{Katot alanı} = 80 \times 65 = 5200 \text{ mm}^2 = 0,0052 \text{ m}^2$$

$$\text{Katot akım yoğunluğu} = \frac{1,05}{0,0052} = 201,92 \text{ A.m}^{-2}$$

$$M_T = \frac{63,54 \cdot 1,05 \cdot 900}{2 \cdot 96500} = 0,3111 \text{ g}$$

$$\beta = \frac{0,3205}{0,3111} \times 100 = \% 103,02$$



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
9. DENEY: İNDİRGENME ELEKTROLİZİ



c-Örnek Yorumlama

Rafinasyon elektrolizi sonucu elde ettiğimiz verim (%99,2) deneyin doğru bir şekilde yapıldığını gösterdi. Ancak redüksiyon elektrolizinde teorik olarak toplanması gereken miktardan daha fazla miktar bakır toplanmıştır. Bunun nedenleri: akım yoğunluğunun tam ayarlanamaması ya da anot ve katot plakalarının bir birine olması gerenden daha yakın olmasından kaynaklanıyor olabilir.

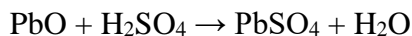
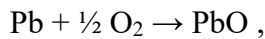
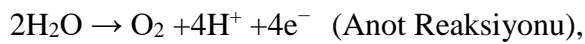
Rafinasyon elektrolizinde kazılan bakır, ateşle rafine edilmiş %98-99 saflıktaki anot plakasının çözünmesiyle elde edilmiştir. Buna karşılık indirgenme yani redüksiyon elektrolizinde ise elektrolit içindeki bakır kazanılmıştır. Rafinasyon elektrolizi ile redüksiyon elektrolizi arasındaki farklardan biri, kullanılan anot plakasıdır. Redüksiyon elektrolizinde kurşun plaka kullanıldı ve kullanılan plakada herhangi bir çözünme olmadı.

Kurşun plaka kullanılmasının nedeni, kurşun direkt olarak çözünmeyen PbSO₄ oluşturarak anot yüzeyinde kalır. Anot bakırı fazla miktarda kurşun içerirse oluşan PbSO₄ yüzeyi tamamen kaplayarak anodun pasifleşmesine neden olur.

Diğer bir fark, oluşan anot reaksiyonlarıdır. Rafinasyon elektrolizinde anottan çözünen metal iyonları katotta redüklenirken, redüksiyon elektrolizinde çözünmeyen anotlar (genellikle %4 – 6 Sb içeren kurşun alaşımları) kullanıldığından, anot reaksiyonu elektrolitte bulunan bir anyon veya molekülün oksidasyonu ile sağlanmalıdır. Oksidasyon işlemi, sulu çözeltilerde suyun disosiyasyonu sonucu oluşan OH⁻ iyonunun üstlendiği bir görevdir. Aşağıda rafinasyon ve redüksiyon elektrolizi anot reaksiyonları verilmiştir.

Kurşun bazik bir metal olmasına rağmen; bakır redüksiyon elektrolizinde anot malzemesi olarak kullanılmasının neden ve/veya nedenlerini ilgili reaksiyonlar eşliğinde açıklayınız.

EMF serisine baktığımızda kurşunun hidrojenden daha bazik olduğunu, bakırın ise daha soy olduğunu görebiliriz. Bu basit yaklaşımla da kurşunun bakır redüksiyon elektrolizi esnasında anot olarak kullanıldığı takdirde çözüneceğini söyleyebiliriz. Fakat kurşun, bakır redüksiyon elektrolizinde, suyun parçalanmasıyla ortaya çıkan O₂ ile de PbO ve bu PbO, H₂SO₄ çözeltisi ile PbSO₄ bileşimini yapar. Bu bileşikler kurşun anot yüzeyini kaplar ve kararlı bir anot yüzeyi meydana getirir. Bunun sonucunda kurşun çözünmez ve bu sebeple anot malzemesi olarak kullanılır.





Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deneysel Föyü
9. DENEY: İNDİRGENME ELEKTROLİZİ



9.3 DENEYDE KULLANILAN MALZEME VE CİHAZLAR

- Elektroliz hücresi,
- Doğru akım güç kaynağı (voltmetre, ampermetre ve bağlantı kabloları),
- Bakır-sülfat ve sülfürik asit çözeltisi (Elektrolitte 35-50 g/L Cu içeren çözelti, 140-220 g/L H₂SO₄), alkol (temizleme işlemi için), katkı malzemeleri olarak, jelatin tozu ve tiyoüre (0,001 gr)
- Hassas terazi,
- Beherler,
- Katot elektrolitik bakır ve anot blister bakır (yüksek sıcaklıklarda saflaştırılmış) plakaları (saflaştırma elektrolizi için),
- Katot paslanmaz çelik ve anot kurşun plakalar (geri kazanım elektrolizi için),
- Isıtıcı, manyetik karıştırıcı, kumpas.

Katkı malzemelerinin görevleri:

Jelatin: Katot üzerine biriken bakırın, yüzeye düzgün ve homojen olarak bağlanmasını sağlayarak ince kristalli sert bir bakır yapısı oluşturur.

Tiyoüre: Jelatinin yan etkilerini ortadan kaldırır ve katot malzemesi yüzeyindeki sivri uçlarla çukurlukları izole eder.

9.4 DENEYİN YAPILIŞI

Belirtilen miktarlarda bakır-sülfat (CuSO₄) ve H₂SO₄ tartılarak elektrolit çözeltisi hazırlanır ve beher içine konular. Belirtilen miktarlarda jelatin tozu ve tiyoüre çözeltiye eklenerek karıştırılır. Metalin toplanacağı malzeme (katot levha) alkolle temizlenip kurutulduktan sonra hassas terazide tartılarak sonuç kaydedilir. Anot ve katot elektrotlar elektrolit çözeltisi içine yerleştirilir. Doğru akım güç kaynağının (+) kutbuna anot levhanın bağlantı kablosu; (-) kutbuna ise katot levhanın bağlantı kablosu takılır. Akım yoğunluğu olarak bakırın saflaştırılması ve geri kazanım elektroliz deneylerinin her ikisinde de 150 A/m² göz önüne alınarak, katot levhanın elektrolit içine batan kısmının alanı hesaplanır ve buna göre devreden geçirilecek akım miktarı belirlendikten sonra doğru akım güç kaynağı çalıştırılarak devreye akım verilir. 15 dakika elektroliz işlemine devam edilir ve tam zamanına göre güç kaynağı kapatılarak devreye verilen akım kesilir. Katot levha, başlangıçtaki gibi alkolle temizlenerek kurutulur ve son ağırlığı tekrar tartılır. Katotta toplanan madde miktarı belirlenir ve teorik olarak birikmesi gereken miktarla karşılaştırılarak yukarıda verilen bağlantılar yardımı ile akım verimi ve deneysel hata payı hesaplanır. Her iki deneyin de yapılışı aynı şekilde yürütülür.

****Deney sorumlusu tarafından belirlenen kriterlere göre deney gerçekleştirilir.**

9.5 İSTENENLER VE ÖDEVLER

Katotta biriken Cu miktarını hesaplayınız.



Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
MEM3961 Laboratuvar-1 Deney Föyü
9. DENEY: İNDİRGENME ELEKTROLİZİ



9.6 KAYNAKLAR

- [1] POPOV K.I., DJOKIĆ S.S., GRGUR B.N., “Fundamental Aspects of Electrometallurgy”, 2002
- [2] YTÜ Metalurji Müh., “Demir Dışı Metal Üretimi Laboratuvar Kitapçığı”, 1997
- [3] EKERİM, A., Elektrometalurji Ders Notları, 2010
- [4] BOR, F.Y., “Ekstraktif Metalurji Prensipleri Kısım II”, Birinci Baskı, 1989
- [5] Arslan, F. , Arın T. , “Elektroliz Deney Föyü” KTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Trabzon 2010
- [6] Alver, Ü., Sarı, A., Güler, O., Elektroliz Yöntemi İle Metal Saflaştırma ve Geri Kazanımı, KTÜ Metalurji ve Malzeme Müh. Böl. Laboratuvar Föyü, 2016
- [7] İncekara M. , “Elektroliz Yöntemiyle Bakır Tozu Üretilmesi” , Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 69-79, 2008
- [8] Güzey G. , “Elektrometalurjik Yöntemlerle Metalik Bakır ve Bakır-Kalay Alaşım Tozlarının Üretimi ve Üretim Koşullarının Optimizasyonu”, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 12, 13, 14, Haziran 2009
- [9] <http://www.corrosion-doctors.org>
- [10] <http://chemed.chem.wisc.edu>
- [11] <http://www.drkc.n.yzi.me/copper.doc>
- [12] Kocaeli Üni., Kimya Müh., Genel Kimya Laboratuvar Föyü
- [13] Tholego P., Aubrey R., Katlego R., Nhlanhla O., Stephen S., Thapelo S., ‘Production of Copper Concentrate and 99.99 % Copper Cathode from Low-grade Copper Ore in Frank’, Environmental and Materials Engineering, University of Leeds, 2012.



10. KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ

10.1 AMAÇ

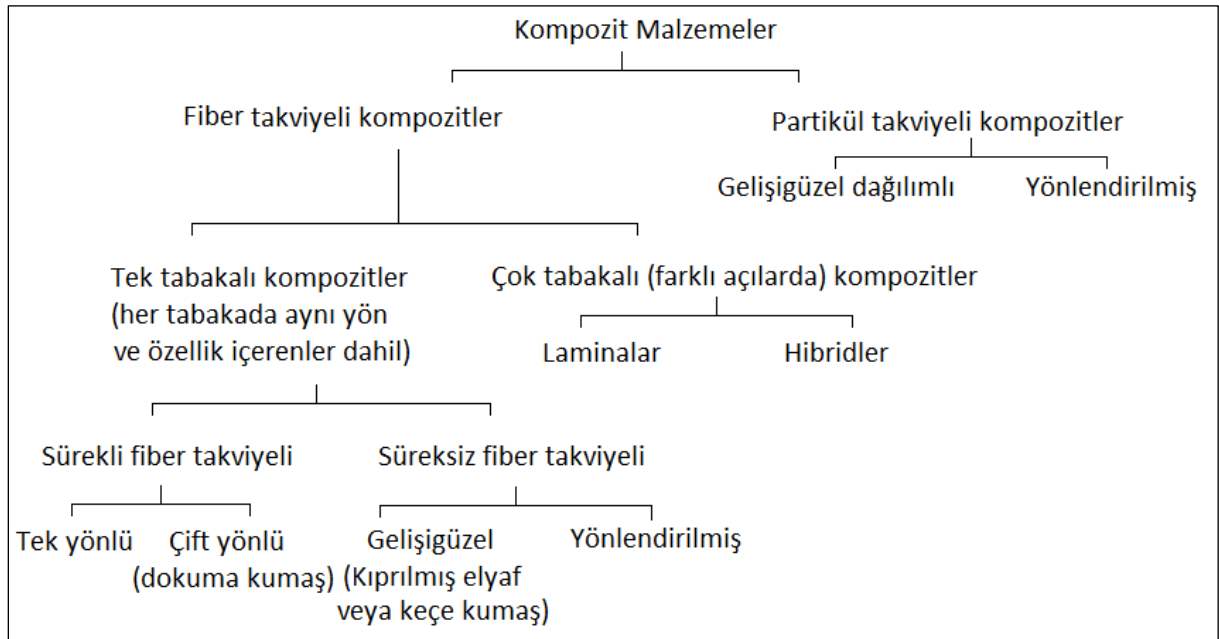
Plastik matrisli E-Camı takviyeli kompozit plakaların üretilmesi ve bu plakalardan alınan numunelere darbe deneyi yapılarak kırılma analizi yapılması.

10.2 TEORİK BİLGİ

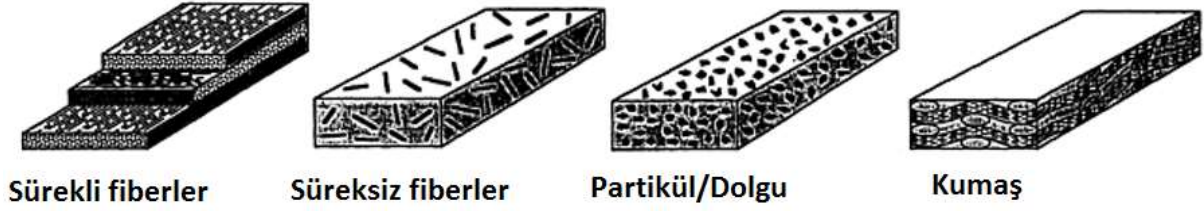
Birbirinden farklı en az iki malzemenin aralarında bir ara yüzey oluşturarak, kimyasal bağ yapmaksızın oluşturdukları yeni malzeme grubuna kompozit denir. Temel olarak kompozit malzemelerin iki ana bileşeni vardır.

Matris fazı kompozit malzemenin ana bileşenini oluşturur. Temel görevi takviye (fiber) bileşeninin etrafını sararak yapıyı kararlı bir şekilde bir arada tutmaktır. Bir diğer görevi ise, uygulanan her hangi bir kuvveti, tahribata uğramadan, ara yüzey bağı vasıtasıyla takviye fazına iletme ve dağıtmaktır. İdeal bir matris malzemesi, elyafları uygun şekilde çevreleyerek çok iyi kaplayabilmelidir.

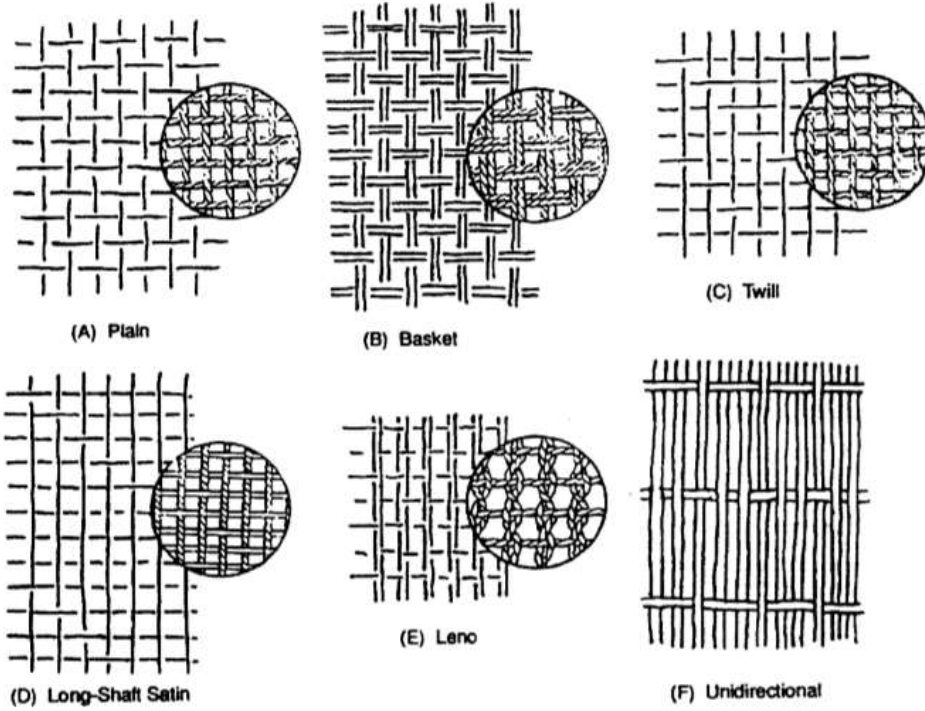
Kompozitlerde yük taşıyıcı ana eleman takviye fiberlerdir. En yaygın kullanılan ve maliyeti en ucuz olan takviye türü cam elyaflardır. Aramid ve karbon elyaflar ise hem mekanik özellikleri hem de maliyeti yüksek olan takviye türleridir. Takviyeler farklı şekillerde bulunmaktadır. Şekil 1’de kompozitlerin takviye şekil ve dağılımlarına göre sınıflandırılması görülmektedir. Şekil 2’de ise bu türlerin yapı içerisindeki durumları örneklendirilmiştir. Şekil 3’te farklı dokuma türleri gösterilmiştir.



Şekil 10.1 Kompozitlerin takviye şekil ve dağılımlarına göre sınıflandırılması



Şekil 10.2 Farklı takviye türleri



Şekil 10.3 Çeşitli dokuma kumaş türleri

10.2.1. Kompozit Malzemelerin Matrislerine Göre Gruplandırılması

- Plastik Matrisli Kompozitler (PMCs): Günümüzde en yaygın olarak kullanılan kompozit türüdür. Tüm kompozitlerin içinde yaklaşık %80 kullanım oranına sahiptir. Sürekli veya süreksiz tarzda fiberlerle desteklenebildiği gibi partikül ile de takviyelendirilebilirler.
- Metal Matrisli Kompozitler (MMCs): Plastik matrisli kompozitlerinden sonra en çok kullanım alanına sahip gruptur. Genellikle partikül takviyeli olarak kullanılan metal matrisler aşınma dayanımı gereken yerlerde kullanılmaktadır. Ayrıca alüminyumdan üretilen bal peteği yapısı da bu grupta yer almaktadır.
- Seramik Matrisli Kompozitler (CMCs): Çok yaygın bir kullanıma sahip değildir. Diğer grupların aksine gevrek bir matrise sahiptir. Bu gruptaki kompozitler sünek liflerle takviye edilerek gevrek matrisin tokluğu artırılmaktadır.



10.2.2. Plastik Matrisli Kompozitler

Plastik matris sağladığı pek çok avantajla en çok kullanılan kompozit türüdür. Bu yüzden kompozitin özelliklerini öğrenmek için plastiğin tanımak önemlidir. Plastikler; karbon, hidrojen, oksijen, azot ve diğer organik ya da inorganik elementler ile oluşturduğu monomer adı verilen, basit yapıdaki moleküllü gruplardaki bağın koparılmasıyla, polimer adı verilen uzun ve zincirli bir yapıya dönüştürülmesi ile elde edilen malzemelerdir. Plastik matris genel olarak iki gruba ayrılır:

a) Termosetler: Epoksi, polyester, vinilester, fenolik reçineler

b) Termoplastikler: PE (polietilen), PP (polipropilen), PS (polistiren), PET(polietilen tereftalat), PBT(polibütilen tereftalat), PA (poliamid), PPS (polifenilen sülfid), PEEK (polieter eter keton),...

İçerdikleri takviyeye göre ise aşağıdaki gibi bir sınıflandırma yapılabilir:

- Plastik-Plastik Kompozitler
- Plastik-Metal Kompozitler
- Plastik-Seramik Kompozitler
- Plastik-Köpük Kompozitler

10.2.3 Plastik Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

El Yatırması Metodu: Geniş yüzeyli termoset matrisli kompozit üretimi için en çok kullanılan metottur. Kalıp ayırıcı uygulandıktan sonra jelkot uygulanır. Jelkot tabakasının sertleşmesinden sonra keçe veya dokuma elyaf kumaşlar ve termoset reçine, fırça veya rulo ile uygulanır. Düşük sabit sermaye yatırımı gerektiren bir kalıplama yöntemi olan el yatırması ile %25-35 oranında takviyeli plastik ürün elde edilebilir. Emek-yoğun bir üretim metodu olduğundan kapasite, emek ve kalıp adedine bağlıdır. Bir kalıptan günde ortalama 2 ürün alınabilir.

Püskürtme Metodu: El yatırması metodunun daha seri olarak uygulanmasını sağlayan bir kalıplama metodudur. Üretim sırasında kalıp üzerine reçine ve elyafı özel bir makine yardımı ile püskürtülür. Püskürtme metodunda devamlı elyaf demeti, püskürtme işlemi sırasında 17-50 mm uzunluğunda kırılarak kullanılır. Geniş yüzeyli ürünlerde seri üretim olanağı ve işçilikten tasarruf sağlar.

Vakum Torbalama ve Otoklav: El yatırması veya püskürtme işleminden sonra kompozitin özelliklerini artırmak için uygulanan yöntemlerdir. Vakum torbalamada kürlenmesi tamamlanmamış reçineli kompozit ürünlerin üzerine çeşitli ayırma kumaşlarının üzerine fazla reçineyi emecek vakum battaniyesi yerleştirilir. En üstte vakum torbası denilen ısıya dayanıklı bir film vakum ağzı takılarak konur ve sızdırmazlık sağlanması için özel macun ile kapatılır. Sistem vakuma alınır ve kürlenme işlemi tamamlanana kadar vakum uygulanmaya devam eder. Fazla reçine üründen geçilerek fiber hacim oranının yükselmesi, kesitin inceliği ağırlığın azalması, boşlukların giderilmesi ve bunların sonucunda mekanik özelliklerin artışı sağlanır. Otoklavda da benzer şekilde kürlenmemiş ürünler vakum



10. DENEY: KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ

torbalama sistemine alınarak vakumlanır. Ardından otoklav fırınlarında ısı ve basınç verilerek kûrlenme sağlanır.

Vakum İnfüzyon: Keçe veya dokuma elyaf kumaşlarının üst üste yerleştirilip vakum torbalama sistemine alınır. Ancak vakum torbasında vakum ağzının yanı sıra reçinenin giriş yapacağı ağızlar açılır. Sistem vakuma alındığından reçine torbanın içene dolmaya başlar ve elyafları ıslatarak kompoziti oluşturur.

Reçine Enjeksiyonu (RTM): Bu üretim metodunda dişi ve erkek olmak üzere iki kalıp kullanılarak iki yüzü düzgün ürün elde edilir. Elyaf kumaşları kalıp üzerine yerleştirilir ve kalıplar kapatılır. Önceden hazırlanmış olan bir reçine enjeksiyon noktasından, basınç altında termoset reçine kalıp içine enjekte edilir. Reçine enjeksiyonu metodu ile daha seri ve ekonomik olarak el yatırmasına oranla daha kaliteli ürün elde edilir.

Hazır Pestil/Hamur Kalıplama (SMC/BMC): Elyaf, reçine ve dolgu malzemesi karışımlarının sıcak pres kalıplarında 150-170°C’de, 50-120 kgf/cm² basınçta şekillendirilmesi metodudur. Karmaşık şekilli ürünler elde edilebilir. 3-6 dakikalık hızlı ve seri bir metodudur. SMC’ de uzun kırılmış (25-50 mm) elyafların dolgu ve reçine ile önceden birleştirilmesiyle oluşan pestil kullanılırken, BMC’ de kısa kırılmış (3-12 mm) elyaf, dolgu ve reçine birleşiminin oluşturduğu hamur kullanılmaktadır.

Elyaf Sarma: Özellikle boru ve tank üretimi için kullanılan kalıplama metodudur. Sürekli elyaf demetlerinin termoset reçine banyosundan ıslatıldıktan sonra dönen bir kalıp üzerine belirli açılarda sarılması şeklindedir.

Savurma Döküm: Boru, depo, direk gibi silindirik ürünlerin yapımında kullanılır. Döner bir kalıp içine kırılmış elyafı ve termoset reçine birlikte püskürtülür. Kalıbın dönmesinden meydana gelen merkezkaç kuvvet laminatın kalıp yüzeyine yapışmasını ve her iki yüzü düzgün ürün elde edilmesini sağlar.

Pultrüzyon: Sürekli elyaf demetlerinin termoset reçine banyosundan geçirildikten sonra istenilen profilde bir sıcak kalıp içinden çekilirken sertleştirilmesi prensibine dayanır. Elyaf takviyesi yönünde çok dayanıklı ve cam elyafı oranı çok yüksek profil ürünler elde edilir.

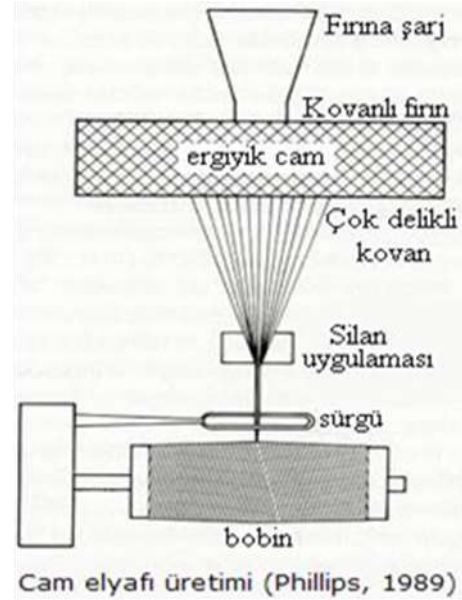
Termoplastik Enjeksiyon/Ekstrüzyon Metodu: Profil türü ürünlerin kalıplanmasında ekstrüzyon makineleri kullanılırken, karmaşık şekilli ürünlerin kalıplanmasında enjeksiyon makineleri kullanılmaktadır. Benzer prensiple çalışan enjeksiyon ve ekstrüzyon makinelerinde, besleme haznesinden verilen granül halindeki termoplastik hammadde ısıtma bölgesinde ısıtılarak akışkan hale getirilmekte ve bir taraftan da kısa kırılmış elyaf beslenmektedir. Ardından burğu yivleri ile bir taraftan homojen karışım sağlanırken, diğer taraftan çıkış ucuna doğru taşınmaktadır. Ekstrüderlerde, çıkış ucuna yerleştirilen kalıp içinden basınç etkisi ve çekme aparatları yardımı ile kalıp şekline uygun şekilde profiller çekilirken, enjeksiyon makinelerinde çıkış memesinin hemen yanında bulunan kapalı kalıp içine akışkan hale getirilmiş termoplastik ile karıştırılmış kısa kırılmış elyaf enjekte edilir ve kapalı kalıp içinde soğuması ve sertleşmesi sağlanır.



10.2.4 Cam Elyaf Üretimi

Cam elyafı, silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda, magnezyum oksit gibi geleneksel cam üretim hammaddelerinden üretilmektedir. Hammadde çok ince öğütülerek, homojen bir karışım elde etmek üzere karıştırılır ve yaklaşık 1600°C sıcaklıkta çalışan bir ergitme fırınına beslenir. Burada karışım yavaşça sıvı hale geçer. Prosese uygun olarak yerleştirilmiş bir sarma sistemi ile 50-70 m/sn gibi yüksek bir hız ile daha sonraki uygulama türüne bağlı olarak 5-20 mikron çapında çekilen cam lifleri mandrel üzerine sarılarak bir bobin üzerinde toplanır.

Cam lifleri, demet haline getirilmeden önce, bağlayıcı adı verilen bir kimyasal bileşim ile kaplanır. Bağlayıcı cinsi, kompozit malzeme içinde cam elyafının performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Kompozitin mukavemeti, reçine-cam bağının kuvveti ile orantılıdır. Bu bağın kuvveti, kullanılan bağlayıcı içindeki bağlama gruplarının cinsine bağlıdır. Bağlayıcı, "film oluşturucu", "bağlama grupları", "antistatik katkı", "plastifiyan" "lübrikant" malzemelerin karışımından oluşmaktadır.



10.3 KULLANILAN STANDARTLAR

- TS EN ISO 527-4: Plâstikler – Çekme özelliklerinin tayini – Bölüm 4: İzotropik ve ortotropik elyaf takviyeli plâstik kompozitler için deney şartları
- TS EN ISO 14125: Plastik kompozitler - elyaf takviyeli – eğilme özelliklerinin tayini
- TS EN ISO 179-1: Plastikler – Charpy darbe özelliklerinin tayini-Bölüm 1: Ölçü aletsiz darbe deneyi

10.4 KULLANILAN CİHAZLAR VE MALZEMELER

Deney standartlarına uygun fiber takviyeli kompozit numuneler

Dijital kumpas

Darbe cihazı



10.5 DENEYİN YAPILIŞI

10.5.1 Malzemeler

Takviye elemanı: E-camı dokuma veya keçe kumaşı

Matris malzemesi: Ortoftalik bazlı doymamış polyester reçine

Reçine hızlandırıcı ajanı: Kobalt oktoat

Reçine başlatıcı ajanı (Dondurucu): Metil Etil Keton (MEK) Peroksit

Dozajlama pipetleri (Pasteur Pipetleri)

Reçine karıştırma kabı

Karıştırıcı

Kalıp

Katı ve sıvı kalıp ayırıcılar

Fırça ve/veya rulo

Aseton veya tiner

Plastik eldiven

10.5.2 Uygulama

1. Kalıba kalıp ayırıcı sürülerek kurumaya bırakılır.
2. Kullanılacak takviye malzemesi kalıba uygun boyutlarda kesilir ve ağırlığı ölçülür.
3. Ölçülen takviye malzemesinin dört katı kadar reçine bir kap içinde gerekli oranlarda önce hızlandırıcı ajanla ardından başlatıcı ajanla karıştırarak hazırlanır. (Hızlandırıcı ve başlatıcıyı birbirleri ile şiddetli kimyasal tepkime verdiğinden aynı anda konulmamalıdır!)
4. Kuruyan kalıp ayırıcı üzerine bir miktar reçine fırça ile sürülür.
5. Üzerine bir kat takviye kumaş yerleştirilir.
6. Reçine, fırça ile takviye kumaşın üzerine hafif baskı uygulayarak yedirilir.
7. İkinci tabaka takviye kumaş yerleştirilip, işlemler yeterli kalınlığa gelene kadar tekrarlanır.
8. Reçine kürleninceye kadar beklenir.
9. Aseton ile fırça, kap ve pipetler temizlenir.

10.6 SONUÇLARIN ALINMASI

Farklı katman kalınlıklarındaki numunelerinin boyutları ölçülecek, üç ölçümden minimum değer alınarak kesit alanı hesaplanacak. Bu aşamayı her öğrenci dijital boyut ölçücü kullanarak yapacaktır. Numune darbe cihazına yerleştirilerek deney gerçekleştirilecektir. Darbe enerjisi ölçülecek, numuneler kıyaslanacak ve kopma şekilleri incelenecektir.



10.7 HESAPLAMA

Darbe enerjisi joule (J) cinsinden cihaz üzerinden okunacak, numune kesit alanına bölünerek darbe dayancı bulunacaktır.

10.8 SONUÇ

Kompozit parça üretim kademeleri detaylı olarak gözlenecektir. Farklı katman kalınlıklarındaki malzemeler kıyaslanacaktır. Deneyler sonucu numunelerde kırık analizleri yapılacaktır.

10.9 DENEY RAPORUNDA İSTENİLEN BİLGİLER

1. Kompozit malzemelerin tanımı, sınıflandırılması, çeşitleri ve örnekleri.
2. Matris malzemesi olarak kullanılan plastik malzemeler hakkında genel bilgi, çeşitleri, örnekleri.
3. Plastik matrisli kompozit malzeme üretim yöntemleri hakkında özet bilgi.
4. Fiber malzemesi olarak kullanılan cam fiberler hakkında genel bilgi.
5. Kullanılan malzemelerin tanımlanması.
6. Kompozit üretiminin uygulanışı.
7. Darbe dayancının hesaplanması
8. Numunelerin sonuçlarının kıyaslanması
9. Kırık kesit analizi.
10. Kullanılan kaynakların rapor sonunda belirtilmesi.

10.10. KAYNAKLAR

- [1] Autar K. Kaw, Mechanics of Composite Materials, Taylor & Francis Group, 2006
- [2] Robert M. Jones, Mechanics of Composite Materials (2. Edition), Taylor & Francis, 1999
- [3] Sanjay K. Mazumdar, Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering, CRC PRESS, 2001
- [4] Alan Baker, Stuart Dutton, and Donald Kelly, Composite Materials for Aircraft Structures Second Edition, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004
- [5] Peters, S.T., Handbook of Composites (2nd Edition), Kluwer Academic Publishers, 1998
- [6] A.R. Horrocks & S.C. Anand, Handbook of Technical Textiles, Woodhead Publishing Limited, 2000
- [7] Hull, Derek, An Introduction to Composite Materials, The Press Syndicate of the University of Cambridge, 1981
- [8] www.camelyaf.com

